

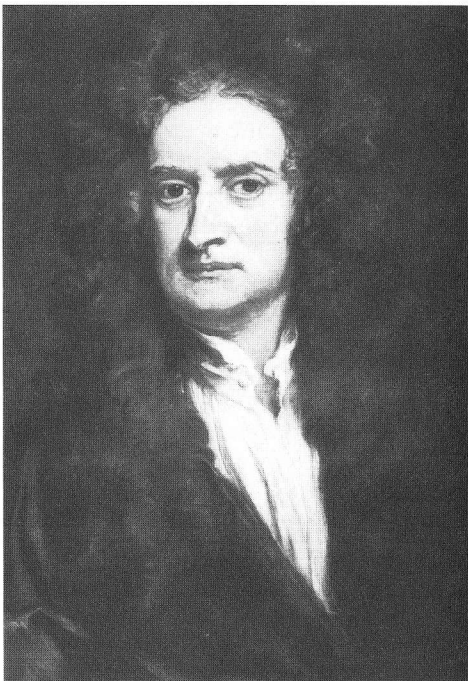
Isaac Newton

Yves De Rop

Le physicien Isaac Newton racontait qu'un soir de 1666, il se reposait sous un arbre en contemplant la Lune lorsqu'il observa la chute d'une pomme mûre. Il aurait alors eu l'intuition de la découverte essentielle de sa vie, celle qui consiste à attribuer la même cause à la chute des pommes et au mouvement de rotation de la Lune autour de la Terre. Malgré sa distance, la Lune tombe ! C'est ce qu'on appelle la théorie de la gravitation universelle.

Cette anecdote a suscité à l'écrivain français Paul Valéry le bon mot suivant : « Il fallait être Newton pour percevoir que la Lune tombe, alors que tout le monde voit bien qu'elle ne tombe pas ». Au-delà de son caractère humoristique, cette boutade illustre assez bien le paradoxe de l'œuvre du grand savant anglais.

Paradoxe scientifique en effet, contraire au bon sens commun : de mémoire d'homme, on n'a jamais vu notre satellite naturel s'écraser sur la Terre, pas plus qu'aucune pomme ne s'est jamais placée sur orbite en se détachant de sa branche. Mais il existe un autre paradoxe, qui concerne le personnage de Newton lui-même. En 1936, les papiers « non scientifiques » de Newton furent mis en vente publique par la compagnie Sotheby. L'économiste John Keynes, indigné d'apprendre la dispersion de cette partie de l'œuvre du Maître, parvint à en rassembler entre un tiers et la moitié. Ainsi se répandit, à la stupéfaction de certains, la nouvelle image d'un Newton théologien et alchimiste, tout aussi préoccupé par la surveillance de ses fourneaux où bouillonnent le soufre et le mercure, que par la découverte des grands principes de la dynamique. Un Newton magicien qui, au terme d'une nuit d'expériences occultes dans un décor de Frankenstein, troquerait au petit matin la cape de sorcier pour l'honnête complet-veston du savant moyen. Un Newton schizophrène en somme, tantôt dément, tantôt archétype de la pensée rationnelle.



Isaac Newton (1642–1727)

Paradoxe de l'homme, sombre et dépressif à ses heures, paradoxe d'une théorie scientifique d'interprétation délicate, tour à tour (1) mécaniste, théologique, peut-être mystique, et qui en fin de compte opposa à toute tentative d'explication une fin de non-recevoir très positiviste : « hypothèses non fingo », « je ne forge pas d'hypothèses », écrivait Newton dans la seconde édition (1713) de son ouvrage majeur, les « Principia mathematica ».

C'est donc à un double voyage que cet exposé voudrait convier le lecteur. Voyage vers le Newton officiel, celui qu'on étudie dès l'école, un des pères de la mécanique rationnelle. Voyage aussi vers l'homme, philosophe et alchimiste. N'y a-t-il pas qu'un seul génie dissimulé derrière ces différentes facettes ?

Au moment où Newton (1642–1727) entre

en scène, la science du XVII^e siècle est marquée par trois grands courants de pensée : le naturalisme, la scolastique et la philosophie mécaniste. Nous allons d'abord expliquer en quoi ils consistent, car Newton s'est assez nettement positionné par rapport à chacun d'entre eux, explicitement ou implicitement.

Le naturalisme

Le naturalisme au XVII^e siècle est un mouvement assez disparate, héritier de diverses tendances philosophiques antiques (Pythagore, Platon) ou médiévales. Il est caractérisé par une croyance en l'ordre de la nature, qui obéit à des lois reflétant une harmonie universelle plutôt statique.

Chez Pythagore (VI^e siècle avant Jésus-Christ), les nombres jouaient un rôle essentiel mais sans aucune commune mesure avec la mathématisation de la science au sens où Galilée l'entendra. Source et principe de toutes choses, ils possèdent des propriétés posées *a priori*, qui peuvent se combiner. Ainsi, l'intelligence est représentée par le nombre 1 (une seule vérité), l'opinion par 2 (le doute), le mariage par 5 (pair + impair). Amoureux de l'harmonie et de la beauté, les pythagoriciens pensent que la Terre est ronde, non pas parce qu'ils l'ont observée comme telle, mais parce que la sphère est la forme parfaite.

Au XVI^e siècle viennent se greffer là-dessus des courants de pensée animistes et vitalistes. La nature est traversée par des principes actifs ou des puissances occultes dont il est possible de connaître les lois en recourant à l'observation ou à l'expérimentation. Cependant, cette dernière procède plus d'une imitation de la nature que d'un désir de la comprendre : en ce sens, il s'agit d'un art plutôt que d'une science. Les traditions magiques et alchimiques s'inscrivent dans ce cadre qui prend volontiers une tournure irrationaliste ou mystique. Enfin, le thème revient souvent d'un âge d'or où certains sages connaissaient des secrets qui ont ensuite été perdus : c'est la « pristina sapientia », la sagesse ancienne.



Johannes Kepler (1571–1630)

L'œuvre de Johannes Kepler (1571–1630) est marquée par le naturalisme. Copernicien convaincu, Kepler cherchait, en bon pythagoricien, la loi exprimant les distances des six planètes au Soleil. Il crut trouver dans l'existence des cinq solides parfaits platoniques, la solution à ce jeu de nombres et la publia en 1596 dans son ouvrage *Mysterium Cosmographicum*. Sa tendance naturaliste y apparaît clairement : « Ainsi donc, de même que la source de lumière se trouve dans le Soleil, et que l'origine du cercle est au lieu du Soleil, c'est-à-dire au centre : de même, la vie, le mouvement et l'âme du monde reviennent à ce même Soleil (...). Nous supposons, ce qui est fort vraisemblable, que le mouvement se disperse, à partir du Soleil, comme la lumière ». A la mort de son maître Tycho Brahe (1546–1601), Kepler a dépouillé les mesures astronomiques très précises (1 à 2 minutes d'arc) de ce dernier et en a tiré les trois lois qui portent son nom. La première loi : « Les orbites planétaires sont des ellipses dont le Soleil occupe un des foyers » démolit en fait le dogme platonicien des mouvements circulaires. La deuxième loi, dite loi des aires : « L'aire balayée par le rayon-vecteur joignant le Soleil à une planète, en un certain intervalle de temps, est proportionnelle à cet intervalle de temps », relie clairement la

vitesse des planètes à leur distance au Soleil et constitue un pas en avant vers la théorie quantitative d'une *force* émanant de l'astre du jour. Ces deux lois sont publiées dans le livre *Astronomia nova* (1609), où l'on remarque l'évolution de sa conception du monde depuis 1596 : « Mon propos est d'établir que la machine céleste n'est pas à l'instar d'un être animé et divin, mais bien d'une horloge (...) en ce sens que quasiment tous les divers mouvements y [procèdent] d'une seule et unique force corporelle magnétique, de même que dans l'horloge, tous les mouvements [procèdent] d'un seul et unique poids ». La troisième loi, ou encore loi harmonique, est publiée dans le cinquième livre de *Harmonices Mundi* (« L'Harmonie du Monde ») et représente un des sommets des recherches numériques de Kepler : « Le carré de la période de révolution est proportionnel au cube du demi grand-axe de l'orbite elliptique ».

La scolastique

L'autorité d'Aristote (384-322 av. J.-C.) et de ses successeurs a tellement dominé le bas moyen âge, que leur enseignement fut assimilé à l'instruction académique par excellence, d'où le nom de « scolastique ». Ce n'est pas tant le fonctionnement du monde qui importe, que ce qu'Aristote en a dit. Sa philosophie naturelle procède largement de la biologie : le monde est un animal vivant, la physique est vitaliste. Ainsi, la chute d'une pierre et la cicatrisation d'une plaie sont interprétées toutes les deux en termes de la même théorie des mouvements naturels. Selon Aristote, les choses sont constituées d'un *principe matériel universel* et d'une *forme*, qui donne à une parcelle de matière ses caractéristiques immuables. L'objet acquiert alors tous les attributs de la forme : figure géométrique, nature chimique, lourdeur ou légèreté, faculté de réagir d'une certaine façon à d'autres objets, etc.

D'autre part, Aristote souhaitait faire apparaître l'ordre et la régularité masqués derrière la complexité des phénomènes sensibles. Il en a résulté sa théorie des *causes*, qui permettent de relier les phénomènes entre eux. Celles-ci sont de quatre types : cause matérielle, for-

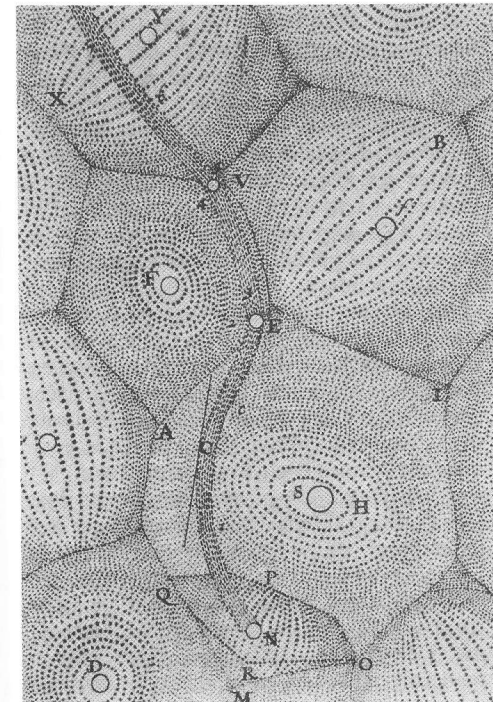
melle, efficiente et finale. La cause matérielle d'une statue de marbre est le marbre, la cause formelle est l'agencement de ses parties, la cause efficiente est le sculpteur (qui unit la matière et la forme), et la cause finale, la motivation du sculpteur à réaliser cette œuvre d'art. C'est notamment l'absence de cause finale qui a suscité les quolibets de certains scolastiques lorsque Galilée a découvert avec sa lunette les satellites de Jupiter car, étant invisibles à l'œil nu, ils ne pouvaient servir à rien.

Enfin, Aristote a essayé de réduire toutes les propriétés des corps à quatre qualités élémentaires : chaud, froid, sec et humide. Ces qualités apparaissent par paires dans les quatre éléments : la terre est froide et sèche, l'eau froide et humide, l'air chaud et humide et le feu, chaud et sec. Un certain nombre de *qualités manifestes*, telle la chaleur, permettaient alors d'expliquer le changement. Ainsi, la chaleur, passant d'un corps chaud à un autre plus froid, en modifie la forme spécifique par dilatation, fusion ou vaporisation.

Cependant, certains phénomènes comme le magnétisme ou la gravitation ne pouvaient être interprétés en termes de qualités manifestes. Les scolastiques inventèrent alors des *qualités occultes* (ou encore, pouvoirs, forces, vertus, le vocabulaire est assez évasif) qui, au fil des siècles, se figèrent en un verbiage stérile et d'ailleurs de plus en plus critiqué. Le rôle de la forme spécifique d'un corps était de doter celui-ci de la vertu occulte d'influencer d'autres corps de telle ou telle manière. Contrairement aux forces occultes de la tradition magique, qui suscitaient l'observation et l'expérimentation, les qualités occultes n'avaient donc d'autre intérêt que de sauvegarder le concept de forme spécifique. L'interprétation de la chute des corps est assez révélatrice à cet égard. Une pomme tombe parce que la Terre a le pouvoir occulte d'attirer la pomme, qui elle-même recèle la potentialité d'être attirée par la Terre. Autant dire qu'une pomme tombe parce qu'elle est lourde, ce qui n'apporte évidemment aucune information. Dans *Le malade imaginaire* (1673), Molière se moque de ces raisonnements décadents : l'opium endort parce qu'il possède... une vertu dormitive.



René Descartes (1596-1650)



Tourbillons de Descartes

La philosophie mécaniste

Si Aristote parlait de la biologie pour aboutir à la physique, par contre la philosophie mécaniste, avec sa théorie des animaux-machines, va raisonner dans le sens contraire. René Descartes (1596-1650) en est le représentant le plus connu (1644, *Principes de la philosophie*), mais il n'était évidemment ni le premier ni le seul. Le monde est constitué exclusivement de *particules* et de *mouvement*. Supprimées les forces occultes, il ne subsiste plus que des interactions de contact dans un monde passif. Descartes est, avec Galilée, le principal artisan du *principe d'inertie* selon lequel un corps, une fois lancé et en l'absence de tout nouveau contact, se meut en ligne droite de façon rectiligne et uniforme. Plus généralement, le *mouvement* total de l'univers est constant : le mouvement perdu en tout ou en partie par un corps, est transféré à un autre corps lors d'une collision.

Le rôle de Dieu s'est borné à donner lors de la création, une certaine quantité de mouvement à notre univers, sorte de gigantesque chiquenaude initiale.

Descartes explique alors les mouvements planétaires par la théorie des tourbillons : tous les astres du ciel sont entraînés par des tourbillons d'une matière à la fois légère et dense, et sont eux-mêmes le centre d'un de ces tourbillons. Habile façon de concilier l'héliocentrisme avec l'immobilité biblique de la Terre, puisque celle-ci ne bouge pas par rapport au tourbillon qui l'entraîne ! L'existence de la force centrifuge lui permet d'en déduire le phénomène de gravitation. En effet, la matière subtile a tendance à s'éloigner des astres en rotation diurne. Comme le vide n'existe pas, cet éther échange sa place avec les corps matériels qui, par conséquent, se rapprochent de la planète. (Le physicien hollandais Christiaan Huygens (1629-1695) critiquera ce point de vue en faisant remarquer que la force centrifuge tend à éloigner l'éther de l'axe de rotation et pas du centre de l'astre.)

Explication mécaniste du magnétisme également : un aimant est percé de nombreux pores à filetage gauche ou droit, d'où émanent des particules qui sont autant de petites vis à pas gauches ou droits. Deux courants de particules d'hélicité contraire se repoussent ; lorsque les particules émanant d'un aimant viennent à rencontrer les pores correctement filetés d'un autre aimant ou d'un morceau de fer, elles agissent comme des tire-bouchons et il y a attraction.

En chimie, les acides ont la propriété macroscopique de piquer la langue car ils sont constitués de petites particules pointues. Les bases contiennent des trous qui viennent s'adapter sur les pointes des acides pour les neutraliser. Bref, il n'est rien que cette nouvelle philosophie ne puisse expliquer.

Pour clôturer le tableau, ajoutons que dans l'esprit des mécanistes et contrairement aux naturalistes, il ne s'agit plus seulement de connaître la nature, il s'agit de la dominer. La philosophie mécaniste a connu un triomphe inouï, et reste dans une large mesure le mode de pensée dominant de notre science moderne, qui semble de ce fait avoir éradiqué tout ce qu'elle devait au naturalisme et à la scolastique. Voici ce qu'en dit L. Rougier (2) :

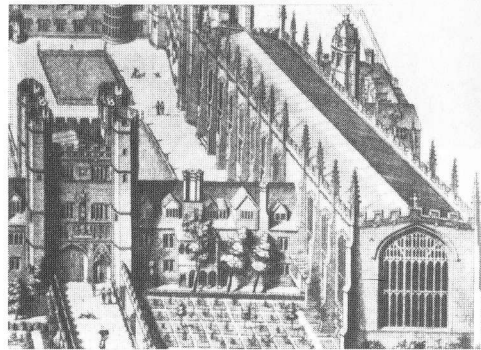
« Descartes prétendait ramener la physique aux principes de la mécanique, qu'il tirait de « certaines semences de vérités », les idées innées, que Dieu a déposées dans notre esprit comme sa marque sur son ouvrage. Cette méthode *a priori* et déductive, qui réduit l'expérience à un rôle subalterne, était vouée à l'échec. Mais les « erreurs mémorables de M. Descartes » furent des erreurs stimulantes. Descartes élimina de la physique les causes finales, les formes substantielles, les qualités occultes. Il évacua de la physiologie les âmes végétales, sensibles, les principes vitaux, qui conduisaient aux explications purement verbales des scolastiques, dont on ne saurait rien tirer d'« utile pour la vie ».

Son modèle d'univers, aussi simple qu'une pièce d'horlogerie, répond au besoin des esprits concrets de se figurer comment les choses se passent. A sa suite, la recherche d'une explication mécanique de tous les phénomènes physiques deviendra l'obsession dominante des physiciens, et conduira à

de belles découvertes, comme la théorie atomique, la théorie cinétique des gaz, la théorie mécanique du son. »

Newton, face visible

C'est dans ce contexte philosophique et scientifique que Isaac Newton entame ses études en 1661, au *Trinity College* de Cambridge. Nous allons principalement discuter de ses découvertes en mécanique, sans oublier néanmoins qu'il fut pionnier aussi dans le domaine de l'optique : conception d'un modèle de télescope qui lui vaudra son élection à la *Royal Society* en 1672, étude de la réfraction de la lumière à travers un prisme (le nombre sept des couleurs de l'arc-en-ciel remonte à Newton et témoigne de son influence naturaliste), modèle corpusculaire de la lumière.



Chambre de Newton à Cambridge

Ceci dit, un des problèmes en vogue en cette deuxième moitié du XVII^e siècle est la compréhension des lois des mouvements planétaires, et en particulier de la révolution de la Lune autour de la Terre. Kepler, dans sa maturité, avait remarqué que sur la ligne des apsides la vitesse était inversement proportionnelle à la distance (c'est une conséquence de sa deuxième loi). Il en déduisait l'existence d'une force d'origine solaire, de nature magnétique, inversement proportionnelle à la distance mais pas centrale : de gigantesques bras magnétiques étaient censés émaner d'un Soleil en rotation sur lui-même, et avaient

pour rôle de promouvoir les planètes sur leurs orbites. De nombreuses autres théories assez qualitatives étaient dans l'air du temps. Sans revenir sur Descartes, citons, entre autres, le Français Gilles Personne de Roberval, pour qui la Terre attire la Lune, mais l'éther forme un coussin entre les deux astres qui empêche la Lune de s'effondrer sur la Terre. Giovanni Alphonso Borelli, le successeur de Galilée à l'université de Pise, prend l'exemple de la fronde pour expliquer que la Lune ne s'écrase pas sur la Terre grâce à l'action répulsive de la force centrifuge. Cependant, ici encore elle a besoin d'un balai invisible pour pouvoir tourner, autrement dit, elle n'a pas d'impulsion propre.



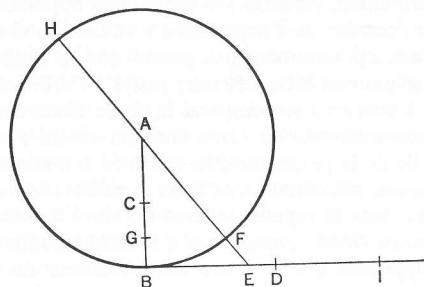
Edmond Halley (1656–1742)

Le concept d'une force attractive centrale parvint à s'imposer vers le milieu du XVII^e siècle. En particulier, l'idée d'une force variant comme l'inverse du carré de la distance était manifestement présente à l'esprit des scientifiques de la *Royal Society* (créée en 1662) à Londres, Robert Hooke notamment. Peut-être trouve-t-elle son ori-

gine dans la constatation faite depuis Euclide, selon laquelle l'éclairement lumineux provenant d'une source varie selon cette loi. Que vers 1665-1666 Newton, de retour dans son foyer natal à Woolsthorpe suite à l'épidémie de peste qui dévasta alors l'Angleterre, ait retrouvé une telle force à partir de la troisième loi de Kepler appliquée à des orbites astronomiques circulaires, ce n'est pas impossible. Il écrira plus tard : « ... à partir de la règle de Kepler, ... je déduisis que les forces qui maintiennent les planètes sur leur orbite doivent varier comme l'inverse du carré de leur distance au centre autour duquel elles opèrent leur révolution ». La démonstration de Newton sera d'ailleurs établie indépendamment par Christopher Wren, vers 1677, et par Edmond Halley, en 1684. En voici le principe. Il fallait poser que la force d'attraction équilibre la tendance à la répulsion centrifuge, dont l'expression mathématique était connue de Newton dès 1666 (elle a été publiée par Huygens en 1673 dans son livre *Horologium oscillatorium*, et on en trouvera une belle démonstration géométrique dans son ouvrage posthume *De motu et vi centrifuga*, publié en 1703). Une simple manipulation mathématique à partir de la troisième loi de Kepler appliquée à des orbites circulaires montre que l'effort centrifuge doit alors varier comme l'inverse du carré de la distance.

La force dont il est question ci-dessus était assez mystérieuse, d'origine céleste. Mais il est plausible qu'à la même époque Newton ait découvert l'idée de gravitation universelle : cette force est de nature *gravifique* et concerne tous les corps, qui s'attirent donc mutuellement. Newton a soumis cette hypothèse au contrôle de l'expérience : « ... en 1665 et 1666... je commençai à penser que la pesanteur pouvait bien s'étendre jusqu'à l'orbite de la Lune, et... je comparai la force nécessaire pour maintenir la Lune sur son orbite avec celle de la pesanteur terrestre ». Si son raisonnement est correct, ces deux nombres doivent être dans le rapport inverse du carré des distances. Voici, *grosso modo*, la démonstration. Supposons que la Lune décrive autour de la Terre un cercle à vitesse constante. L'intensité de la tendance centrifuge peut être me-

surée par la distance FE dont la Lune est défléchie pendant un très petit intervalle de temps, par rapport à la direction tangentielle BE qu'elle suivrait si elle n'était plus astreinte à se mouvoir sur un cercle (voir figure ci-dessous). On peut montrer que cette quantité FE a tendance à croître comme le carré du temps, autrement dit elle vérifie la loi de l'accélération des corps en chute libre étudiée par Galilée, à ceci près que l'accélération est centrifuge. Et justement, la Lune est en équilibre sur son orbite circulaire parce que la gravité terrestre compense exactement cette tendance à l'éloignement. Ainsi, la quantité FE mesure la distance dont la Lune s'éloignerait de la Terre si cette dernière ne l'attirait pas. Inversement, à cause de l'égalité entre gravitation et accélération centrifuge, elle mesure la distance dont la Lune s'approcherait de la Terre si on parvenait à interrompre son mouvement de révolution. Maintenant, un calcul assez simple basé sur les lois du mouvement circulaire uniforme permet d'estimer la distance FE au bout d'une seconde : un peu moins de 1.4 millimètres. Or, la distance Terre-Lune vaut à peu près soixante rayons terrestres. Cela veut dire que la Lune est environ soixante fois plus loin du centre de la Terre que la pomme se détachant de son arbre. Par conséquent, si la loi en l'inverse du carré de la distance est correcte, en une seconde la pomme doit tomber sur la Terre d'une distance soixante au carré fois plus grande, c'est-à-dire 1.4 mm fois 60 fois 60, soit 5m environ. Ceci est en accord avec l'expérimentation.



En réalité les calculs de Newton ne tombèrent pas tout à fait juste, parce qu'on ne disposait pas à cette époque d'une valeur correcte du rapport entre la distance Terre-Lune et le rayon terrestre. De plus, si compte tenu des distances il était raisonnable d'assimiler la Terre à un point attirant la Lune, cette approximation n'était pas du tout évidente dans le cas d'une pomme se détachant d'une branche à 3 mètres du sol. Enfin, les orbites de la Lune et des planètes ne sont pas circulaires, elles sont elliptiques. En d'autres termes, la théorie de la gravitation universelle souffrait encore de sérieuses lacunes et on peut admettre que Newton n'ait rien voulu publier avant de pouvoir se défendre valablement. Peut-être pensa-t-il un moment que le pouvoir maintenant la Lune sur son orbite pourrait être dû en partie à la gravité et en partie aux tourbillons de Descartes. En tout état de cause, pendant les années 1670 il se consacra principalement à des études de mathématiques, d'optique, d'alchimie et de théologie. Nous verrons plus loin l'influence de ces deux dernières disciplines sur sa pensée scientifique.

En 1679, Hooke écrivit à Newton, en lui demandant quelle trajectoire planétaire résulterait de l'application d'une force attractive centrale inversement proportionnelle au carré de la distance. On ne sait pas exactement quand Newton découvrit la solution (une ellipse), mais vers 1680 il trouva la réponse à la question inverse : un mouvement elliptique implique la force en question. Newton garda ces démonstrations pour lui-même jusqu'en 1684. Cette année-là, Halley lui rendit visite à Cambridge et réitéra la question de Hooke. On imagine sa surprise lorsque son interlocuteur lui fournit immédiatement la réponse : enthousiasmé, Halley le pressa de publier ses découvertes. Newton se mit à la tâche mais comprit bientôt qu'il fallait faire reposer ses calculs sur des fondations solides (nul doute, à ce propos, que sa maîtrise exceptionnelle des mathématiques ait été une des raisons majeures de la supériorité de Newton sur les autres scientifiques de l'époque). La moindre des difficultés n'était pas d'établir clairement les rapports entre les concepts de force et de mouvement.

PHILOSOPHIÆ NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICÆ.

Autore *J. S. NEWTON*, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos
Professore *Lucafiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Jussu Societatis Regiæ ac Typis *Josephi Streater*. Prostant Venales apud *Sam. Smith* ad insignia Principis *Walliæ* in Cœmiterio *D. Pauli*, aliofq; nonnullos Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

Il se lança alors dans un vaste travail de synthèse qui lui prit plusieurs années.

Les « *Philosophiae naturalis principia mathematica* » (Principes mathématiques de philosophie naturelle) parurent en 1687 et connurent un succès immédiat. Newton y explique notamment les marées terrestres, interprète la précession des équinoxes, prédit l'aplatissement de la Terre aux pôles, démontre la fausseté de la théorie des tourbillons de Descartes. A ce propos, il reconnaît d'ailleurs que toute tentative d'explication mécaniste, par le biais d'une chaîne causale d'actions contiguës, est vouée à l'échec car l'interaction gravifique entre deux corps ne dépend fondamentalement que de leurs masses, et pas de leurs surfaces. L'origine de la loi en l'inverse du carré de la distance reste donc inexplicée [(1),(3)].



L'Alchimie suivant les traces de pas de la Nature

Mais surtout, dès les premières pages de son livre, Newton pose d'emblée un axiome très général dont l'étude des trajectoires planétaires, abordée plus loin dans le livre, n'est qu'un cas particulier : *la force est la cause, non pas du mouvement, mais de sa variation*. Point n'est besoin d'une force pour maintenir un corps dans un état de mouvement constant, c'est-à-dire rectiligne et uniforme (on retrouve le principe d'inertie

de Galilée-Descartes). Une force n'est requise que pour modifier le mouvement. Rappelons, une fois encore, que la force centrale émanant de la Terre ramène sans cesse à elle la Lune qui, sans la gravitation, s'éloignerait tangentiellement à sa trajectoire.

Enfin, le caractère réciproque de la gravitation est lui aussi étendu en un axiome général, le *principe d'action-réaction* : à toute action d'un corps sur un autre est associée une réaction de ce dernier, de même intensité, même direction et de sens contraire.

Newton, face cachée

a. Alchimie

Certains savants ont voulu préserver l'intégrité de l'image officielle de Newton en prétendant qu'il n'avait jamais pratiqué l'alchimie, et que ses nombreuses expériences n'ont jamais dépassé le cadre strict de la chimie. Ces gens-là ont tort. D'autres, plus ou moins marginalisés par rapport à la science traditionnelle, ont voulu le récupérer en le considérant comme un des leurs. Leur attitude est tout aussi excessive. Entre ces deux extrêmes, le point de vue le plus répandu actuellement est le suivant.

Newton s'est effectivement adonné à l'art d'Hermès. Ce n'était ni un péché de jeunesse, ni le signe de ramollissement cérébral d'un vieillard égaré. Témoin, cet extrait des « *Principia* » où Newton, en pleine maturité, expose clairement sa croyance en la transmutation :

« Les vapeurs qui naissent du Soleil, des étoiles fixes et des queues des comètes peuvent finir par rencontrer des atmosphères des planètes et s'unir à elles de par leur gravité et être ainsi condensées et transformées en eau et en esprits humides, et à partir de là, par une douce chaleur, passer graduellement sous la forme de sels, de soufres et de teintures, de boue, d'argile et de sable, de pierres, de corail et autres substances terrestres ».

Ceci peut paraître extravagant pour nos esprits modernes. Il est cependant très difficile de juger le point de vue d'un scientifique d'il y a trois siècles. Newton a pratiqué l'alchimie avec la rationalité, la rigueur, la ténacité, l'ordre et la précision qui caractérisaient

toutes ses activités. Mais la chimie devait attendre un siècle encore avant de connaître sa véritable révolution. Révolution qui procèdera d'ailleurs plus d'un changement de mentalité que d'une véritable cassure dans l'état des connaissances. Comme le dit fort bien Bernadette Bensaude-Vincent (8), à l'époque de Lavoisier (1743–1794) le mot « nature » prendra une signification nouvelle en chimie : « Ce n'est plus ce matériau sauvage que l'on découvrirait en plein vent, mais un ordre patiemment construit dans un espace clos, où règne la maîtrise de la mesure (...) Les éléments de la chimie ne sont pas tirés de la nature. Ils sont le résultat d'une opération de laboratoire ». On voit la nuance entre cette conception moderne et celle, exposée plus haut, du naturalisme au XVIIIe siècle, et dans laquelle devait forcément baigner un Isaac Newton, tout rationnel qu'il fût.

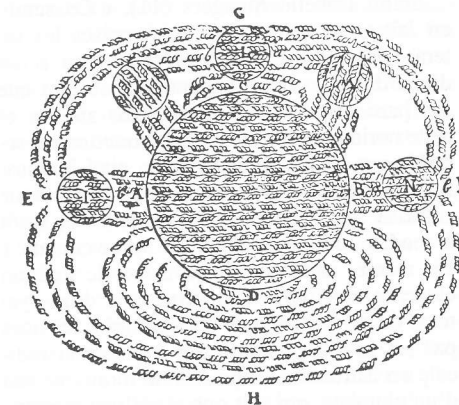


L'alchimiste Brand découvrant le phosphore (1669) – tableau de 1770

Il est d'autre part délicat de parler des convictions alchimiques de Newton, car il n'a pas publié grand-chose sur ce sujet ésotérique, et ses idées ont forcément dû évoluer tout au long de sa vie. Par exemple, il est sans doute significatif que l'hypothèse suivante, énoncée dans la première édition des *Principia*, ait été retranchée à partir de la seconde édition : « Tout corps peut être transformé en un

autre, de quelque sorte qu'il soit, et tous les degrés intermédiaires de qualités peuvent être produits en lui ». Cette suppression semble marquer un certain découragement par rapport à la possibilité de transmutation. Malgré tout, nous allons essayer de comprendre un peu mieux ce qu'a pu chercher Newton, comment il a tenté d'y parvenir, et surtout l'incidence de ces recherches sur ses travaux officiels.

Dans un court opuscule écrit vers 1691 ou 1692, « *De natura acidorum* », Newton s'explique à propos de la nature chimique complexe des particules. Il choisit pour exemple l'or : « L'or possède des particules qui sont mutuellement en contact les unes avec les autres : leurs sommes doivent être appelées sommes de la première composition, et leurs sommes des sommes, de la seconde composition et ainsi de suite jusqu'aux particules de la dernière catégorie ou composition ». Il pensait ainsi que les particules les plus petites, celles qui étaient mutuellement en contact les unes avec les autres, étaient faites d'une *matière universelle*, identique pour toutes les substances. Le principe de la transmutation tenait donc du jeu de construction : briser les particules d'une substance donnée pour remonter jusqu'au constituant universel, et ensuite assembler ces fragments de base pour construire un nouvel élément.

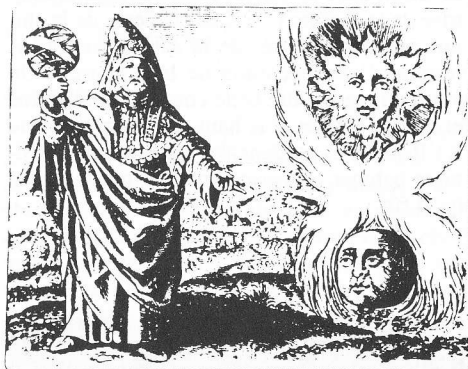


Or, plus on descendait dans la hiérarchie des particules, plus elles étaient soumises à des forces d'interaction importantes. En fait, selon Betty J. Teeter Dobbs (9) l'idée de *force*, telle qu'elle est née et a grandi dans l'esprit de

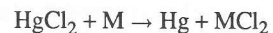
Newton, plonge sans aucun doute ses racines profondes dans ses études alchimiques, en particulier dans l'idée des *principes vitaux* mentionnés ci-dessus dans la description du naturalisme. Nous y reviendrons plus loin en parlant du régule étoilé d'antimoine. En tout cas, disparues, les particules inertes de la matière cartésienne, reposant tranquillement les unes à côté des autres dans l'attente d'un impact. A la place, on avait des corpuscules structurés de plus en plus complexes, soit maintenus en un tout cohérent par des forces d'attraction, mais également capables, en d'autres occasions, de se repousser les uns les autres. Le changement était à l'ordre du jour dans le monde de l'infinitement petit : la matière était en pleine maturation, puis elle se désagrégeait, et de nouveau se régénérait sous l'action des principes actifs. Ces derniers libéraient Newton des théories à base d'atomes crochus et de pores à pas de vis. Ils expliquaient les travaux spontanés de la nature qui, selon Newton, ne pouvaient être compris par les principes du strict mécanisme en termes de transmission du mouvement d'un objet à un autre par impact : gravitation, battements de cœur et circulation sanguine, explosion de la poudre à canon (10). Ils réactivaient la quantité de mouvement totale de l'Univers qui sans eux tendrait progressivement vers zéro.

Selon Isabelle Stengers (11), « Ce serait, en fait, pour tenter de mathématiser les interactions entre corps que Newton se serait d'abord intéressé à l'astronomie, en tant que cas particulier et, espérait-il, plus simple, et cette notion, antimécaniste, d'attraction lui serait venue de la chimie. Mais la mathématisation du ciel aurait provoqué cette gigantesque surprise : une seule force, universelle, suffit à rendre compte de tous les mouvements. » De même, à propos du principe de l'action et de la réaction : « Si cette idée d'un système de masses mutuellement attirées les unes par les autres constitue une innovation radicale en astronomie, elle étonne moins venant d'un chimiste, qui sait que, dans une réaction chimique, tous les corps en présence jouent un rôle les uns par rapport aux autres ». La proposition VI des *Principia* reflète l'importance de cette notion de principes vitaux dans l'élaboration de la théorie de la gravitation :

« Il existe un esprit infini et omniprésent dans lequel se meut la matière en accord avec les lois mathématiques ». Dans le même ordre d'idées, le professeur Richard Westfall, dans son livre « Force in Newton's physics », en arrive à la conclusion que *c'est l'union de la tradition hermétique avec la philosophie mécanique qui enfanta la science moderne*, mais celle-ci, dans son développement spectaculaire, a ignoré ou rejeté son héritage hermétique (12).



Quel est le lien entre tout ceci et la transmutation des métaux en or ? Des sept métaux connus depuis l'Antiquité (le mercure, le cuivre, le fer, l'étain, le plomb, l'argent et l'or), le mercure est le seul liquide dans les conditions normales. Jointe à son pouvoir de dissoudre l'or, cette propriété lui a toujours conféré un statut privilégié. En fait, les alchimistes pensaient que tous les métaux résultaient de la combinaison de deux principes, le soufre et le mercure, mais il ne s'agissait pas des substances vulgaires qui portent ces noms. Le mercure dont il est question ici est le *mercure philosophique*. Il est possible que l'idée de son existence trouve son origine dans des réactions chimiques du type suivant :



(L'action du chlorure de mercure sur un métal libère le mercure pour donner du chlorure de métal.) En effet, les lois des proportions chimiques étaient inconnues avant le XIXe siècle. On ne savait pas encore que des

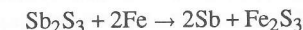
quantités égales de substances différentes possèdent des poids différents. Si donc on utilisait une quantité égale en poids de chlorure de mercure et de métal, il pouvait y avoir du métal en trop, donc après la réaction du mercure et le métal excédentaire, c'est-à-dire un amalgame possédant certaines propriétés du mercure et certaines propriétés du métal. Dans ces conditions, certains alchimistes ont peut-être alors cru avoir « ouvert » le métal pour en extraire son mercure philosophique.

Or, le mercure philosophique avait la flatteuse réputation de pouvoir dissoudre l'or en ses particules les plus intimes, celles de la première composition, entre lesquelles les forces d'interaction sont les plus intenses. Bien entendu, on savait au XVIIe siècle, depuis longtemps déjà, que le mercure vulgaire et l'*aqua regia* pouvaient dissoudre l'or. Mais, comme le précise Betty J. Teeter Dobbs (9), « en règle générale, on estimait que ce mode particulier de dissolution ne dissolvait pas réellement les constituants de l'or ; on pensait plutôt que l'*aqua regia* se contentait de dissoudre l'or en petites particules, lesquelles, quant à leur nature, restaient toujours de l'or, d'avantage même que si l'on avait procédé par limage ou par broyage ». Newton, dans son « De natura acidorum », reconnaît lui aussi que le mercure vulgaire peut passer à travers les pores qui existent entre les particules de la dernière catégorie, mais non d'autres. Cependant, « si un solvant pouvait passer à travers ces autres, ou si des particules d'or de la première et de la seconde composition pouvaient être séparées, on aurait de l'or liquide. Si l'or pouvait fermenter, il pourrait être transformé en n'importe quelle autre substance. Et ainsi en est-il de l'étain, ou de tout autre corps, de même qu'une somme commune d'aliments se transforme pour devenir les corps des animaux et des plantes ». Dans un des manuscrits de la collection Keynes (Keynes MS 18), on peut lire que le mercure philosophique est un « mercure aussi vivant et mobile que n'importe quel mercure trouvé dans le monde », et ses qualités vivifiantes sont évidentes du fait qu'il donne vie à l'or commun (mort) et qu'il le met en état de croître de nouveau : « L'or commence à gonfler, à être gonflé et à pourrir et donc à bour-

geonner et à pousser des branches, en changeant de couleur tous les jours, dont l'apparence me fascine quotidiennement ».

Un des buts de l'alchimie était donc de recueillir le mercure philosophique, d'y dissoudre l'or commun et d'extraire de cette solution un or bien plus pur encore, l'*or philosophique*, conformément à la devise « *solve et coagula* ». A ce point de vue-là au moins, cela fait un peu penser à l'esprit de la chimie moderne, qui essaye d'abord d'analyser un corps en le décomposant avant de tenter de le synthétiser : il est plus facile de fabriquer une substance dont on connaît la constitution.

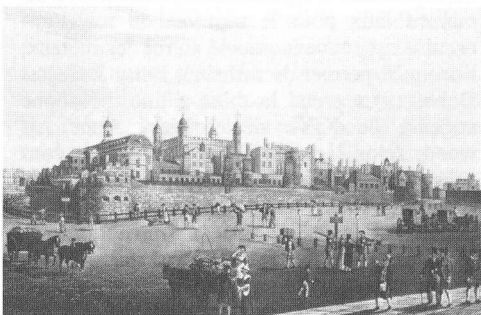
Nous voudrions enfin mentionner l'expérience suivante, qui a dû beaucoup impressionner Newton et jouer un rôle important dans sa croyance aux principes vitaux et, pourquoi pas, dans sa motivation pour l'étude de la gravitation. Elle consiste à chauffer du sulfure d'antimoine (la stibine) avec du fer, ce qui libère l'antimoine en laissant surnager des scories de sulfure de fer :



Si certaines conditions particulières sont réunies lors de la purification et du refroidissement, des branches de cristaux d'antimoine apparaissent autour d'un point central, ce qui donne à l'ensemble la forme d'une étoile. On lui a donné le nom de *régule étoilé d'antimoine*. L'appellation *regulus* rappelle l'étoile la plus brillante de la constellation du Lion, mais peut-être s'agit-il tout simplement du diminutif latin pour le mot *rex*, le roi (l'antimoine est souvent associé au roi des métaux, l'or, qu'il permet de raffiner). Betty J. Teeter Dobbs (9) reprend la thèse d'une théosophe anglaise du XIXe siècle, Mary Anne Atwood, selon laquelle on peut très bien considérer que dans le régule les lignes *convergent* vers le centre, ce qui leur confère dès lors la caractéristique de l'*attraction* plutôt que de l'*émission*. Newton, par ailleurs, connaissait le texte suivant, extrait du « Char triomphal de l'antimoine » de Basile Valentin (XVe siècle) : « Sais que dans l'antimoine également il existe un esprit qui est sa force, qui le pénètre donc invisiblement, comme

la propriété magnétique pénètre l'aimant ». Selon Newton, l'« aimant d'antimoine » était capable d'extraire le « principe vivifiant » de l'« esprit universel ». Cette semence spirituelle faisait du mercure commun un mercure « animé ». En définitive, il aurait été possible de produire le mercure philosophique en remettant plusieurs fois le mercure vulgaire en présence du « régule du lion », comme on l'appelle aussi, et en distillant à chaque fois : « A l'issue de multiples digestions, broyages, lavages, séchages, distillations et de nouvelles amalgamations, toute la noirceur est éliminée et à la septième fois vous devez avoir un mercure dissolvant tous les métaux, en particulier l'or ». On imagine sans peine l'importance que toutes ces considérations purent avoir aux yeux du père de la théorie de la gravitation.

Le triomphe des Principia entraîna assez rapidement l'avènement du newtonianisme. Devenu célèbre, nommé inspecteur puis directeur à l'Hôtel des Monnaies à Londres, élu président de la *Royal Society* en 1703, sacré chevalier par la reine Anne Stuart en 1705, Newton plaça soigneusement ses divers partisans à des postes stratégiques de la vie scientifique anglaise. On assista alors à un véritable déferlement de théories les plus diverses et dans tous les domaines, jusqu'à la physiologie, où cette panacée qu'était devenu le nouveau concept de force, était censée tout expliquer.



Tour de Londres,
Hôtel des Monnaies



G.W. Leibniz (1646–1716)

b. Théologie

Les continentaux, Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) en tête, virent dans ces démarches un retour aux qualités occultes de la philosophie scolastique. Newton rétorqua que les forces, d'attraction chimique notamment, se manifestent en tant que *phénomènes*, donc que les qualités en elles-mêmes sont manifestes, mais que ce sont seulement leurs *causes* qui sont inconnues. De plus, contrairement aux scolastiques, Newton ne pose pas que ces causes ne puissent jamais être connues. Elles ne le sont pas encore à l'heure actuelle, c'est tout. C'est dans ce contexte qu'il faut comprendre le célèbre « hypothèses non fingo » mentionné au début de ce texte. S'il existe un aspect occulte résiduel dans l'œuvre de Newton, il résulte de la tradition magique et naturaliste, et pas du tout scolastique, à laquelle Newton était opposé. Cependant, selon Jan Golinski (13), pour préserver sa crédibilité face à ces attaques, Newton dut cacher ce

qu'il devait à une tradition secrète de textes alchimiques. Avec ses successeurs, il mit alors l'accent sur l'observabilité des forces d'attraction, sur une théorie systématique et déduite de l'expérience.

Newton nous a également laissé de nombreux manuscrits théologiques : un million de mots environ contre un million deux cent mille consacrés à l'alchimie, le tout totalisant quelques septante-deux pour cent de son œuvre écrite. Il s'est, entre autres, passionné pour les écrits bibliques, qu'il a interprétés avec sa rationalité habituelle. Par exemple, selon lui les six premiers jours de la Genèse ne doivent pas être pris au figuré. En effet, les trois premiers jours ont pu être aussi longs que l'on veut car le Soleil n'avait pas encore été créé : Dieu a donc eu tout le temps pour agir. Dans le même ordre d'idées, parmi mille autres exemples, un disciple de Newton, William Whiston, affirmera que le Déluge décrit dans la Genèse a été provoqué par la collision d'une comète dont il a calculé les éléments orbitaux.

Le physicien anglais Robert Boyle (1627–1691) disait que notre capacité de déplacer nos membres à volonté, est un témoignage du fait que la matière peut être sous le contrôle de l'esprit. Pour Newton, de la même manière, Dieu en tant qu'esprit peut agir dans le monde physique. Les lois de la nature reflètent la manière dont un être intelligent agit, ce qui ne revient cependant pas à identifier Dieu à ces lois. D'ailleurs Dieu, tout-puissant et libre, peut modifier les lois de la nature si tel est son bon plaisir. Samuel Clarke, le porte-parole officiel de Newton dans sa guerre contre les continentaux, insistera sur le fait que les lois de la nature ne sont rien d'autre que la volonté de Dieu de produire certains effets d'une façon continue, régulière, constante et uniforme.

Donc, Dieu interagit à tout instant avec l'Univers, en utilisant des moyens naturels chaque fois qu'il le peut, et partout on trouve des signes de son infinie sagesse. Ainsi, le rôle des satellites de Jupiter et de Saturne serait de prendre la place de Vénus, la Terre et Mars au cas où ces dernières viendraient à être détruites par un cataclysme : ils servent de réservoir où Dieu n'aurait qu'à puiser pour une

nouvelle Création. De même, les comètes servent à approvisionner les astres fixes ayant été progressivement épuisés par les rayons lumineux et les vapeurs qu'ils émettaient depuis longtemps. Encore une fois, ceci doit avoir été l'effet d'une intention. Plus généralement, comme le dit Koestler (4), « Newton (...) assigna à Dieu une double fonction de Créateur de la machine universelle, et d'Ingénieur chargé de l'entretien et des réparations. (...) Il croyait en outre que sous la pression de la gravitation l'Univers s'effondrerait « sans une puissance divine pour le soutenir » ; et, de plus, que les petites irrégularités des mouvements planétaires s'accumuleraient et détraqueraient tout le système si Dieu ne le réglait de temps en temps ».

Ces conceptions métaphysiques attirèrent elles aussi les sarcasmes de Leibniz. Elles ont un petit relent de panthéisme, et effectivement certains auteurs ont rapproché les conceptions théologiques de Newton, du panthéisme des naturalistes, Jacob Böhme (1575–1524) en particulier. Selon Max Jammer (1), on ne peut les suivre jusque là. Nous avons déjà souligné la liberté de Dieu par rapport aux lois de la nature. De plus, nous savons aujourd'hui qu'en fait Newton adhérait secrètement à la religion arienne, qui croit en l'existence d'une seule divinité et nie le dogme chrétien de la consubstantialité : le Fils et l'Esprit-Saint ne sont pas de la même substance que Dieu.

Ici encore on peut jeter un pont entre cette conviction théologique de Newton et sa croyance scientifique en l'existence d'un *espace absolu*, qui est un des fondements de sa mécanique. Unique, éternel et immuable, l'espace absolu est le véritable organe des sens de Dieu. A travers sa présence, Il domine et discerne les choses, voit tout et entend tout.

Conclusion

Y a-t-il deux Newton ?

Nous avons tenté de montrer que non. Bien sûr, comme nous l'avons déjà signalé, une partie des contradictions apparentes disparaît si nous voulons bien essayer de prendre en considération la distance historique qui nous sépare du grand savant anglais. Une fois réa-

lisé ce recul nécessaire, il faut admettre que les deux faces de Newton nous révèlent un personnage assez consistant : rigueur, rationalité dans l'expérimentation, homogénéité entre sa vision scientifique du monde et ses convictions alchimiques ou religieuses. Il est vrai que Newton a choisi un chemin beaucoup plus dangereux que son prédécesseur Galilée, qui une fois pour toutes avait séparé les questions philosophiques et religieuses des questions scientifiques. En ce sens Galilée peut être considéré comme plus moderne que Newton, et cette politique est d'ailleurs probablement la façon la plus sûre de ne pas dire de bêtises. Mais peut-on reprocher à Newton d'avoir tenté d'établir une jonction entre les deux ?

Il est probable que le père de la théorie de la gravitation universelle ait été le propre responsable de l'image ambiguë que nous avons de lui, en n'exhibant officiellement que ce qu'il devait à la science traditionnelle, et en taisant son inspiration naturaliste, voire magique, pour les raisons que nous avons expliquées plus haut. On peut aussi imaginer que l'anecdote de la pomme de 1666 fut en partie inventée *a posteriori* par Newton dans ses vieux jours pour mettre un terme aux querelles de priorité qui l'ont opposé à d'autres scientifiques, Hooke en particulier.

Et maintenant, quand bien même il subsisterait quelque part une contradiction, on pourrait se demander dans quelle mesure elle n'est pas la signature de l'esprit humain. En quelque sorte le génie résulterait de l'aptitude à associer les contraires — comment et dans quelles conditions, même les plus grands créateurs ne pourraient vraisemblablement pas l'expliquer. Cette juxtaposition des opposés nous ravit en art, dans les leitmotifs d'un Wagner où plusieurs thèmes contraires se superposent en exprimant pourtant un sentiment cohérent, dans les phrases en coup de poing d'un Rimbaud, et même en quelque sorte dans les peintures impressionnistes qui se dissolvent dès qu'on les soumet au regard critique d'une analyse trop rapprochée. Dès lors, est-il pertinent de s'en choquer encore en sciences ? Laissons une fois de plus la parole à Koestler (4) : « Il semble que la plupart des génies responsables des grandes mutations de l'histoire des idées aient certains traits en commun ;

d'une part le scepticisme, poussé bien souvent jusqu'à l'iconoclasme, à l'égard des idées traditionnelles, des axiomes, des dogmes, de tout ce que l'on admet sans discussion ; d'autre part une ouverture d'esprit qui frise la crédulité envers tout concept nouveau qui paraît offrir quelque promesse à leurs tâtonnements instinctifs. »

Dans un prochain article, nous aurons l'occasion de discuter de la signification et de la portée de la loi fondamentale de la dynamique déjà citée ci-dessus : la force est proportionnelle à la variation du mouvement.

* * *

Références générales sur Newton et l'évolution des idées en physique

1. M. Jammer, « Concepts of force », chapitres 5, 6, 7, Harvard University Press, 1957.
2. L. Rougier, « Le génie de l'occident », Robert Laffont, 1969.
3. R. Feynman, « La nature de la physique », chapitre 2, Collection Points Science S23, Seuil, 1980.
4. A. Koestler, « Les somnambules » (traduit de l'anglais par Georges Fradier), Calmann-Lévy, 1960.
5. R. Locqueneux, « Histoire de la physique », Que sais-je ? n°421, Presses universitaires de France, 1987.
6. O. Pedersen, « Early physics and astronomy », Cambridge University Press, 1993.
7. Les cahiers de Science et Vie, « Newton », hors-série n°13, février 1993.

Alchimie et chimie

8. B. Bensaude-Vincent, « Lavoisier : une révolution scientifique », dans « Eléments d'histoire des sciences », sous la direction de M. Serres, Bordas, 1989.
9. Betty J. Teeter Dobbs, « Les fondements de l'alchimie de Newton », Guy Trédaniel, éditions de La Maisnie, 1981.
10. J. Henry, « Newton, matter, and magic », dans « Let Newton be », édité par J. Fauvel, R. Flood, M. Shortland et R. Wilson, Oxford University Press, 1988.
11. I. Stengers, « L'affinité ambiguë : le rêve newtonien de la chimie du XVIIIe siècle »,

- dans « Eléments d'histoire des sciences », sous la direction de M. Serres, Bordas, 1989.
15. P. Thuillier, « La tentation de l'alchimie », dans « Ciel et Espace », « L'histoire cachée de l'astronomie », hors-série n°6, 1993.
- Théologie*
16. J. Brooke, « The God of Isaac Newton », dans « Let Newton be », édité par J. Fauvel, R. Flood, M. Shortland et R. Wilson, Oxford University Press, 1988.