

Après trois cents ans... (4. Epilogue)

Commémorer la publication des Principia, n'aurait-ce été qu'en en relisant certaines pages, cela vous paraissait-il nécessaire ? J'aurais voulu vous en convaincre. Mais sûrement ce n'était pas suffisant pour marquer quel important tournant cette publication et cette date inscrivent dans l'histoire de la science. Il faut encore insister sur ce qui est devenu possible après Newton et grâce à lui, ce qui n'aurait pas eu lieu de la même façon si la grande peste de 1665 avait fauché le jeune génie. Ce sera l'épilogue de notre feuilleton newtonien.

Dernières années

N'abandonnons pas Newton trop tôt. En 1687, il a quarante-cinq ans, son oeuvre n'est pas terminée. La publication des Principia le rend célèbre, et pas seulement en Angleterre. Dès l'année suivante, il est élu membre du Parlement où il représente l'Université de Cambridge. Ses fréquents voyages à Londres lui permettent de nouer des relations amicales avec le philosophe John Locke. Il éprouve cependant une grande lassitude pour la recherche scientifique, peut-être un peu de dépression après l'effort intellectuel fourni ; il aspire à quelque fonction administrative qui lui permette d'exercer ses talents au service du public. L'occasion se présente en 1696, Newton est chargé d'organiser la réforme de la Monnaie anglaise ; de très nombreuses mauvaises pièces étaient en circulation ce qui multipliait querelles et procès. Notre savant organise à merveille le changement des pièces et en 1698 il est nommé Master of the Mint.

En 1703, il est élu président de la Royal Society et le restera jusqu'à sa mort. L'année suivante, il se décide à publier son "Opticks, Treatise on the Reflexions, Refractions, inflexions and Colours of the Light". Il y traite des couleurs, il perfectionne la théorie de l'arc-en-ciel formulée par Descartes et traite aussi des lames minces. Dans la deuxième édition de 1717, il y ajoutera des idées sur la polarisation et formulera l'hypothèse de forces d'origine électrique entre atomes.

Curieux homme, ce grand savant ; sensible aux honneurs mais plus encore aux critiques. Ainsi, cette Optique, il aurait pu la publier bien plus tôt mais Hooke en avait critiqué certaines idées et Newton a horreur de la polémique, il a attendu que Hooke soit mort pour publier son traité.

En 1705, la Reine Anne attribue à Newton le titre de Knight (Chevalier) pour son oeuvre scientifique. Cela ne le met pas à l'abri des disputes et des polémiques : avec Flamsteed sur le mouvement de la Lune, avec Leibniz surtout à propos de l'invention du calcul différentiel...

Quant aux éditions des Principia, elles se multiplient... La deuxième (en latin) avec une préface de Cotes en 1713 ; en 1714 et 1723 deux éditions toujours en latin, la langue scientifique de l'époque, à Amsterdam ; la troisième édition en Angleterre avec l'aide de Pemberton et la première traduction anglaise en 1727. La traduction française par la Marquise du Châtelet paraît en 1756 alors que la première ~~traduction~~ traduction allemande ne sera éditée qu'en 1872.

Le 20 mars 1727, Newton s'éteint dans sa quatre-vingt cinquième année. L'inhumation est solennelle dans le cadre historique de l'Abbaye de Westminster. Dans l'assistance, un Français qui en parlera, Voltaire.

Dernières querelles

Les "Lettres philosophiques" paraissent peu après. En 1733, Voltaire y ajoute ses "Eléments de la philosophie de Newton". Dans les milieux de l'Académie des Sciences de Paris, c'est l'époque des querelles

entre cassiniens et newtoniens. Pour les premiers, la théorie des tourbillons de Descartes reste la bonne physique alors que Newton propose une action à distance, l'attraction universelle, dont on ne comprend pas qu'elle puisse agir sans support. Le parti des newtoniens est celui des jeunes, animé avec fougue par Maupertuis et Clairaut.

Il y a un moyen de trancher le différend. Selon les cassiniens, le globe terrestre doit être un ellipsoïde allongé dans le sens de son axe de rotation. Pour les newtoniens, au contraire, le globe est aplati aux pôles. L'Académie décide d'envoyer deux expéditions : Maupertuis et Clairaut en Laponie (1738), Bouguer et La Condamine au Pérou (1743), à charge pour les uns et pour les autres de mesurer la longueur d'un arc de 1° de méridien. La thèse des arrogants et jeunes newtoniens s'avéra être la bonne, le degré de méridien est plus long en Laponie qu'au Pérou. Chacune des expéditions connut des aventures, surtout la seconde, plus dramatique (lire, si on ne l'a déjà fait le passionnant livre de Florence Trystram, "Le Procès des Etoiles", éd Seghers).

En tout cas, succès scientifique complet de ces expéditions et le fait est qu'après 1740, on ne trouve plus de textes sur les tourbillons à l'Académie des Sciences de Paris. Les jeunes et arrogants newtoniens sont devenus respectables.

La grande époque

A partir de ce temps, le milieu du XVIII^{ème} siècle, curieux renversement de situation. Si l'Angleterre reste en tête des recherches sur l'astronomie pratique, observationnelle (Bradley découvre l'aberration de la lumière en 1725 et la nutation en 1748 alors qu'il cherchait à mesurer une parallaxe stellaire), c'est sur le continent que vont s'épanouir les développements théoriques de la mécanique newtonienne. On y trouve tous les grands noms de la science de cette époque, les Bernoulli et Leonhard Euler à Bâle, Clairaut et d'Alembert en France puis Lagrange et Laplace. Quelle équipe ! Elle développe le calcul différentiel dans l'esprit de Leibniz plus que dans celui de Newton qui privilégiait les méthodes géométriques. Mais c'est bien dans le cadre de la mécanique newtonienne qu'ils travaillent tous, les problèmes à résoudre ne manquent pas;

Tous s'apparentent au problème des trois corps. Newton a complètement résolu celui des deux corps, le Soleil et une planète par exemple ; les équations du mouvement sont alors complètement intégrables. Voici comment Clairaut formule le problème des trois corps : "Trois corps étant donnés avec leurs positions, leurs masses et leurs vitesses, trouver les courbes qu'ils doivent décrire par leur attraction supposée proportionnelle à leurs masses et en raison inverse du carré des distances." Et voici ce que Euler, dans la préface à sa théorie de la Lune, écrit en 1772 : "Toutes les fois que j'ai essayé, durant quarante ans, de tirer la théorie de la Lune des principes de la gravitation, il est toujours survenu tant de difficultés que j'ai été obligé d'arrêter mon travail et mes recherches ultérieures. Le problème se ramène à trois équations différentielles du second ordre qui non seulement ne peuvent être intégrées d'aucune façon mais qui posent aussi les plus grandes difficultés aux approximations dont nous devons nous contenter."

Tel est le cadre. Trois problèmes astronomiques de la plus grande importance vont permettre à ces savants d'exercer leurs talents : les inégalités des mouvements de Jupiter et de Saturne, le retour de la comète de Halley, le mouvement de la Lune. Chacun mérite que nous l'examinions.

Jupiter et Saturne

En 1695, Halley avait établi par l'observation des tables qui signalaient une accélération régulière de Jupiter et un retard aussi régulier de Saturne : en mille ans, les planètes auraient été déplacées de $0^{\circ}57'$ et de $2^{\circ}19'$. En 1748, l'Académie des Sciences pose le problème d'expliquer le phénomène par l'attraction universelle. Euler n'y réussit pas mais en profite pour bien poser le problème général des perturbations.

Lagrange, en 1763, trouve un résultat qui ne correspond pas aux inégalités observées, alors que les calculs de Laplace, ne négligeant aucun terme des développements suggèrent que ces inégalités tendent vers zéro.

En 1776, Lagrange revient sur la question et prouve que les attractions mutuelles des planètes ne peuvent produire des inégalités progressives mais seulement des variations périodiques. Autrement dit, résultat capital et plus général : stabilité du système solaire.

Le mot de la fin revient à Laplace qui, en 1784 découvre une presque commensurabilité des périodes de Jupiter et de Saturne : cinq révolutions de Jupiter = 21 663 jours ; deux révolutions de Saturne = 21 518 jours. Autrement dit, tous les 59 ans, on retrouve les deux planètes sensiblement à la même place. Laplace précise que les effets perturbateurs s'ajoutent pendant 450 ans (ce qui explique le phénomène découvert par Bradley) puis ils se retranchent durant les 450 années suivantes. Par conséquent, perturbation périodique sur la longue période de 900 ans et confirmation de la stabilité du système prouvée par Lagrange. Belle histoire, n'est-ce pas ! On comprend l'enthousiasme de Laplace :

"Les irrégularités des deux planètes paraissaient jadis inexplicables selon la loi de la gravitation alors qu'aujourd'hui elles constituent une des meilleures preuves de la théorie. Tel a été le destin de la brillante découverte de Newton que chaque difficulté qui est apparue est devenue un nouveau sujet de triomphe, une circonstance qui est la plus sûre caractéristique du vrai système de la nature." (Mécanique céleste, V, p.324)

Le retour de la comète de Halley

Il s'agit évidemment du premier retour prévu, pas celui de 1986 dont vous avez assez entendu parler. Halley avait déduit de ses observations de 1682 qu'elle reviendrait près du Soleil à la fin de 1758 ou au début de 1759. Il reconnut même que la comète passant très près de Jupiter, sa période s'en trouverait allongée.

En 1757, Clairaut décide de s'intéresser à ce problème. Son idée est de calculer les effets de Jupiter et de Saturne, les deux planètes les plus massives, sur le mouvement de la comète et de suivre ce mouvement et ces effets perturbateurs durant les deux dernières révolutions de la comète. Vaste programme et laborieux calculs en perspective que l'aimable Clairaut n'aurait peut-être pas eu la patience de mener à bien s'il n'avait eu l'aide précieuse et efficace de Dame Hortense Lepaute et du jeune Lalande. L'entreprise est conduite à son terme, elle permet d'annoncer que la comète sera effectivement retardée par rapport aux prévisions de Halley et qu'elle passera au périhélie seulement en avril 1759. La prévision est faite à un mois près (les masses de Jupiter et de Saturne sont encore très incertaines à l'époque) et formulée dans un rapport à l'Académie de novembre 1758 avec cette remarque de Clairaut : "J'ai entrepris de montrer ici que ce retard, loin d'être contraire à la théorie de l'attraction universelle est effectivement sa conséquence nécessaire."

Sèche constatation d'un rapport scientifique. Le jeune Lalande qui a peiné sur les calculs, est plus enthousiaste :

"L'Univers voit, cette année, le phénomène le plus satisfaisant que l'astronomie nous ait jamais offert ; événement unique jusqu'à ce jour, il change nos doutes en certitude et nos hypothèses en démonstrations... En effet, quoique de tout temps les physiciens intelligents aient espéré le retour des comètes, quoique Newton l'ait assuré, et que Halley en ait osé fixer le temps, tous, jusqu'à Halley lui-même, en appelaient à l'événement et à la postérité. Quelle différence entre sa situation et la nôtre, entre le plaisir que lui donna cette heureuse conjecture, et les avantages que nous trouvons aujourd'hui en la voyant se vérifier ! Combiner ensemble

des faits que représente l'histoire, et en tirer des conséquences pour l'avenir, ce fut l'ouvrage de M.Halley. Voir ces conséquences justifiées, après plus de cinquante années par un entier accomplissement, c'est une satisfaction qui nous était réservée."

En passant, vous avez relevé que les physiciens qui attendaient le retour des comètes étaient intelligents. C'est toujours bon à entendre.

La théorie de la Lune

Troisième grand problème de la mécanique céleste, sans doute le plus difficile. Problème à trois corps, Soleil, Terre, Lune mais on s'apercevra bien vite qu'il faut aussi tenir compte des grosses planètes. Dans le corps à corps on retrouve les mêmes pugilistes, Clairaut, d'Alembert, Euler et Laplace.

Clairaut, en 1746, trouve par ses calculs une progression de l'apogée de la Lune de 20° par an au lieu des 40° observés. Il émet alors la curieuse hypothèse qu'à courte distance - courte signifiant distance de la Lune par rapport à la distance du Soleil - il faudrait ajouter à l'attraction en $1/r^4$ un terme en $1/r^3$. Mais il s'aperçoit bien vite que c'est inutile et en tenant compte des termes des développements qu'il avait d'abord négligés, il retrouve bien la progression de 40°. Une leçon pour tous les calculateurs de tous les temps, ne pas se décourager devant les développements...(Clairaut n'était pas informatisé).

En 1754, Clairaut et d'Alembert publient des tables théoriques de la Lune. Euler également en 1755 puis en 1772. Mais des désaccords persistent avec les observations.

En 1755, Tobias Mayer (1723-62) publie des tables de la Lune qui tiennent compte des perturbations calculées selon les méthodes d'Euler et des corrections obtenues par l'observation. Les positions de la Lune sont ainsi connues à 1' près. Ces tables seront utilisées par les marins, avec toutefois la remarque qu'une erreur de 1' sur la position de la Lune pouvait entraîner une erreur de 27' en longitude terrestre, gare les récifs !

Autre problème : Halley avait trouvé (en 1693) que la distance de la Lune avait tendance à diminuer. En 1770, l'Académie pose le problème. Euler ne trouve pas d'explication, il suggère la résistance du milieu.

Laplace, en 1787, trouve l'explication complète : l'action des planètes sur la Terre entraîne, pendant quelques dizaines de milliers d'années, une diminution de l'excentricité de l'orbite terrestre. Cette orbite étant plus circulaire, la distance moyenne du Soleil augmente et son action perturbatrice sur le mouvement de la Lune diminue. L'action du Soleil a tendance à accroître la distance Terre-Lune, mais puisque l'action du Soleil diminue, cet accroissement est ralenti. Les résultats des calculs de Laplace sont en accord avec les observations passées et actuelles des éclipses. Newton explique tout, affirme Laplace.

Mieux encore : la variation d'apogée de la Lune et le mouvement des noeuds sont expliqués par l'aplatissement du globe terrestre. Réciproquement, de l'observation de ces variations Laplace tire une évaluation de l'aplatissement (1/305) en accord avec les données rapportées par l'expédition du Pérou.

Ce n'est pas fini : de l'inégalité parallactique de la Lune, Laplace tire une valeur de la parallaxe du Soleil (8",6) en accord avec les mesures faites lors du passage de Vénus devant le disque solaire.

On comprend que Laplace écrive son "Exposition du système du monde" pour faire partager son enthousiasme à un public élargi. L'ouvrage paraît l'an IV de la République française sous les presses de l'imprimerie du Cercle-Social :

"Il est très remarquable qu'un astronome, sans quitter son observatoire, simplement en comparant ses observations avec ses calculs soit en mesure de déterminer avec précision la grandeur et l'aplatissement de la Terre et les distances du Soleil et de la Lune, tous éléments de connaissance qui ont été le fruit de longs et difficiles voyages dans les deux hémisphères."

La publication du "Traité de Mécanique céleste" de Laplace qui s'échelonne de 1799 à 1825, est le couronnement de ces recherches. Oui, un siècle après la mort de Newton, on peut alors penser : Newton explique tout.

Les mots de la fin

La preuve que Newton explique tout : les calculs de J.C.Adams à Cambridge, ceux de U.J.J.Leverrier à Paris expliquent les irrégularités des mouvements d'Uranus par l'action perturbatrice d'une planète inconnue. La découverte de Neptune par Galle de l'Observatoire de Berlin confirme ces calculs. Preuve renouvelée en 1930 avec les calculs de P.Lowell et W.Pickering et la découverte de Pluton par C.W.Tombaugh.

Mais non, Newton n'explique pas tout : le mouvement du périhélie de Mercure pose problème, un résidu de 43" par siècle reste inexpliqué... Jusqu'à ce que Einstein et sa Relativité Générale permette de calculer un déplacement de 42",9 de ce périhélie

Quelle belle histoire : 1687-1987. Oui Newton explique tout : à partir des Principia et en passant par la Mécanique céleste de Laplace, on découvre Neptune et Pluton, on envoie des hommes sur la Lune et Voyager va bientôt visiter Neptune. Non, Newton n'explique pas tout, le périhélie de Mercure est du ressort d'Einstein. Pourquoi voudriez-vous que cette histoire soit finie ? Je lis que par des échos laser, la distance de la Lune peut être évaluée à cinq centimètres près, que la gravitation joue un rôle prépondérant dans la catastrophe d'une supernova... Le dialogue de Newton et d'Einstein n'a sûrement pas fini de nous instruire.

K.Mizar

"C'est au moyen de la synthèse, que Newton, ce grand géomètre, a exposé sa théorie du système du monde. Il paraît cependant qu'il avait trouvé la plupart de ses théorèmes par l'analyse dont il a considérablement reculé les limites ; mais sa prédilection pour la synthèse, et sa grande estime pour la géométrie des anciens, lui firent traduire sous une forme synthétique ses théorèmes et sa méthode même des fluxions. On doit regretter qu'il n'ait pas suivi dans leur exposition la route par laquelle il y était parvenu ; et qu'il ait supprimé les démonstrations de plusieurs résultats tels que l'équation du solide de la moindre résistance, préférant le plaisir de se faire deviner à celui d'éclairer ses lecteurs. La connaissance de la méthode qui a guidé l'homme de génie n'est pas moins utile au progrès des sciences, et même à sa propre gloire, que ses découvertes ; et le principal avantage qu'a produit la fameuse dispute entre Leibniz et Newton touchant l'invention du calcul infinitésimal a été de faire connaître la marche de ces deux grands hommes dans leurs premiers travaux analytiques."

Pierre-Simon Laplace
Exposition du Système du Monde
tome 2, p.288