



Christian SCOTTA



Les Cahiers de la SAN

ISAAC NEWTON

Christian SCOTTA

Édition 2011

Les « **Cahiers de la SAN** » sont édités par la Société d'Astronomie de Nantes,
Société Scientifique d'Éducation Populaire agréée Jeunesse et Sports.

35, boulevard Louis-Millet
44300 NANTES

Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23 - E-mail : contact-san@san-fr.com

© Toute reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit,
sans l'autorisation de la Société d'Astronomie de Nantes, est interdite.

ISAAC NEWTON

Introduction

Pour les anglais, Isaac NEWTON est né le jour de Noël 1642 ; en effet, l'Angleterre n'adoptera la réforme du calendrier promulguée par le pape Grégoire XIII qu'en 1752 ; c'est pourquoi, en France, on était déjà le lundi 5 janvier 1643.

Il était si chétif qu'on ne lui donna que quelques jours à vivre : il mourra à 85 ans, après une carrière prestigieuse ! Il ne fut pas un très bon élève à l'école. Cela ne l'empêchera pas d'être nommé en 1669 professeur à la chaire de mathématiques de l'Université de Cambridge (celle qu'occupera, bien plus tard, un autre anglais célèbre : Stephen HAWKING).

Devenu célèbre après la publication des *Principia*, NEWTON se verra confier le poste de directeur de la *Monnaie* en 1696 ; il s'acquittera de cette tâche avec zèle en pourchassant sans répit les faux-monnayeurs.

En 1703, il sera élu président de la *Royal Society*, sur laquelle il règnera en despote ; il sera aussi membre correspondant de l'*Académie des Sciences* de Paris.

La reine Anne lui donne le titre de Sir en 1705.

NEWTON n'avait pas très bon caractère ; il était irascible et avait peur qu'on lui dérobe la priorité de ses découvertes. D'ailleurs, sa vie fut ponctuée par des querelles qui l'opposèrent

à Robert HOOKE à propos de la découverte de la gravitation universelle, ou encore à LEIBNIZ à propos de la découverte du calcul infinitésimal (ce qu'on appelle aujourd'hui les opérations de dérivation et d'intégration).

1666 : l'année miraculeuse

L'année 1666 fut une des années les plus tragiques de l'histoire de l'Angleterre. La peste sévit à Londres en tuant 75 000 personnes, soit le sixième de la population de la capitale ; puis le 'grand incendie' ravagea les quatre cinquièmes de la ville. Pour la science, l'année 1666 est « un grand cru », bien qu'on ne le sut que plus tard.

Pour fuir la peste, le jeune Isaac se réfugie chez lui, à Woolthorpe, pour ne revenir à Cambridge que l'année suivante. Cette année de vacances forcées, il va la mettre à profit pour parfaire ses connaissances en géométrie, en lisant les « *Éléments* » d'EUCLIDE, et pour réaliser des expériences d'optique, car la lumière le fascine.

L'optique

Il fait sa première grande découverte : il décompose un faisceau de lumière solaire au moyen d'un prisme, et obtient un *spectre*, où se déploient les couleurs de l'arc-en-ciel ; il refait passer le spectre obtenu à travers un nouveau prisme et il obtient à nouveau de la lumière blanche. D'autres expériences l'amènent à conclure que la lumière « blanche » est un mélange de différentes couleurs fondamentales qui sont celles de l'arc-en-ciel.

Un objet éclairé par la partie rouge du spectre devient rouge. Les objets doivent leurs couleurs parce qu'ils sont éclairés par de la lumière blanche qui est un mélange de couleurs. Ils en absorbent certaines composantes et réfléchissent le reste ; les composantes restantes donnent, par leur mélange, les couleurs que nous voyons.

En 1672, il communiqua les résultats de ses travaux à la Royal Society. Plus tard, dans son traité d'optique, il émettra l'hypothèse que la lumière est composée de particules mues à très

grandes vitesses. Cette hypothèse était en pleine contradiction avec les théories ondulatoires de l'anglais Robert HOOKE et du hollandais Christian HUYGENS, selon lequel la lumière consistait en un train d'ondes propagées dans l'éther.

Comme il avait horreur des controverses, il préféra reporter la publication de son *Traité d'optique* ; si bien qu'on le soupçonne presque d'avoir attendu la mort de HUYGENS, en 1695, et celle de HOOKE, en 1703, pour le publier, puisque la première édition date de 1704 !

Ses recherches en optique lui permettent de réaliser le premier télescope à miroir qu'il présente à la Royal Society en 1672. Ce type de télescope est très répandu chez les astronomes amateurs.

Vers la gravitation universelle

En cette année 1666, se produisit le célèbre épisode de la pomme. S'il est authentique, le jeune Isaac dut voir tomber la pomme, à défaut de la recevoir sur la tête, entre le premier et le 9 octobre de cette année-là, si on en croit Pierre KOHLER, qui a tenu compte de la visibilité de la Lune ainsi que de sa phase, de la période de l'année (rappelons que les pommes mûres ne tombent qu'en automne !) et des habitudes du jeune NEWTON.

Quel est le lien entre la pomme et la gravitation universelle ?

D'abord, donnons la solution du problème, celle en possession de NEWTON en 1687.

En raison du principe d'inertie (première loi de Newton), la Lune devrait toujours aller droit devant elle, avec une vitesse uniforme. NEWTON comprend qu'une force issue de la Terre détourne la Lune de sa trajectoire rectiligne et l'oblige à décrire une orbite autour de la Terre. L'écart entre la ligne droite que devrait décrire la Lune en une unité de temps très petite, la seconde par exemple, et l'arc de cercle qu'elle décrit dans le même temps sous l'influence de la force issue de la Terre, constitue la « chute » de la Lune vers la Terre, en une seconde de temps.

Mais si la Lune n'avait pas de vitesse, elle tomberait tout droit vers le centre de la Terre, comme la pomme suspendue à

la branche du pommier. Il suffisait alors de comparer la chute de la pomme avec celle de la Lune, ceci à la première seconde de chute : une étude géométrique permit à NEWTON de trouver que la chute de la Lune à la première seconde de chute était égale au carré de l'arc décrit en une seconde (1021m) divisé par le diamètre de son orbite (768 000 000 m), soit 1,35 mm (dans le système métrique). On sait que la pomme doit tomber de 4,90 mètres à la première seconde de chute (selon Galilée) ; on sait aussi que la Lune est 60 fois plus loin du centre de la Terre que la surface terrestre où se trouve le pommier. Si on divise 4,90 m ou 4900 mm par 1,35 mm, on trouve 3600 soit 60×60 ou 60^2 . La force de la Terre est 3600 fois plus faible à la distance de la Lune ; elle décroît donc avec le carré de la distance.

On savait, à l'époque, que la gravité diminuait avec l'altitude, car des expériences précises montraient qu'elle est plus faible au sommet des montagnes qu'au niveau de la mer.

Vers 1666, NEWTON commença ses premières recherches en dynamique, en utilisant une bille tournant à l'intérieur d'une surface sphérique pour évaluer la force centrifuge de cette bille.

« Ayant trouvé comment estimer la force à laquelle un globe presse la surface d'une sphère en tournant à l'intérieur de cette sphère, et en utilisant la règle de KEPLER 2 dans laquelle les temps périodiques des planètes sont en proportion sesquialtère – en puissance $3/2$ – des distances aux centres de leurs orbites, je déduisis que les forces qui retiennent les planètes sur leurs orbites doivent être réciproquement comme les carrés de leurs distances aux centres autour desquels elles tournent ».

L'expérience de la bille roulant à l'intérieur de la sphère montre que la force centrifuge F d'un corps en mouvement circulaire uniforme est comme le carré de la vitesse V divisé par le rayon R du cercle ou V^2/R .

Or, la vitesse est comme le rayon du cercle divisé par la période T pour le parcourir, ou comme R/T . La force est comme V^2/R ou $R^2/T^2 : R$ ou comme R/T^2

Dans la troisième loi de Kepler, les carrés des périodes T de révolution des planètes sont comme les cubes de leurs distances moyennes au Soleil, ou des rayons R de leurs orbites :

$T^2=R^3$. Donc la force devient proportionnelle à R/T^2 ou à R/R^3
 $1/R^2$.

La surface sphérique matérialise la force centripète qui contrebalance la force centrifuge. En effet, il semble avoir supposé que le mouvement des planètes est régi par un équilibre entre deux forces radiales, une force centrifuge, dirigée vers l'extérieur, et une force centripète, dirigée vers le corps central.

Dans un manuscrit antérieur à 1669, il supposa que l'effort centrifuge de la Lune pour s'éloigner de la Terre la détournerait de son orbite si elle n'était pas retenue par la gravité terrestre. Il trouva que l'effort centripète de la Lune est plus de 4 000 fois plus petit que la pesanteur à la surface de la Terre. L'écart avec le carré de 60 fut interprété comme résultant de l'action du tourbillon qui emporte la Lune (souvenir de DESCARTES). En réalité, NEWTON utilisait une valeur trop petite du rayon terrestre.

Tels furent les premiers pas de NEWTON vers la gravitation universelle.

La philosophie expérimentale

NEWTON était convaincu que la libre volonté du Créateur avait donné au monde des lois arbitraires, parmi d'autres lois possibles. Seule, l'expérimentation devait permettre de les découvrir. Ce que l'on appelait alors la philosophie expérimentale devait procéder comme suit :

Analyse

De quelques phénomènes habilement choisis, on déduit les forces naturelles qui sont en action, ainsi que les lois de ces forces. Par exemple, la comparaison de la chute des corps sur la Terre avec la « chute » de la Lune vers la Terre permet de déduire l'existence d'une force qui décroît avec le carré de la distance. Cette force n'est autre que la pesanteur.

Synthèse

On dispose l'ordre des autres phénomènes qui dépendent des causes révélées par l'analyse. Puisque la Terre attire la Lune, le Soleil doit attirer les planètes selon la même loi et les planètes doivent attirer leurs satellites de la même façon.

Induction

On rend les propositions générales jusqu'à ce que de nouveaux faits viennent les infirmer. La gravitation est universelle ; elle s'applique aux comètes soumises à la force du Soleil ; les autres étoiles doivent exercer des forces d'attractions ; tous les corps matériels doivent s'attirer selon cette loi de l'inverse du carré de la distance.

Deux autres règles s'imposent

- il faut faire dépendre les effets des causes les plus simples, car « *la nature est simple* ».
- il faut assigner les mêmes causes aux effets du même genre ; par exemple, la respiration chez l'homme et l'animal, la lumière dans le Soleil et le feu de cuisine, la réflexion de la lumière sur la Terre et sur les planètes.

Les concepts énoncés doivent être précis et compréhensibles par tous. Il ne faut pas présenter comme une vérité expérimentale ce qui n'est qu'une hypothèse incomplète ou insuffisamment confirmée. Tel est le sens de la formule célèbre « *je ne formule pas d'hypothèse* ». C'est-à-dire : j'ai mon idée, mais je n'ai pas pu la vérifier de façon certaine et je la présente sous forme de questions, comme dans le *Traité d'optique*.

L'alchimiste

L'alchimie constitue une autre approche pour percer les secrets de la nature, du moins NEWTON en est-il persuadé. Jusqu'en 1690, il va se passionner pour l'alchimie, au point de réaliser expérience sur expérience, de lire tous les traités d'alchimie qu'il peut se procurer et même de recopier ceux qui sont trop rares.

Il faut dire que l'époque s'y prête.

Les Roses-Croix et les Francs-Maçons exerçaient une grande influence à Londres. La Royal Society, fondée en 1662, compta parmi ses membres des adeptes de l'ésotérisme. Citons, Christopher WREN, surintendant des bâtiments royaux et Robert MOREY, son premier président. Robert BOYLE, célèbre pour son expérience du « *tube à vide* », fut alchimiste et fondateur du Collège Invisible qui se donnait pour but de réaliser les plans de la Nouvelle Atlantide de Francis BACON.

Le but affirmé par ces adeptes de l'ésotérisme était de fonder une nouvelle philosophie ou une science universelle, basée sur les mathématiques, la physique et l'alchimie, tout en refusant l'athéisme et le matérialisme. Leurs guides sont la Bible et la tradition. Ils approuvent la devise attribuée à Hermès Trismégiste, personnage divin et légendaire : « *ce qui est en bas est comme ce qui est en haut, pour accomplir le miracle de l'unité* ».

NEWTON a laissé des traces écrites de ses préoccupations alchimiques.

Interrogé sur l'opportunité de divulguer une découverte alchimique, il répondit qu'il fallait garder la découverte secrète, car le procédé en question « *donne accès à quelque chose de plus noble, qui ne saurait être divulgué sans un immense dommage pour le monde, s'il existe quelque vérité dans les écrits des auteurs alchimiques* ».

Il croit en la transmutation d'une matière en une autre, comme il l'affirme dans la première édition des *Principia* : « *Tout corps peut être transformé en un autre, de n'importe quel autre genre, et tous les degrés intermédiaires des qualités peuvent être induits successivement dans ce corps* », à moins qu'il ne s'agisse d'un souvenir de la théorie atomique de Lucrèce (né vers -98, mort en -55) : « *que dans les éléments les intervalles, les passages, les assemblages, les poids, les chocs, les rencontres, les mouvements, l'onde, la position, les ligures soient changées, et les corps doivent changer eux aussi* ».

Dans le Traité d'optique, il s'interroge : « *Ne peut-il pas se faire une transformation réciproque entre les corps grossiers et la*

lumière ? ». Un peu plus loin, il évoque les « *transmutations si diverses et si étranges* » de la matière.

De l'alchimie au concept de force

Certains spécialistes pensent que l'alchimie a peut-être aidé NEWTON à formuler le concept d'une force de gravitation qui agit à distance et sans contact matériel.

Voici quelques concepts qui ont peut-être influencé Newton dans sa démarche :

- l'harmonie veut que la nature exprime des rapports mathématiques que doit découvrir le philosophe.
- la correspondance établit des liens entre tous les objets et les êtres. Par exemple, on associe à chaque planète un métal, un organe du corps humain, une note de la gamme musicale. La « *gravitas* » ou gravité est une qualité associée au plomb, lequel est associé à la planète Saturne.
- l'esprit ou « *principe actif* » est un moyen par lequel tout objet ou être, peut agir « à distance » ou par « *sympathie* ». NEWTON a vu dans la gravité un des principes actifs par lesquels Dieu agit sur le monde.

Tous ces concepts ont peut-être aidé NEWTON à accepter l'idée que tous les objets matériels de l'Univers puissent être liés les uns aux autres par une force de gravitation invisible mais efficiente, réelle, mais pas obligatoirement matérielle. Idée qu'il aurait rejetée, s'il avait été rigoureusement matérialiste.

- l'éther : au ^{xv}e siècle, Marsile FICIN avait déclaré que l'Univers est rempli d'une substance très fine et conductrice des influences astrales dirigées vers la Terre ; il avait nommé cette substance « *spiritus mundi* » ou « *esprit du monde* ».

Première explication de la gravité par l'éther (1672-1675)

Vers 1672, NEWTON explique la gravité par l'action de l'éther.

L'éther descend du ciel sur la Terre et l'air remonte des entrailles de la Terre. Dans les profondeurs de la Terre, la dissolution et la fermentation minérale produisent de l'air qui monte et atteint les régions éthérées : cette lente montée de l'air « *est sensible dans les mines* ». En montant, l'air emporte avec lui les vapeurs, les exhalaisons et les nuages, « *si haut qu'ils perdent leur gravité* ».

L'air qui monte a besoin de place, et presse l'éther qui est contraint de descendre sur Terre. Dans sa descente, l'éther se condense et se mêle avec les corps qu'il rencontre. En les pénétrant, l'éther « *les rend plus lourd* ».

L'éther est beaucoup « *plus léger et plus taré* » que l'air : il descend plus rapidement et « *a beaucoup plus d'efficacité pour entraîner les corps vers le bas que l'air n'en a pour les entraîner vers le haut* ».

Newton franchit les limites de la mécanique : « *La Terre ressemble à un grand animal ou plutôt à un végétal inanimé qui puise sa nourriture quotidienne dans le souffle éthéré et qui exhale à nouveau de grosses exhalaisons* ».

Dans un autre texte, en 1675, NEWTON généralise cette circulation de l'éther au Système solaire : « *Et, de même que la Terre, il est probable que le Soleil absorbe copieusement cet esprit (l'esprit éthéré, l'éther) pour conserver son éclat et empêcher les planètes de s'éloigner de lui* ».

Seconde explication de la gravité par l'éther (1717)

NEWTON émettra l'hypothèse selon laquelle le monde est rempli par une substance : l'éther, susceptible d'expliquer la gravité. En effet, certaines expériences lui avaient permis de conclure que cet éther devait être plus rare dans les corps denses, comme le Soleil et les planètes, que dans l'espace vide.

En outre, cet éther devait croître en densité avec l'éloignement par rapport au centre des corps denses, par exemple, avec l'éloignement par rapport au centre du Soleil : *« Je ne vois pas pourquoi l'accroissement de densité devrait s'arrêter en aucun endroit, et n'être pas plutôt continué à toutes les distances, depuis le Soleil jusqu'à Saturne »*. Ainsi, l'éther serait moins dense à l'intérieur d'une orbite planétaire qu'à l'extérieur. NEWTON attribue à l'éther les propriétés qui sont nécessaires. Cet éther est composé de particules très petites : *« l'excessive petitesse de ces particules peut contribuer à la grandeur de la force par laquelle ces particules peuvent s'écarter les unes des autres »*. Grâce à cette force élastique, l'éther peut *« pousser les corps (des planètes) des parties les plus denses de ce milieu vers les parties les plus rares, avec toute cette puissance que nous appelons gravité »*. En fait, il reprenait une idée de Robert HOOKE : celui-ci faisait l'analogie entre l'éther et un gaz, qui se dilate et devient moins dense quand il est placé près d'une source de chaleur, comme le Soleil.

Les planètes circuleraient en quelque sorte sur des coquilles d'éther centrées sur le Soleil : par son inertie, la planète va droit devant elle, mais la coquille, ou la pression de l'éther la contraint à suivre une trajectoire courbe. Cependant, l'éther ne doit pas gêner le mouvement tangentiel de la planète. Si, malgré tout il le gêne un peu, cela explique la rotation du grand axe de l'orbite si cette orbite n'est pas circulaire.

Ce modèle n'explique pas l'attraction mutuelle entre le Soleil et la planète : le Soleil et la planète tournent autour de leur centre commun de gravité. L'éther est constitué de particules qui se repoussent (force élastique) : l'action à distance est donc rejetée au niveau des particules d'éther.

NEWTON n'abandonna jamais l'espoir d'expliquer la gravitation au moyen de l'éther. Betty J. T. DOBBS retrace l'évolution de la pensée de NEWTON à ce sujet : durant la décennie 1670-1680, NEWTON a essayé d'expliquer la gravité par l'éther. Vers 1684- 1685, des expériences lui montrent l'absence de cet éther : la mécanique céleste, qu'il élabore durant ces années, peut s'expliquer par des forces centrales agissant à distance. La décennie

1690-1700 est celle où l'action divine explique l'action à distance. Ensuite, NEWTON revient à l'éther !

L'Antiquité, source de sagesse

NEWTON voyait dans l'Antiquité une source de sagesse. « *Sir Isaac avait l'habitude de dire qu'il pensait que la musique des sphères de Pythagore était la gravité et tout comme il fit dépendre les sons et les notes de la grandeur des cordes, de même, la gravité dépend de la densité de la matière* ».

Newton délaisse l'alchimie

Vers 1690, NEWTON semble avoir pris quelque recul avec l'alchimie. Il fut affecté par une dépression nerveuse en 1693 ; on crut qu'il allait devenir fou ! Une analyse de ses cheveux, réalisée au ^{xx}e siècle, montra qu'il avait inhalé du mercure, lors de ses nombreuses expériences alchimiques. Les alchimistes mettaient leur santé à rude épreuve en chauffant des métaux comme le mercure et le plomb, sans aucune précaution, et en s'exposant aux exhalaisons de toutes sortes de produits chimiques.

Les Principia

Nous sommes en 1684. Christopher WREN voulait attribuer un prix à celui qui résoudrait le problème du mouvement des planètes.

Certains, comme Jeremiah HORROCKS, Christopher WREN ou Edmund HALLEY, pensaient que les planètes étaient soumises à une attraction décroissant avec le carré de la distance au Soleil, peut-être par analogie avec le fait que l'intensité lumineuse décroît dans la même proportion. Mais personne n'avait pu en apporter la démonstration mathématique. En outre, quelle était la nature de cette force ? Robert HOOKE la croyait magnétique.

Quand HALLEY se rendit chez NEWTON, il espérait obtenir l'aide de celui qui était réputé pour être un excellent mathématicien. Il ignorait que NEWTON connaissait la solution et l'avait gardée secrète jusqu'ici.

HALLEY demanda à NEWTON :

– *Quelle serait l'orbite d'une planète qui serait attirée par le Soleil avec une force qui décroît en proportion inverse du carré de son éloignement par rapport au Soleil ?*

– *Une ellipse*, répondit NEWTON.

– *Comment le savez-vous ?*

– *Je l'ai calculée*, répondit NEWTON. *Mes notes doivent se trouver ici quelque part, mais je n'arrive pas à remettre la main dessus. Si vous voulez, je me ferai un plaisir de recommencer mes calculs pour vous.*

HALLEY demanda à NEWTON de rédiger un petit traité, le *De motu (Du Mouvement)* que son auteur présenta à la Royal Society en 1686. L'importance de la découverte était telle que Edmund HALLEY finança la première édition latine des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* – les *Principia* – qui parurent en 1687, à Londres, en 300 exemplaires. NEWTON réalisa la performance de rédiger cet ouvrage de 500 pages en 18 mois ! NEWTON révisa, corrigea et compléta les *Principia* lors d'une seconde édition, en 1713, puis à l'occasion d'une troisième édition, en 1726.

La physique newtonienne

Que trouve-t-on dans les *Principia* ? D'abord, la grande affaire des *Principia* est l'étude du mouvement. On y trouve la démonstration mathématique de ce que voulait savoir HALLEY, et dont je vous ai donné un aperçu à propos de la Lune. Mais surtout, NEWTON y construit une physique entièrement nouvelle. En voici les principaux aspects. Certains vous sont bien connus, puisqu'on les apprend à l'école, d'autres vous sont peut-être moins familiers.

Les trois lois de Newton

Première loi : « tout corps persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme, à moins qu'il ne soit contraint de modifier son état par des forces imprimées ». C'est le

principe d'inertie. Au repos, un corps ne se met pas lui-même en mouvement ; et en mouvement, un corps ne change pas lui-même sa direction et sa vitesse.

Deuxième loi : « le changement de mouvement est proportionnel à la force imprimée, et se fait selon la ligne droite dans laquelle cette force est imprimée ».

Ainsi, il vous faudra une force deux fois plus grande pour tirer ou pousser une voiture deux fois plus lourde ; quand vous tapez du pied sur une balle, elle va tout droit, dans la direction que vous lui avez donnée avec votre pied.

Remarquez que ces deux lois sont indissociables : la « force » imprimée, externe, est ce qui détourne le corps de son mouvement inertiel ; ainsi, l'attraction terrestre détourne la Lune de la trajectoire rectiligne que la Lune décrirait en l'absence de la Terre, ou dans le cas où l'attraction de la Terre serait supprimée.

Troisième loi : « la réaction est toujours contraire à l'action, ou les actions des deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales et dirigées en sens contraire ».

On observe cela tous les jours, mais il faut bien se rappeler que les actions désignent les quantités de mouvement, à savoir les produits des masses et des vitesses. Au coup de fusil, le fusil et la balle ont la même quantité de mouvement et l'action est égale à la réaction ; mais la balle, légère, va plus vite que le fusil, plus lourd. NEWTON imagina un chariot « à réaction » : on fait bouillir de l'eau dans une chaudière ; la vapeur s'échappe en arrière par un conduit (contrôlé par un robinet) et le chariot avance, par réaction.

La gravitation universelle

NEWTON applique ses trois lois dans le cas de l'attraction des corps.

Deux corps M et m s'attirent mutuellement (troisième loi), c'est-à-dire qu'ils font un effort pour se rapprocher l'un vers l'autre. S'ils sont au repos, ils se mettent en mouvement ; s'ils sont déjà en mouvement, ils modifient leurs vitesses et leurs

trajectoires. Ils quittent leur état inertiel de repos ou de mouvement rectiligne uniforme (première loi).

Cette mise en mouvement, ou ce changement de mouvement, on l'appelle une accélération. Elle est proportionnelle à la force d'attraction qui s'exerce entre les deux corps (deuxième loi).

La force d'attraction entre les deux corps augmente avec les masses des corps M et m . Si le corps M renferme deux unités de masse et si le corps m contient une unité de masse, la force sera proportionnelle au produit de 2 par 1, c'est-à-dire proportionnelle à 2. Si le corps m a trois unités de masse, la force sera comme le produit de 2 et de 3, c'est-à-dire proportionnelle à 6.

La force d'attraction décroît avec le carré de la distance D qui sépare les centres de masse des deux corps. Si cette distance est multipliée par 3, la force est divisée par 9.

Quand la Lune tombe de 1,36 mm durant la première seconde, sous l'action de l'attraction de la Terre, la Terre doit tomber elle aussi vers la Lune, sous l'action de l'attraction de la Lune, selon une distance qui est d'autant plus petite que la masse de la Terre est plus grande que celle de la Lune (la distance entre la Terre et la Lune étant la même).

L'espace et le temps absolus

Les trois lois de NEWTON ne prennent tout leur sens que dans le cas du repos ou du mouvement absolu. En effet, l'étude du mouvement ne peut pas se faire uniquement à partir des modifications des positions des corps entre eux, autrement dit, à

partir du mouvement relatif, le seul retenu par DESCARTES. En effet, un marin à bord d'un bateau qui navigue sur une eau calme peut dire que son bateau se déplace sur l'eau et qu'il s'éloigne du rivage ; mais il pourrait dire que le bateau est immobile et que le rivage s'éloigne de lui. Les deux cas sont équivalents et rien ne permet de les distinguer, tant que le bateau se déplace d'un mouvement rectiligne uniforme.

Mais le bateau heurte un écueil : son mouvement est changé par la force de résistance du rocher ; le bateau s'arrête, le marin est déporté en avant, car il avait acquis la même vitesse que le bateau. La question est tranchée : c'est bien le bateau qui se déplace sur l'eau, et nous le savons grâce au changement de mouvement, c'est-à-dire à l'accélération ou à la décélération, résultat de l'action d'une force.

De plus, il faut se méfier des apparences. Le bateau est à quai, immobile. Mais il participe à la rotation de la Terre sur elle-même par rapport à la surface de l'eau et à la révolution de la Terre autour du Soleil.

C'est pourquoi NEWTON postule l'existence d'un espace absolu. Cet espace absolu est, en quelque sorte, la trame ou le quadrillage sur lequel s'effectuent tous les mouvements. Le bateau à quai est immobile par rapport à la surface de la Terre, mais il se meut par rapport à l'espace absolu, car la Terre se meut dans l'espace absolu. Cet espace absolu n'est pas perceptible par nos sens. On doit se contenter de repères suffisamment « *immobiles* » : la surface terrestre pour nos déplacements (en effet, les mouvements de la Terre n'ont pas d'effets très importants sur nos mouvements) ; les étoiles lointaines, dites « *fixes* », pour les déplacements des planètes, etc. C'est ce que l'on appelle des systèmes de référence

Comment distinguer les deux sortes de mouvements ?

Les mouvements relatifs peuvent changer sans l'action d'une force : par exemple, les bateaux d'un convoi se déplacent à la même vitesse et sont donc au repos les uns par rapport aux

autres (ils restent en formation). Si ce sont des voiliers, et si le vent souffle plus fort, tous peuvent être accélérés de la même façon et rester en formation. Mais si tous vont plus vite alors qu'un autre conserve sa vitesse, son mouvement relatif, par rapport aux autres bateaux, change alors que son mouvement par rapport à la mer reste inchangé.

Le mouvement absolu produit une force. Quand on fait tourner une balle retenue à la main au moyen d'une corde, l'effet

centrifuge produit par la balle en rotation tend la corde. Si la corde casse, la balle fuira par la tangente (souvenez-vous de la Lune) et elle brisera la vitre qui sera sur son chemin : son impulsion, capable de briser une vitre, rappelle que le mouvement de la balle n'est pas uniquement relatif.

NEWTON proposait l'exemple suivant :

Deux sphères reliées par une corde sont en rotation l'une autour de l'autre (pour être plus précis, autour de leur centre commun de gravité), dans un espace totalement vide, à l'exception de quelques étoiles très lointaines et fixes. Nous pouvons dire que les sphères sont en rotation alors que les étoiles sont fixes, ou bien que les sphères sont immobiles alors que les étoiles sont en rotation. D'un point de vue relatif, les deux mouvements sont équivalents.

Mais examinons la corde. La tension de la corde indique un effort des sphères pour s'éloigner l'une de l'autre (l'effet centrifuge) et nous devons conclure que les sphères sont en mouvement absolu dans l'espace.

Les mouvements relatifs ne sont donc que les différences des mouvements absolus : dans cet exemple, les sphères sont mobiles et les étoiles sont fixes ; mais si les étoiles tournent aussi réellement, le mouvement absolu des sphères ne sera pas changé mais leur vitesse relative par rapport aux étoiles sera modifiée.

Pour stipuler l'existence d'un espace absolu, Newton obéissait aussi à un impératif métaphysique. Il s'exprime ainsi : « *Aucun être ne peut exister sans se rapporter d'une manière quelconque à l'espace. Dieu est partout, les esprits créés sont quelque part, le corps est dans l'espace qu'il remplit et tout ce qui est ni partout ni quelque part n'existe pas* ».

« *L'espace est un effet émanant de l'être qui existe le premier puisque, un certain être étant posé, l'espace est posé par lui-même...* »

« *On peut produire les mêmes affirmations sur la durée... Les attributs de l'être sont au nombre de deux, par lesquels on désigne la quantité d'existence d'un être individuel sous le rapport de l'étendue et de la durée de sa présence* ».

Cela nous amène à parler du temps. Le temps, c'est la durée des phénomènes, ou encore, celle des êtres. Mais il est

impératif que l'écoulement du temps soit constant. Pour mesurer des durées, des vitesses, etc. l'unité de temps doit être invariable. Comment ferait-on si toutes les secondes n'avaient pas la même durée ? C'est pourquoi NEWTON affirme que le temps coule uniformément. Dans nos calculs, quand nous cherchons des vitesses ou des accélérations, nous le faisons par rapport à un flux du temps que nous supposons uniforme et continu. Le temps sert de mesure pour quantifier les événements, mais il sert aussi de cadre à la succession des événements (la chronologie). Quand nous disons que tel objet en chute libre possède telle vitesse, nous voulons dire : telle vitesse à tel instant de la chute, et telle vitesse par rapport à une unité définie de durée.

Mais comme on ne peut pas percevoir ce temps absolu par nos sens, on choisira des phénomènes aussi réguliers que possible : les battements de notre pouls (comme le fit GALILÉE), une horloge, la rotation de la Terre, etc.

Dernière remarque : la durée est la même, que les mouvements soient lents ou rapides. L'heure n'est pas à la relativité d'EINSTEIN.

Le vide

La matière est dispersée dans l'espace vide. Si l'espace était rempli par de la matière, celle-ci opposerait une résistance aux mouvements des planètes qui se rapprocheraient continuellement du Soleil en décrivant des spirales ; les planètes finiraient par tomber dans le Soleil.

NEWTON s'oppose à DESCARTES pour qui « *il ne peut y avoir aucun vide dans la nature* ». Une action ne peut se propager que de proche en proche, par contact mutuel entre les particules de la matière. Pour le philosophe français, le Système solaire est tout entier immergé dans une matière fluide. Cette matière subtile emporte les planètes dans leurs rotations autour du Soleil, de la même manière qu'une rivière entraîne dans son cours les corps qui flottent sur elles. De plus chaque planète est le centre d'un petit tourbillon qui entraîne les satellites. Les comètes sont des astres qui sont rejetés aux limites du tourbillon solaire et qui peuvent passer dans le tourbillon d'une étoile voisine du Soleil.

Mais les comètes posaient un sérieux problème à cette hypothèse : en effet, les comètes se déplacent dans tous les sens, sur des orbites rétrogrades et inclinées sur le plan de l'écliptique, traversant en tous sens la matière du tourbillon sans en être affectées. NEWTON démontra que de tels tourbillons imbriqués les uns dans les autres ne pouvaient pas rester stables. De plus, pour être emportée dans ce tourbillon, et pour décrire une orbite circulaire ou elliptique, une planète doit être de la même densité que la matière du tourbillon. Enfin, les périodes de révolution des planètes devraient augmenter avec les carrés de leurs distances au Soleil, alors que KEPLER avait découvert par l'observation, que ces périodes augmentent en puissance $3/2$ de ces mêmes distances.

Pour que les planètes puissent accomplir des orbites stables en étant soumises à l'attraction du Soleil, il fallait que l'espace dans lequel elles se déplacent soit vide. Or, l'Univers est pratiquement vide !

En 1692, le révérend Richard BENTLEY écrit dans sa *Réfutation de l'athéisme* (après avoir demandé l'avis de NEWTON) : « *L'espace vide de notre région solaire est 8/7/ cent mille millions millions de fois plus vaste que toute la matière qui s'y trouve* » (le nombre 8575 suivi de 14 zéros). Et VOLTAIRE, dans sa *Seizième Lettre Philosophique* de 1733, renchérit : « *On n'est point assuré qu'il y ait un pouce cubique de matière solide dans l'Univers* ».

Les atomes

La matière n'est pas divisible à l'infini : elle est formée de « *particules solides, massives, dures et impénétrables* ». Si ces particules ont toutes la même densité, alors « *il y a du vide* », ce qui explique qu'on puisse comprimer la matière.

NEWTON suivait en cela la démarche de Robert BOYLE, qui avait élaboré une théorie corpusculaire de la matière, comme DÉMOCRITE l'avait fait quelques cinq siècles avant notre ère.

Chacune de ces particules est dotée d'une force d'attraction. L'attraction d'un corps augmente avec le nombre de particules qu'il contient ; la masse de ce corps résulte de la somme des masses unitaires des particules contenues dans ce corps. C'est

24

pourquoi, la force d'attraction d'un corps est proportionnelle à sa masse.

Mais l'attraction ne saurait expliquer à elle seule la cohésion de la matière. *« Il y a donc, dans la nature, des agents capables de faire que les particules de la matière tiennent ensemble par des attractions très fortes »*. Les particules se lient entre elles par des forces très puissantes pour constituer ce qu'on appelle aujourd'hui des molécules. Ces molécules se groupent au moyen de forces moins puissantes pour constituer des corps plus gros et ainsi de suite. Ici, Newton anticipe les découvertes de la science moderne.

Il étendit cette conception corpusculaire ou atomique de la matière, en supposant que la lumière est composée de « corpuscules » de masses et de couleurs différentes, dont le mélange constitue la lumière blanche. En passant dans un prisme, ces corpuscules sont plus ou moins dispersés en fonction de leurs masses.

L'action à distance

La force de gravitation qui s'exerce entre deux corps décroît avec le carré de leur distance. La matière attire la matière, dans l'espace vide, de façon instantanée et sans contact matériel. NEWTON acceptait difficilement cette action à distance, qui ressemble à de la magie. C'est pourquoi il évoqua l'action de l'éther qui remplissait l'espace, alors que sa physique voulait que cet espace soit vide !

Il adopta une attitude pragmatique, en disant qu'il lui suffisait de savoir que la gravité existe, et d'avoir trouvé la loi mathématique qui la régit.

NEWTON tenta de faire passer la force pour une entité mathématique.

– *« Je fais usage indifféremment et pour l'un pour l'autre, des mots attraction, impulsion, et propension quelconque vers un centre, en considérant ces forces non pas de façon physique, mais seulement de façon mathématique »*.

Mais NEWTON qui affirme ne pas forger d'hypothèses, évoque celles qu'on peut imaginer pour expliquer la force.

– « *J'utilise ici d'une manière générale le terme d'attraction pour l'effort (conatus) quelconque des corps à s'approcher les uns des autres : que cet effort soit dû à l'action des corps qui tendent mutuellement les uns vers les autres, ou qui s'agitent les uns les autres par des esprits émis (per spiritus emissos), ou que cet effort provienne à l'action de l'éther (ab actione aetheris) ou de l'air ou d'un milieu quelconque, corporel ou incorporel, qui pousse les uns vers les autres les corps qui y sont plongés* ».

Remarquez les termes d'éther ou d'esprit : nous avons vu que dans le *Traité d'optique*, NEWTON expliqua la gravité par l'action de l'éther ; et ailleurs, il évoque cet « *esprit très subtil qui pénètre dans les corps solides et est caché en eux* », désignant par là les interactions entre les particules matérielles (l'électricité, par exemple).

En son for intérieur, il opta pour une explication métaphysique. Les forces naturelles ne sont pas matérielles : ce sont des 'principes actifs' (ou les 'esprits') par lesquels Dieu agit sur le monde : « *Il est inconcevable que la matière brute inanimée puisse, sans l'intermédiaire de quelque chose d'immatériel, opérer et agir sur d'autre matière en dehors d'un contact mutuel [...]* La gravité doit être causée par un agent agissant constamment selon certaines lois mais que cet agent soit matériel ou immatériel, je l'ai laissé à la méditation de mes lecteurs ». Un autre de ces principes actifs réside dans la « *fermentation* » qui produit lumière et chaleur dans le Soleil et dans les volcans, chaleur et mouvement dans les êtres vivants.

Le créateur fournit et renouvelle les forces requises pour la conservation de la vie et du mouvement des planètes. Il agit de la même façon que notre volonté agit sur les membres de notre corps. Comme il est partout, il n'agit pas à distance, car il est présent chaque fois qu'il agit.

« *Le fait qu'un corps soit mû sur une orbite circulaire implique que quelque chose l'empêche de s'échapper selon la tangente, mais l'explication peut ne pas relever de la mécanique* ». La gravité décroît avec le carré de la distance, mais elle aurait pu croître avec la distance. Dans ce cas, une planète décrirait une ellipse au centre de laquelle serait placé le Soleil ; son orbite aurait deux aphélies et deux périhélies, mais n'en

serait pas moins stable. Il se pourrait même que différentes parties de l'Univers soient régies par différentes lois.

La métaphysique

Le scholie général ajouté à la fin des *Principia*, lors des deuxième et troisième éditions, en 1713 et 1726, ainsi que les questions placées à la fin du *Traité d'optique* (deux éditions, en 1704 et 1717), témoignent des préoccupations métaphysiques de Newton.

DÉMOCRITE avait affirmé : « *Rien n'existe que les atomes et le vide* ». Rien de tel chez NEWTON pour lequel le monde est contenu en Dieu, non pas de façon métaphorique, mais de façon substantielle.

Cela, NEWTON l'affirme clairement dans le scholie général des *Principia* :

« Dieu n'est pas l'éternité ni l'infinité, mais il est éternel et infini ; il n'est pas la durée ni l'espace, mais il dure et est présent ; il dure toujours et il est présent partout ; il est existant toujours et en tout lieu ; il constitue l'espace et la durée... »

Il est présent partout, non seulement virtuellement, mais substantiellement, car on ne peut agir où l'on n'est pas. Tout est mù et contenu en lui, mais sans aucune action des autres sur lui. Car Dieu n'éprouve rien par le mouvement des corps ; et sa toute présence ne leur fait sentir aucune résistance ».

L'espace et le temps sont des attributs de Dieu : NEWTON se garde bien de « déifier » l'espace et le temps, comme BERKELEY l'accuse de le faire. L'Univers est dirigé par une « *intelligence* » souveraine, celle de Dieu. La nature toute entière témoigne de cela.

L'Univers ne résulte pas du hasard. Un destin aveugle ne peut pas avoir placé les planètes dans un même plan et sur des orbites quasi-circulaires, alors que les comètes se déplacent dans tous les sens. En outre, les actions gravitationnelles de tous ces astres les uns sur les autres entraînent des irrégularités dans le Système solaire voué au chaos et à la destruction : le désordre doit augmenter dans le Système solaire jusqu'à ce que « *le Système ait besoin d'être réformé* ». Chaque fois qu'elles se choquent, les particules perdent un peu de leur mouvement.

C'est pourquoi le mouvement « *est plus sujet à périr qu'à être produit* ». Globalement, tous les mouvements dans l'Univers doivent disparaître peu à peu et le monde serait condamné à l'immobilisme si le mouvement n'était « *conservé et renouvelé par des principes actifs* », au rang desquels NEWTON plaçait la gravité.

L'organisation des êtres vivants témoigne de l'intervention d'une intelligence. Le physicien pose la question suivante : « *L'œil a-t-il été fabriqué sans aucune connaissance de l'optique, et l'oreille sans aucune connaissance des sons ?* ». Comme ses contemporains, NEWTON croit que tous les animaux ont été créés par Dieu et personne ne parle d'évolution des espèces. D'ailleurs, comment pourrait-il y avoir eu évolution ? NEWTON lui-même était persuadé que le monde avait moins de 10 000 ans d'ancienneté !

La tâche du physicien est de remonter de cause en cause, jusqu'à la cause première « qui certainement n'est pas mécanique ». Cela rappelle SAINT THOMAS D'AQUIN, qui remontait au premier mobile. NEWTON était donc profondément croyant et de surcroît persuadé de la révélation divine : « parmi les livres de toute espèce qu'il a vus, il n'y a pas de livre qui cesse entre les mains, celui qu'il lisait le plus assidûment était la Bible », nous dit FONTENELLE dans son éloge funèbre à NEWTON.

Le XVIII^e siècle oubliera les fondements métaphysiques de la physique de NEWTON. Il fit du physicien anglais un matérialiste qui n'accordait de crédit qu'aux explications mécaniques. Il n'y a dans la nature rien d'autre que des atomes et du vide ! Certes, la gravité posait problème et restait inexplicable. Mais la gravité permettait de rendre compte de tout l'Univers connu. Il fallait donc l'accepter, comme une donnée empirique, et s'en tenir là.

Newton et la postérité

Nul n'est prophète en son pays. L'adage est bien connu. Newton est donc l'exception qui confirme la règle, puisque l'Angleterre reconnut aussi en lui un génie. Mais il avait l'avantage d'être lui-même anglais.

En Angleterre, le prestige du savant est énorme, voire excessif.

Le poète Alexander POPE (1688-1744) le considère comme un nouveau Moïse venu apporter au monde les lois de la nature. Ses vers sont restés célèbres :

« La nature et ses lois gisaient cachées dans la nuit.
Dieu dit : Que Newton soit ! et tout fut lumière ».

Sur le continent, et en France, plus particulièrement, l'accueil fut moins enthousiaste. L'action à distance de la gravité passait mal : on l'accusait de réintroduire la magie dans les sciences.

La physique newtonienne ne sera véritablement adoptée en France que dans le courant du XVIII^e siècle, grâce à quelques savants, mais aussi à VOLTAIRE, qui se fit un vulgarisateur du savant anglais.

Mais surtout grâce à deux faits qui emportèrent l'adhésion du monde savant et celui du public éduqué : la mesure de l'aplatissement de la Terre par l'Académie des Sciences de Paris et le retour de la comète de Halley en 1756.

L'aplatissement de la Terre

Dans les *Principia*, NEWTON prévoyait que la Terre devait être aplatie aux pôles et renflée à l'équateur.

La Terre tourne sur elle-même. L'effet centrifuge dû à cette rotation est maximal à l'équateur. Si la Terre est assez malléable, les parties équatoriales tendront à s'écarter de l'axe de rotation et il en résultera un renflement de la Terre à l'équateur : par rapport au centre de la Terre, un point de l'équateur sera plus éloigné qu'un point sur le pôle.

Cela aura deux conséquences :

Un objet placé à l'équateur sera plus léger qu'un objet de même masse placé au pôle : d'une part, parce que l'effet centrifuge lui enlève une partie de son poids ; et, d'autre part, parce que sa distance au centre de la Terre est un peu plus grande.

L'autre conséquence est celle-ci : un arc de méridien mesurant un degré sera plus long au pôle qu'à l'équateur (pensez à une mandarine).

C'est pourquoi l'Académie des Sciences de Paris organisa deux expéditions pour mesurer deux arcs de méridien de un degré, l'un à l'équateur, l'autre près du pôle.

Une expédition partit au Pérou en 1735, dirigée par BOUGUER et LA CONDAMINE ; l'autre partie en Laponie en 1736, avec, à sa tête, MAUPERTUIS et CLAIRAUT. Les résultats confirmèrent les vues de NEWTON.

Le retour de la comète de Halley

Dans ses *Principia*, NEWTON avait suggéré que les comètes pouvaient décrire des orbites fermées, c'est-à-dire des ellipses très aplaties. Edmund HALLEY calcula les orbites de comètes observées avec assez de précision : il remarqua que les comètes apparues en 1531, 1607 et 1682 avaient sensiblement la même orbite et en déduisit une période de 75 à 76 ans (en tenant compte des perturbations dues à Jupiter et à Saturne). Cette comète devrait donc revenir « à la fin de 17/8 ou au début de 17/9 ».

En 1757, le mathématicien Alexis-Claude CLAIRAUT entreprend de nouveaux calculs pour déterminer plus exactement le retour de la comète. Il se fait aider par Hortense LEPAUTE (en l'honneur de qui on donna le nom d'une nouvelle plante venue des Indes, *l'hortensia*) et de LALANDE. Les calculs prévoient le passage de la comète au plus près du Soleil à la mi-avril 1759, avec une incertitude de un mois, alors que ce passage eut lieu le 14 mars de la même année, soit un mois avant. Car ils n'avaient pas tenu compte des perturbations dues aux planètes Uranus et Neptune, inconnues à l'époque.

La comète dite « *de Halley* » revient donc tous les 75 ans environ ; la dernière fois, ce fut en 1986.

Les Principia sont traduits en Français

En France, l'attraction devient à la mode grâce notamment à MAUPERTUIS et à VOLTAIRE ; l'engouement pour NEWTON et la gravitation rendaient nécessaires une traduction française des *Principia*, l'ouvrage n'étant disponible qu'en latin, ou en anglais.

Le *Traité d'optique* avait été traduit dès 1717, mais il faudra attendre 1756 pour que paraisse la première traduction française des *Principia*, réalisée par la Marquise DU CHÂTELET, et publiée en 1756. Aucune autre traduction intégrale n'a été réalisée depuis !

Une admiration excessive !

Pendant la révolution française, un architecte, Étienne Louis BOULLÉE, dressa les plans d'un édifice à la gloire de NEWTON, avec l'inscription suivante : « *Esprit sublime ! Génie vaste et profond ! Être divin !* »

En 1796, CHAMPLAIN DE LA BLANCHERIE reprocha aux anglais de ne pas avoir reconnu le caractère divin de NEWTON, et de ne pas avoir organisé son culte. Il voulait faire de l'année de la naissance de l'illustre savant l'an 1 d'une ère nouvelle.

Il ne fait aucun doute que NEWTON lui-même aurait condamné de tels débordements.

L'Univers est une mécanique bien réglée

Tout le monde ne partage pas cet enthousiasme.

Au XVIII^e siècle, les savants ne croient plus qu'en un Dieu horloger, qui a construit et réglé une fois pour toute, la belle mécanique de l'Univers.

On oublie les aspects métaphysiques de l'œuvre de NEWTON et ne retient que sa mécanique. L'attraction entre les masses est le seul modèle valable pour traiter tous les phénomènes de la nature. Tout est interprété en termes d'interactions entre les particules. NEWTON devenait une sorte de DÉMOCRITE moderne, pour qui le monde était composé de particules qui s'attirent et se repoussent les unes les autres. Cette démarche fut même étendue à la biologie.

Cette machine sans âme qu'était devenu le monde, avait un côté désespérant, voire effrayant.

En 1802, le poète anglais William BLAKE (1757-1827) s'exclame :

« Que Dieu nous garde de voir d'un œil unique et de dormir du sommeil de Newton ! »

Pour Newton, Dieu était partout. Pour les matérialistes, Dieu était nulle part ! La science chassait le Créateur et le plus newtonien des newtoniens, Pierre Simon LAPLACE, pourra

répondre à NAPOLÉON, qui l'interrogeait sur Dieu : *« Sire, je n'ai pas eu besoin de cette hypothèse »*.

La mécanique de NEWTON triomphait : mais Dieu en était dès lors exclu.

© Société d'Astronomie de Nantes, 1998

Bibliographie

Textes d'Isaac Newton.

- *Principes mathématiques de la philosophie naturelle.*

Pour cette étude, j'ai utilisé l'édition latine de 1687, publiée en fac-similé par les Éditions Culture et Civilisation, Bruxelles, (1965), et traduite par moi-même.

J'ai également utilisé la traduction réalisée par la Marquise du Châtelet d'après la troisième édition de 1726 et publiée en 1756. Une édition en fac-similé a été produite par les Éditions Blanchard, Paris (1966), puis par les Éditions J. Gabay, Paris (1990).

Il existe enfin une traduction partielle, publiée avec des commentaires, par M. F. Biarnais, aux Éditions Christian Bourgeois, Paris, collection Epistémé (1985).

- *Traité d'optique*, traduction de Coste (1722) et publié en fac-similé par les Éditions Gauthier-Villars, Paris, en 1955.
- *De la gravitation et de l'équilibre des fluides et des solides dans les fluides*, écrit entre 1662 et 1665, mais non publié du vivant de Newton. Traduction avec commentaires de M. F. Biarnais, Éditions les Belles Lettres, Paris, (1985).

Ouvrages sur Newton, ou parlant de son œuvre.

- *Les Principia de Newton – Questions et commentaires*, Éditions PUF, 'Revue d'Histoire des Sciences' (1987).
- *Études newtoniennes*, Alexandre Koyre, Éditions NRF Gallimard (1968).
- *Du monde clos à l'Univers infini*, Alexandre Koyre, Éditions TEL Gallimard (1962).

- *Newton et l'alchimie*, Pierre Thuillier, 'La Recherche', n° 212, (juillet-août 1989).
- *Lettres philosophiques*, Voltaire, Éditions Garnier-Flammarion.
- *Éléments de la philosophie de Neuton*, Voltaire.
- *Discours sur les différentes figures des astres*, Maupertuis.
- *Never at rest – A biography of Isaac Newton*, Richard Westfall, Cambridge University Press.
- *The janus faces of genies, the role of alchemy in Newton's thought*, Betty T. Dobbs, Cambridge University Press.

La Société d'Astronomie de Nantes

Résolument tournée vers le grand public, la SAN vous propose de découvrir l'astronomie ou d'approfondir vos connaissances dans ce domaine de multiples façons :

- Assister aux exposés d'astronomie présentés lors des réunions du vendredi soir, ouvertes à tous les adhérents, au local de la Société à partir de 20h30.
- Consulter ou emprunter l'un des mille ouvrages que possède le fonds bibliothécaire.
- Participer aux observations de découverte ou de perfectionnement. Vous pouvez également emprunter un instrument.
- Assister aux conférences au cours desquelles des astronomes et astrophysiciens de renom viennent présenter les derniers acquis de leurs travaux.
- Solliciter la SAN pour animer des actions pédagogiques préparées à l'attention de public scolaire ou adulte.
- Visiter les expositions auxquelles la SAN participe régulièrement.
- Apporter votre contribution à la réalisation de travaux pratiques d'astronomie tels que la mesure de la masse de Jupiter ou l'évaluation des altitudes des reliefs lunaires.
- Réfléchir et débattre des grands thèmes de la physique, de l'astrophysique et de la science en général au sein d'un groupe de réflexion théorique.
- Enfin, l'astronomie nécessitant des connaissances et des compétences multiples (en optique, mécanique, électronique, etc.), offrir un peu de votre temps pour la conception ou à la réalisation de projets astronomiques.

Pour participer à ces activités, il vous suffit de devenir adhérent.

La Société d'Astronomie de Nantes est une association fondée en 1971 et régie par la loi de 1901.

ISAAC NEWTON

Christian SCOTTA

Dans ce fascicule, Christian SCOTTA retrace la vie et l'œuvre scientifique d'Isaac Newton, figure majeure de la science moderne. Né en 1642, il étudie à Cambridge où il développe une pensée originale dans plusieurs domaines. Newton découvre la loi de la gravitation universelle, formulée dans ses *Principia Mathematica*, où il unifie la physique céleste et terrestre. Il met aussi en évidence les lois du mouvement et invente le calcul infinitésimal, en parallèle à Leibniz.

En optique, il démontre que la lumière blanche est composée de plusieurs couleurs, grâce à la dispersion par un prisme. Il conçoit un télescope à miroir pour éviter l'aberration chromatique. Newton croit en une mécanique fondée sur des lois universelles, mais aussi en un ordre divin. Il s'intéresse à l'alchimie et aux textes bibliques, ce qui nuance son image de pur rationaliste. Il meurt en 1727, laissant une œuvre fondatrice. Ses idées influenceront durablement la science, jusqu'à ce que la relativité et la physique quantique en redéfinissent certaines limites.



SOCIÉTÉ
d'ASTRONOMIE
de NANTES

Société Scientifique d'Éducation Populaire agréée Jeunesse et Sports 35, boulevard Louis Millet - 44300 NANTES - Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23

Internet : www.san.asso.fr - E-mail : contact-san@san-fr.com