

Après trois cents ans ... (2)

Après nous être un peu attardés sur les chemins d'approche, arrivons-en aux circonstances de la découverte ou, si l'on préfère, de la conception de l'attraction universelle. Même dans l'histoire des idées, il faut tenir compte des circonstances. Les théories sont des abstractions, des constructions de l'esprit. Mais que ce soit le cerveau d'un Newton, d'un Evariste Galois ou d'un élève de Sixième qui conçoive, c'est toujours un assemblage de neurones qui fonctionne et ce bon fonctionnement des connexions dépend d'une bonne nourriture, d'un air respirable et d'un environnement pas trop défavorable. Dans le cas de Newton, le virus de la peste et l'abondance des pommiers dans la campagne du Lincolnshire semblent avoir conjugué leurs effets bénéfiques.

La grande peste

Isaac Newton était donc né le 25 décembre 1642 (l'année de la mort de Galilée) dans une ferme du Lincolnshire appelée le Manoir de Woolsthorpe. Le père d'Isaac venait de mourir, lui aussi, et le nouveau-né, tout chétif, ne s'annonçait pas comme un bien honorable héritier. Cependant, dès l'âge scolaire, le garçon montra des dispositions particulières en construisant la maquette d'un moulin à vent ou encore en réalisant une clepsydre. Les maîtres qui lui donnèrent sa première instruction reconnurent qu'il fallait l'envoyer à l'université. En 1661, il partit pour Cambridge où il fut admis à Trinity College.

Durant ses premières années universitaires, il suivit les cours d'Isaac Barrow (1630-1677) qui occupait la chaire "lucasienne" (fondée par Henry Lucas et que devait occuper Newton après Barrow). Il fut aussi influencé par les travaux de Wallis qui, lui, enseignait à Oxford. Barrow très réticent devant le formalisme algébrique au contraire de Wallis, mais l'étudiant Newton eut une bonne influence sur le trop conservateur Barrow qui comprit à quel étudiant pas ordinaire il avait affaire. ET il engagea vivement Newton à poursuivre des études mathématiques. En 1665, Newton obtenait son diplôme de Bachelor of Arts. L'époque de la formation scientifique de Newton est donc celle des Wallis, Barrow en Angleterre, Gregory en Ecosse, Mercator au Danemark - il développe en série $\ln(1+x)$ -, l'époque où Huygens, aux Pays-Bas, perfectionne les horloges. En France, après la grande époque des Descartes, Fermat, Desargues et Pascal, c'est le temps d'un La Hire qui s'intéresse à la cinématique.

C'est alors que des circonstances sans aucun rapport avec les mathématiques vont déranger la vie du jeune Newton. La grande peste décime la population de Londres. Par prudence l'université est mise en congé, les étudiants sont renvoyés dans leurs familles. Newton va vivre dix-huit mois de solitude à Woolsthorpe, dix-huit mois qui furent peut-être les plus importants de sa vie. C'est d'ailleurs ce qu'il en pensait lui-même puisque, beaucoup plus tard, faisant le bilan de ses travaux, il déclarait (et je le laisse ici s'exprimer dans sa langue) :

"All this was in the two plague years of 1665 and 1666, for in those days I was in the prime of my age for invention, and minded mathematics and philosophy more than any time since."

Newton fut toujours avare de confidences sur sa personne ou sur la genèse de ses idées. Est-ce en jouissant de la paix des champs que la chute des pommes lui inspira ses idées sur la gravitation ? La légende le veut, étayée par le récit qu'en fait Voltaire dans la Quinzième de ses Lettres Philosophiques. Relisons ce passage, fort bien venu en vérité :

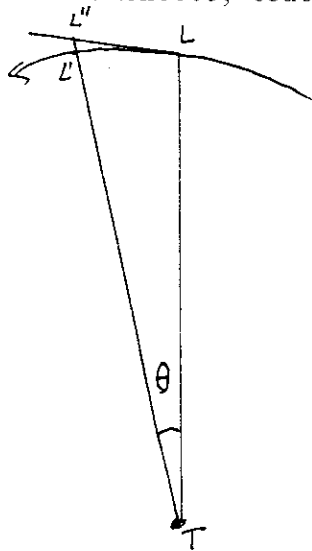
"Newton se dit à lui-même : "De quelque hauteur dans notre hémisphère que tombassent ces corps, leur chute serait certainement dans la progression

découverte par Galilée ; et les espaces parcourus par eux seraient comme les carrés des temps. Ce pouvoir qui fait descendre les corps graves, est le même sans aucune diminution sensible à quelque profondeur qu'on soit dans la Terre, et sur la plus haute montagne. Pourquoi ce pouvoir ne s'étendrait-il pas jusqu'à la Lune ? Et s'il est vrai qu'il pénètre jusque là, n'y a-t-il pas grande apparence que ce pouvoir la retient sur son orbite et détermine son mouvement ? Mais si la Lune obéit à ce principe quel qu'il soit, n'est-ce pas encore très raisonnable de croire que les autres planètes y sont également soumises ?

Si ce pouvoir existe, il doit (ce qui est prouvé par ailleurs) augmenter en raison renversée des carrés des distances. Il n'y a donc plus qu'à examiner le chemin que ferait un corps grave en tombant sur la Terre d'une hauteur médiocre, et le chemin que ferait dans le même temps un corps qui tomberait de l'orbite de la Lune. Pour en être instruit, il ne s'agit plus que d'avoir la mesure de la Terre et la distance de la Lune à la Terre."

Oui, texte bien venu, mais attention, c'est Voltaire qui prête ces paroles à Newton. Celui-ci se serait sans doute gardé de toute allusion à la variation (même peu sensible) de la gravité selon la profondeur dans la Terre ou selon l'altitude. De plus, avant de généraliser la loi aux planètes, Newton voulait une vérification précise et complète pour la Lune ce qui exigeait, comme on le verra, bien d'autres travaux. Mais, ces précautions dites, Voltaire nous fait imaginer le jeune Newton se promenant seul dans le verger de Woolthorpe et illuminé tout d'un coup par cette grande idée : la chute des graves à la surface de la Terre, le mouvement de la Lune sur son orbite autour de la Terre sont deux manifestations du même phénomène.

VERIFICATION SOMMAIRE : vous pouvez imaginer Newton la griffonnant sur sa manchette, tout en marchant sous les pommiers. En une seconde de temps la Lune parcourt un arc dont la mesure en radian est



$$\theta = \frac{2\pi}{27,322 \times 86400}$$

Si la Lune n'était pas attirée par la Terre, elle serait en L'' sur la tangente en L à son orbite ; en fait elle est en L' ; elle est donc "tombée" vers la Terre de L''L'

$$L''L' = 2 TL \frac{\sin^2 \theta / 2}{\cos \theta} \quad \text{soit } L''L' \approx 2 TL \theta^2 / 4 \approx 1,36 \text{ mm}$$

Cette chute n'est certes pas vertigineuse mais il faut la comparer avec celle de la pomme dans le même temps soit 4,9 m ; le rapport des deux chutes est $4,9 / 0,00136 = 3602,94$ qui est très peu différent du carré de soixante : la pomme avant de tomber (et même après) était bien soixante fois plus près du centre de la Terre que la Lune. Conclusion (dans la tête de Newton), c'est la même force qui fait tomber la pomme et qui fait graviter la Lune autour

de la Terre et cette force est une attraction inversement proportionnelle au carré des distances des objets au centre de la Terre.

La découverte est là. Newton pourtant n'en dit rien. Vous pouvez penser que c'est tout simplement parce que personne, à Woolthorpe, ne s'intéresse à la chute des pomme comparée à l'orbite lunaire. On a aussi prétendu qu'il ne pouvait le faire, car il ne connaissait pas une bonne valeur du rayon de la Terre. Il est vrai que le travail de Picard sur la méridienne de France ne put lui être connu avant 1680 ; mais reconnaissez que le calcul griffonné sur la manchette n'exige pas une connaissance raffinée du rayon de la Terre. Notre jeune savant avait des raisons autrement fortes pour retarder toute publication.

Il y avait, en premier lieu, l'idée d'assimiler l'attraction de la Terre sur la Lune, - phénomène céleste -, à l'attraction de la Terre sur la pomme, - phénomène terrestre. Accepter cette assimilation, c'est un "premier pas" autrement important que celui d'Armstrong sur la Lune, un premier pas qui signifie tout simplement IL N'Y A QU'UNE PHYSIQUE. Ou encore, les lois de la physique sont universelles. En fait, c'est l'axiome sur lequel est construite toute notre connaissance de l'Univers. Il heurte le sens commun : tout le monde croit voir que la Lune ne tombe pas. Surtout, en cette fin du XVII^{ème} siècle, l'affaire Galilée n'est pas si loin, l'idée d'une physique céleste n'obéissant pas aux mêmes lois que la physique terrestre est encore très répandue. L'expérience courante, sur Terre, est celle de mouvements entretenus par une action motrice ; dans le système solaire auquel se limite à peu près l'astronomie, les mouvements obéissent aux mystérieuses lois de Kepler, l'action motrice qui anime ces mouvements est inconnue.

Affirmer l'universalité de la physique, c'était donc affronter un gros problème. Le jeune Newton peut avoir craint de se battre pour ses idées et jamais il n'eut de goût pour la polémique.

Il y avait aussi une autre raison, de caractère plus technique celle-là. Dans le calcul rappelé plus haut, l'attraction de toute la Terre sur la pomme ou sur la Lune est remplacée par l'attraction de toute la masse de la Terre supposée réunie au centre de la sphère. Ce qui est correct et présente l'avantage pratique de beaucoup simplifier le calcul. Mais, en 1665, Newton n'a pas encore démontré que c'est correct. Il faudra attendre 1669 pour qu'il soumette à Isaac Barrow son ouvrage De Analysis qui le munit d'une méthode permettant, entre autres résultats, de prouver ce point délicat de la théorie. C'est ce qu'il appelle la méthode des fluxions et des séries infinies, ce que l'on désignera plus tard sous le nom de calcul différentiel et intégral.

Heureuses rencontres

Bref, Newton est retourné à Cambridge en 1667, enrichi des grandes idées qu'il garde pour lui-même, consacrant d'abord toutes ses réflexions à ce calcul des fluxions dont il comprend l'immense portée. En 1668, il reprend la chaire lucasienne d'Isaac Barrow ; à 26 ans, il est professeur de mathématiques en titre. Cependant, les premiers travaux qui le rendent célèbre concernent l'optique, décomposition et recombinaison de la lumière "blanche", construction du premier télescope à miroir qui lui vaut son admission à la Royal Society. The Royal Society for the Promotion of Natural Knowledge fondée par le roi Charles II en 1660 fut dès son origine ouverte aux idées nouvelles alors que la jeune Académie des Sciences de Paris montra souvent par la suite une moindre aptitude à favoriser les progrès de la connaissance.

La question du mouvement des planètes continuait à préoccuper maints savants de la Royal Society. Lorsque Halley, au retour de l'expédition qui l'avait mené à Ste Hélène pour observer le ciel austral, rencontre Robert Hooke et Christopher Wren, il entend le premier énoncer une loi d'attraction inversement proportionnelle aux carrés des distances. Mais Hooke ne peut prouver ce qu'il avance. Halley a la bonne idée d'aller consulter Newton sur le sujet. "Quelle serait l'orbite d'une planète attirée par le Soleil selon une loi de gravitation inversement proportionnelle au carré de la distance ?" lui demande-t-il. Newton lui aurait répondu "Je vais vous le dire, mais j'ai un calcul à finir, allez commencer à déjeuner sans moi, je vous rejoins..." Il serait revenu, en effet, trente minutes plus tard et voyant que Halley avait presque fini son repas, "Suis-je distrait aurait dit Newton j'oubliais que j'avais déjà déjeuné. Je vais répondre à votre question."

Quelques semaines plus tard, Newton donne l'essentiel de ses idées dans un petit livre *De Motu Corporum* ("du mouvement des corps") qui est comme une version abrégée des *Principia*. Halley est aussitôt persuadé qu'il faut tout faire pour obtenir de Newton la rédaction complète de son oeuvre. Le premier il a compris son importance, on sait qu'il ira jusqu'à subventionner lui-même l'édition. Le premier volume fut déposé à la Royal Society en avril 1686, la publication complète achevée en 1687.

Retour aux définitions

Après ce long détour sur les circonstances historiques de la publication, revenons au texte des *Principia*. Aux définitions citées dans notre première partie (CC34, p.16) par lesquelles Newton précise le sens "des termes qui ne sont pas communément usités", il ajoute, dans une scholie d'une dizaine de pages, son analyse ~~des~~ notions de temps et d'espace. Pour éviter toute confusion, dit-il,

"Il faut distinguer le temps, l'espace, le lieu, et le mouvement, en absolus et relatifs, vrais et apparents, mathématiques et vulgaires.

I. LE TEMPS *"Le temps absolu, vrai et mathématique, sans relation à rien d'extérieur, coule uniformément, & s'appelle durée. Le temps relatif, apparent & vulgaire, est cette mesure sensible & externe d'une partie de durée quelconque (égale ou inégale) prise du mouvement ; telles sont les mesures d'heures, de jours, de mois, etc dont on se sert ordinairement à la place du temps vrai...."*

... On distingue en astronomie le temps absolu du temps relatif par l'équation du temps. Car les jours naturels sont inégaux, quoiqu'on les prenne communément pour une mesure égale du temps ; & les Astronomes corrigent cette inégalité, afin de mesurer les mouvements célestes par un temps plus exact. Il est possible qu'il n'y ait point de mouvement parfaitement égal, qui puisse servir de mesure exacte du temps ; car tous les mouvements peuvent être accélérés et retardés, mais le temps absolu doit toujours couler de la même manière."

II. L'ESPACE *"L'espace absolu, sans relation aux choses externes, demeure toujours similaire & immobile.*

L'espace relatif est cette mesure ou dimension mobile de l'espace absolu, laquelle tombe sous nos sens par sa relation aux corps, & que le vulgaire confond avec l'espace immobile. C'est ainsi, par exemple, qu'un espace, pris au dedans de la terre ou dans le ciel, est déterminé par la situation qu'il a à l'égard de la terre.

L'espace absolu & l'espace relatif sont les mêmes d'espèce & de grandeur; mais ils ne le sont pas toujours de nombre ; car, par exemple, lorsque la terre change de place dans l'espace, l'espace qui contient notre air demeure le même par rapport à la terre, quoique l'air occupe nécessairement les différentes parties de l'espace dans lequel il passe, & qu'il en change réellement sans cesse."

III. LE LIEU *"Le lieu est la partie de l'espace occupée par un corps, & par rapport à l'espace, il est relatif ou absolu.*

Je dis que le lieu est une partie de l'espace, & non pas simplement la situation du corps, ou la superficie qui l'entoure : car les solides égaux ont toujours des lieux égaux, quoique leurs superficies soient souvent inégales, à cause de la dissemblance de leurs formes ; les situations, à parler exactement, n'ont point de quantité, ce sont plutôt des affections des lieux, que des lieux proprement dits.

De même que le mouvement ou la translation du tout hors de son lieu est la somme des mouvements ou des translations des parties hors du leur ainsi le lieu du tout est la somme des lieux de toutes les parties, & ce lieu doit être interne, & être dans tout le corps entier."

IV. LE MOUVEMENT Le mouvement absolu est la translation des corps d'un lieu absolu dans un autre lieu absolu, & le mouvement relatif est la translation d'un lieu relatif dans un autre lieu relatif ; ainsi dans un vaisseau poussé par le vent, le lieu relatif d'un corps est la partie du vaisseau dans laquelle ce corps se trouve, ou l'espace qu'il occupe dans la cavité du vaisseau ; & cet espace se meut avec le vaisseau ; & le repos relatif de ce corps est la permanence dans la même partie de la cavité du vaisseau. Mais le repos vrai du corps est sa permanence dans la partie de l'espace immobile, où l'on suppose que se meut le vaisseau & tout ce qu'il contient. Ainsi, si la terre était en repos, le corps qui est dans un repos relatif dans le vaisseau aurait un mouvement vrai & absolu, dont la vitesse serait égale à celle qui emporte le vaisseau sur la surface de la terre ; mais la terre se mouvant dans l'espace, le mouvement vrai & absolu de ce corps est composé du mouvement vrai de la terre dans l'espace immobile, & du mouvement relatif du vaisseau sur la surface de la terre ; & si le corps avait un mouvement relatif dans le vaisseau, son mouvement vrai et absolu serait composé de son mouvement relatif dans le vaisseau, du mouvement relatif du vaisseau sur la terre, & du mouvement vrai de la terre dans l'espace absolu. Quant au mouvement relatif de ce corps sur la terre, il serait formé dans ce cas de son mouvement relatif dans le vaisseau, & du mouvement relatif du vaisseau sur la terre. En sorte que si la partie de la terre où se trouve ce vaisseau avait un mouvement vrai vers l'orient, avec une vitesse divisée en 10100 parties : que le vaisseau fût emporté vers l'occident avec 10 parties de cette vitesse ; & que le Pilote se promenât dans le vaisseau vers l'orient, avec une partie de cette même vitesse : ce Pilote aurait un mouvement réel et absolu dans l'espace immobile, avec 10001 parties de vitesse vers l'orient, & un mouvement relatif sur la terre vers l'occident avec 9 parties de cette vitesse."

Newton est un mathématicien de son temps, donc nourri d'Euclide. L'espace absolu et immobile qu'il conçoit est l'espace euclidien. Pour y fonder sa physique, il y adjoint un temps absolu que nous reconnâtrons dans la variable t des équations du mouvement. Il a une bien jolie expression pour le dire :

*"Tout est dans le temps, quant à l'ordre de la succession ;
Tout est dans l'espace, quant à l'ordre de la situation. C'est
là ce qui détermine leur essence."*

Toutes les difficultés ne sont pas pour autant aplanies :

"Il faut avouer qu'il est très difficile de connaître les mouvements vrais de chaque corps, & de les distinguer actuellement des mouvements apparents, parce que les parties de l'espace immobile dans lesquelles s'exécutent les mouvements vrais, ne tombent pas sous nos sens. Cependant il ne faut pas en désespérer entièrement ; car on peut se servir, pour y parvenir, tant des mouvements apparents, qui sont les différences des mouvements vrais, que des forces qui sont les causes & les effets des mouvements vrais.

..... On fera voir plus amplement dans la suite comment les mouvements vrais peuvent se connaître par leurs causes, leurs effets, & leurs différences apparentes, & comment on peut connaître au contraire par les mouvements vrais ou apparents leurs causes et leurs effets, & c'est principalement dans cette vue qu'on a composé cet ouvrage."

(à suivre)

K.Mizar

N.D.L.R. - Si, sur la figure p.31, la tangente au cercle LL" n'est pas perpendiculaire au rayon du cercle TL, c'est que Newton avait dessiné sur sa manchette...