

## APRES TROIS CENTS ANS ...

---

---

Lire Newton en 1986 ,

pour un lecteur de mon genre, ce n'est pas tellement facile. Incapable de lire le latin - et l'original des Principia est en latin -, fatigué par deux pages en anglais, je dois me limiter aux textes en français de ma bibliothèque. Les éditions scientifiques classiques en français ne sont pas abondantes. Le choix de mes sources est donc restreint, autant les annoncer tout de suite :

((1)) ISAAC NEWTON - Les Principes mathématiques de la philosophie naturelle, traduction de la Marquise du Chastellet augmentée des commentaires de Clairaut éd Blanchard 1966 reproduction de l'édition originale de 1756.

((2)) ISAAC NEWTON - De Philophiae Naturalis Principia Mathematica, préface de Stephen Hawking, traduction nouvelle, postface et bibliographie établies par Marie-Françoise Biarnais ; collection Epistémé ; éd Christian Bourgois 1985

((3)) ALEXANDRE KOYRE - Etudes newtoniennes, bibliothèque des idées ; éd. Gallimard 1968.

((4)) PIERRE COSTABEL - Isaac Newton, notice de l'Encyclopaedia Universalis, 1968.

((5)) E.N.DA C. ANDRADE - Sir Isaac Newton, collection "short lives", éd Collins, London 1954. (c'est ma seule source en anglais, un texte facile dans une collection qui n'a pas de prétention scientifique mais l'Auteur est un spécialiste des études newtoniennes et son petit livre situe bien l'homme et l'oeuvre dans son temps.)

Autrement dit je n'ai pas recours aux éditions complètes en latin ou en anglais pour lesquelles j'aurais du chercher dans les grandes bibliothèques (autant avouer que je n'en ai pas eu le courage, je suis si bien dans mon bureau...). Je laisse également de côté les autres ouvrages de Newton qui traitent d'optique ou de mathématiques, y compris La Méthode des fluxions et des suites infinies, même s'il faut, à propos de l'attraction universelle, regarder de quels outils mathématiques Newton disposait. C'est le tricentenaire de l'attraction universelle que nous voulons d'une certaine manière commémorer; sort donc de notre sujet tout ce que Newton a écrit sur la décomposition et la recomposition de la lumière blanche ou sur la construction du télescope, ce qui est pourtant d'un intérêt capital en astronomie, mais il faut bien se limiter...

Encore un mot sur les références ((1)) et ((2)) concernant toutes deux l'ouvrage qui est au coeur de notre sujet. Sans précision supplémentaire nous le désignerons par un seul mot, Principia. Mais pourquoi ces deux références? M-F.Biarnais auteur de l'ouvrage ((2)) critique la traduction de la Marquise du Châtelet ; pour elle ce serait, plutôt qu'une traduction, une transcription portant la marque des idées de Clairaut. Sans doute n'avait-on pas, au XVIII ème siècle, les exigences de fidélité au texte original que l'on peut demander, de nos jours, à un ouvrage scientifique. Je continue pourtant à utiliser le texte de 1756 qui a l'avantage d'être complet et de comporter les très instructifs commentaires de Clairaut. L'ouvrage de M-F.Biarnais ne donne la traduction que d'un petit nombre de pages et sur les 376 pages du volume, il n'y en a que cent de Newton (l'éditeur a eu le grand tort de ne pas afficher dans la page de titre qu'il ne nous présentait que des morceaux choisis, sans oublier l'autre tort de publier un tel livre sans index). Ceci dit, les importants commentaires de M-F.Biarnais sont fort utiles et très instructifs ; le prix du livre n'est pas trop élevé ce qui explique le rejet en fin de volume des élégantes figures de l'original, hélas miniaturisées.

Ceci dit, bonjour Newton :

Les Principia en résumé

---

L'édition originale des Principia a été réalisée en 1686-87. Date qui peut être considérée comme marquant le couronnement du mouvement scientifique parti de la Renaissance : Copernic (1543), Kepler

(1609-1619), Galilée (1610-1642), Descartes (1637), Huygens (1650), beaucoup d'obscurs et de glorieux à ne pas oublier du genre Fermat, Cassini, Gassendi, Roberval... et enfin Newton.

Avec nos lunettes de 1986, nous voyons des perspectives. Si nous nous replaçons en 1686 (mais en conservant nos lunettes), d'un côté nous voyons le couronnement, de l'autre l'avènement de la science moderne. En schématisant bien sûr. On objectera qu'il en est de même pour tout ouvrage important. Ainsi, en 1619, avec L'Harmonie du monde de Kepler, mais à un moindre degré. 1686 marque plus nettement le début d'une époque pour les sciences de la nature. On dispose désormais d'un modèle fortement mathématisé riche de développements ultérieurs parce que fondé sur quelques idées simples - qui nous paraissent simples parce que nous avons été formés dans leur climat, mais qui ne l'étaient sans doute pas pour les contemporains de Newton. Quelles idées ? Sans trop les ordonner, énumérons en résumant (donc, encore une fois en schématisant beaucoup) :

1. Il n'y a qu'une seule physique universelle et non comme on le prétendait auparavant une physique terrestre et une physique céleste, chacune avec ses lois propres. Notez en passant combien l'idée de la physique unique vous est familière alors qu'en 1686, il a fallu Newton pour la "familiariser".

2. Le monde comporte de la matière, des objets ; ces objets sont en mouvement les uns par rapport aux autres. Cette notion de mouvement implique l'idée de trajectoire décrite en fonction du temps, un temps qui est un absolu (du genre de la variable  $t$  des équations du mouvement). Ces mouvements ont lieu dans un espace vide et euclidien qui est aussi un absolu donné. Ce monde est donc géométrisé.

3. D'ailleurs l'outil mathématique, au besoin perfectionné (définition de la tangente à une courbe quelconque en un point par Fermat, coordonnées rectangulaires par Descartes, notion de "fluxion" c'est à dire de dérivée et utilisation des séries infinies par Newton) est le meilleur moyen pour exprimer les lois de la nature et leur faire dire tout ce qu'elles entraînent.

4. Parmi ces lois, énoncé définitif du principe de l'inertie et loi de l'attraction universelle. Ce sont les éléments constitutifs de la "mécanique rationnelle" comme on l'a longtemps appelée et que je désignerais plutôt par l'expression mécanique newtonienne. Une construction tellement remarquable qu'il faudra deux siècles pour en développer tous les mérites puis en percevoir les limites. Ce qui ne l'empêche pas de rester un modèle de tous les modèles qu'on a pu concevoir pour tenter de comprendre le monde physique.

Il faudra évidemment revenir sur la portée de cette oeuvre mais, pour le moment, il ne faut pas s'imaginer que les Principia sont sortis spontanément de la tête de Newton. Aussi géniale qu'elle fût, cette tête, elle avait lu et bien lu ce qui avait été écrit auparavant. Essayons d'en faire autant pour comprendre comment et pourquoi c'est Newton qui a fait la bonne synthèse et non tel autre savant de ce siècle si riche en grosses têtes. Pourquoi lui, pourquoi pas Descartes ou Huygens, par exemple ? Prenons le temps d'explorer les chemins qui ont mené à l'attraction universelle.

#### Les chemins d'approche

N'oublions pas qu'avant Kepler, la question de la cause physique des mouvements célestes ne se pose pas. Pour Copernic, le monde est formé de sphères concentriques autour du Soleil :

*"La plus haute de toutes est la sphère des étoiles fixes qui contient tout et se contient elle-même ; et qui par cela même est immobile."*

Les autres sphères intérieures portent les planètes et  
*"la mobilité propre de la sphère est de tourner en rond ; par cet acte même, tandis qu'elle se meut uniformément en elle-même, elle exprime sa*

forme, celle du corps le plus simple où l'on ne peut trouver ni commencement ni fin ni distinguer l'un de l'autre." (Des Révolutions des orbes célestes, début du chapitre IV sur les mouvements des corps célestes)

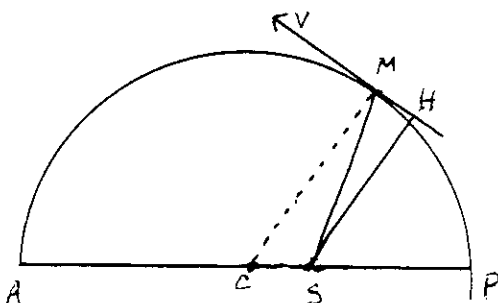
Notez bien, en tournant la sphère exprime sa forme ; on pense au tour du potier qui façonne ainsi la forme du vase. Mais la rotation des sphères porteuses des planètes est uniforme, tous les mouvements coperniciens sont circulaires et uniformes, ils s'entretiennent d'eux-mêmes, n'ont ni commencement ni fin (l'éternité du monde, l'éternité du temps...), nul besoin d'un moteur.

Dans son Mystère Cosmographique (1596), Kepler maintient les planètes sur des orbes sphériques mais celles-ci ne sont plus exactement centrées sur le Soleil (une excentricité propre à chaque planète permet de mieux approcher la réalité observée). Kepler place dans le Soleil la source de l'action animatrice qui entretient le mouvement des planètes ; sa mécanique restant aristotélicienne, les forces agissent tangentiellement aux orbites. Il explique les vitesses différentes des planètes selon leurs distances au Soleil et même, du fait de l'excentricité, la vitesse au périhélie plus grande qu'à l'aphélie. Il connaissait la loi d'affaiblissement de la lumière selon le carré des distances ; mais alors que le flux lumineux d'une étoile se répand dans une sphère, il imagine que l'action animatrice du Soleil ne se répand que dans le plan de l'orbite de la planète ; ce qui le conduit à cette conclusion inexacte d'une action inversement proportionnelle aux distances. Relisons-le pourtant, sa prose le mérite :

*"Si nous voulons espérer nous approcher davantage de la vérité et trouver une loi quelconque dans ces rapports entre les mouvements et les orbes, nous devons accepter une des deux assertions suivantes : ou bien les âmes mouvantes sont d'autant plus faibles qu'elles sont plus éloignées du Soleil, ou bien il n'y a qu'une seule âme mouvante au centre de tous les orbes, c'est à dire dans le Soleil, âme qui meut plus fortement les planètes qui sont près de lui, et moins fortement celles qui sont plus loin, en raison de la grande distance et de l'affaiblissement de la force qui y est liée. De même donc que la source de la lumière se trouve dans le Soleil et que c'est dans le lieu du Soleil, c'est à dire au centre du monde, que se trouve l'origine des orbes, de même c'est du Soleil que proviennent la vie, le mouvement et l'âme du monde. Aux étoiles fixes appartient dans cet ordre le repos, aux planètes une activité médiocre, mais au Soleil la première et propre activité, qui est incomparablement plus importante que les activités plus petites de toutes les autres choses, dans la mesure même où le Soleil, par la splendeur de son apparence, par l'efficacité de sa puissance, par la gloire de sa lumière, surpasse de loin tout le reste..."*

*...Il y a autant de lumière ou de rayons solaires dans un petit cercle que dans un grand ; et comme dans le petit cercle elle est plus dense et dans le grand plus diluée, la mesure de cette atténuation, aussi bien pour la lumière que pour la vertu motrice, doit être recherchée dans la proportion des cercles eux-mêmes." (cité par Koyré dans La Révolution astronomique)*

Cette action animatrice inversement proportionnelle à la distance au Soleil est l'une de ces conceptions fausses qui guideront l'étrange Kepler dans ses découvertes ultérieures. Mais, dans le cas présent, il croit trouver



une vérification en comparant les vitesses de Mars lors de ses passages au périhélie et à l'aphélie. Dans ces positions, il a raison alors que dans une position quelconque M de la planète c'est à la distance SH du Soleil à la tangente en M qu'il fallait comparer la vitesse comme Newton le démontrera...

Lorsque, plus tard (1603), il découvrira que les orbites sont elliptiques, le recours à une "espèce motrice" lui paraîtra encore plus indispensable puisque celle-ci doit guider la planète à chaque instant en direction et en vitesse. Mais il conservera l'action tangentielle inversement proportionnelle à la distance au Soleil et quand il dira que la nature de cette action est magnétique, cela restera au niveau de l'explication verbale.

Autre étape importante sur le chemin de la mécanique newtonienne, la bonne conception de l'inertie - alors que pour Kepler c'était seulement ce qui empêchait le mouvement. Qui, le premier, a bien dégagé le principe Galilée lorsqu'il expérimente sur la chute des corps en prend certainement conscience. Mais aussi Descartes. Pour l'un comme pour l'autre, c'est bien le principe que nous connaissons tous et que nous reconnaissons dans la Définition III des Principia :

DEFINITION III - La force qui réside dans la matière est le pouvoir qu'elle a de résister. C'est par cette force que tout corps persévère de lui-même dans son état actuel de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite.

*Cette force est toujours proportionnelle à la quantité de matière des corps, & elle ne diffère de ce qu'on appelle l'inertie de la matière, que par la manière de la concevoir ; car l'inertie est ce qui fait qu'on ne peut changer sans effort l'état actuel d'un corps, soit qu'il se meuve, soit qu'il soit en repos ; ainsi on peut donner à la force qui réside dans les corps le nom très expressif de force d'inertie.*

*Le corps exerce cette force toutes les fois qu'il s'agit de changer son état actuel, & on peut la considérer alors sous deux différents aspects, ou comme résistante, ou comme impulsive : comme résistante, en tant que le corps s'oppose à la force qui tend à lui faire changer d'état ; comme impulsive, en tant que le même corps fait effort pour changer l'état de l'obstacle qui lui résiste.*

*On attribue communément la résistance aux corps en repos, & la force impulsive à ceux qui se meuvent ; mais le mouvement & le repos, tels qu'on les conçoit communément, ne sont que respectifs : car les corps qu'on croit en repos ne sont pas toujours dans un repos absolu." ((1))*

Huygens a joué aussi son rôle dans ces prolégomènes. Y compris quand il invente le pendule cycloïdal qui est exactement isochrone (et toute la mécanique a besoin de bonnes horloges !). IL publie aussi les règles du choc élastique qui seront utiles dans les développements ultérieurs de la mécanique. Surtout, "prenant une part éminente dans les discussions sur la cause de la pesanteur, il donne corps à la fiction cartésienne des tourbillons par la réalité de la force centrifuge." (Pierre Costabel, notice Huygens, Encyclopaedia Universalis). En 1690, après la révocation de l'édit de Nantes, Huygens a dû repartir en Hollande où il publie un Discours sur la cause de la pesanteur, mais alors il est dépassé par Newton.

On retrouve dans les Principia, non la force centrifuge mais la force centripète. Relisons à ce sujet les définitions et certains des commentaires que Newton croit utile d'ajouter :

DEFINITION PREMIERE - La quantité de matière se mesure par la densité & le volume pris ensemble.

*L'air devenant d'une densité double est quadruple en quantité, lorsque l'espace est double, & sextuple, si l'espace est triple. On en peut dire autant de la neige & de la poudre condensées par la liquéfaction ou la compression, aussi bien que dans tous les corps condensés par quelque cause que ce puisse être.*

*Je ne fais point attention ici au milieu qui passe librement entre les parties des corps, supposé qu'un tel milieu existe. Je désigne la quantité de matière par les mots de corps ou de masse. Cette quantité se connaît par le poids des corps : car j'ai trouvé par des expériences très exactes*

sur les pendules, que les poids des corps sont proportionnels à leurs masses je rapporterai ces expériences dans la suite.

DEFINITION II - La quantité de mouvement est le produit de la masse par la vitesse.

Le mouvement total est la somme du mouvement de chacune des parties ainsi la quantité du mouvement est double dans un corps dont la masse est double, si la vitesse reste la même ; mais si on double la vitesse, la quantité du mouvement sera quadruple.

DEFINITION III - (voir plus haut sur la force d'inertie)

DEFINITION IV - La force imprimée est l'action par laquelle l'état du corps est changé, soit que cet état soit le repos, ou le mouvement uniforme en ligne droite.

Cette force consiste uniquement dans l'action, & elle ne subsiste plus dans le corps, dès que l'action vient à cesser. Mais le corps persévère par la seule force d'inertie dans le nouvel état dans lequel il se trouve. La force imprimée peut avoir diverses origines, elle peut être produite par le choc, par la pression, & par la force centripète.

DEFINITION V - La force centripète est celle qui fait tendre les corps vers quelque point, comme vers un centre, soit qu'ils soient tirés ou poussés vers ce point, ou qu'ils y tendent de façon quelconque.

La gravité qui fait tendre tous les corps vers le centre de la Terre; la force magnétique qui fait tendre le fer vers l'aimant, & la force, quelle qu'elle soit, qui retire à tout moment les planètes du mouvement rectiligne, & qui les fait circuler dans des courbes, sont des forces de ce genre.

La pierre qu'on fait tourner par le moyen d'une fronde, agit sur la main, en tendant la fronde, par un effort qui est d'autant plus grand, qu'on la fait tourner plus vite, & elle s'échappe aussitôt qu'on ne la retient plus. La force exercée par la main pour retenir la pierre, laquelle est égale & contraire à la force par laquelle la pierre tend la fronde, étant donc toujours dirigée vers la main, centre du cercle décrit, est celle que j'appelle force centripète. Il en est de même de tous les corps qui se meuvent en rond, ils font tous effort pour s'éloigner du centre de leur révolution, & sans le secours de quelque force qui s'oppose à cet effort & qui les retient dans leurs orbites, c'est à dire, de quelque force centripète, ils s'en iraient en ligne droite d'un mouvement uniforme.

Un projectile ne retomberait point vers la terre, s'il n'était point animé par la force de la gravité, mais il s'en irait en ligne droite dans les cieux avec un mouvement uniforme, si la résistance de l'air était nulle. C'est donc par sa gravité qu'il est retiré de la ligne droite, & qu'il s'infléchit sans cesse vers la terre ; & il s'infléchit plus ou moins, selon sa gravité & la vitesse de son mouvement. Moins la gravité du projectile sera grande par rapport à la quantité de matière, plus il aura de vitesse; moins il s'éloignera de la ligne droite, & plus il ira loin avant de retomber sur la terre.

Ainsi, si un boulet de canon était tiré horizontalement du haut d'une montagne, avec une vitesse capable de lui faire parcourir un espace de deux lieues avant de retomber sur la terre : avec une vitesse double, il n'y retomberait qu'après avoir parcouru à peu près quatre lieues, & avec une vitesse décuple, il irait dix fois plus loin ; (pourvu qu'on n'ait point d'égard à la résistance de l'air), & en augmentant la vitesse de ce corps, on augmenterait à volonté le chemin qu'il parcourerait avant de

retomber sur la terre, & on diminuerait la courbure de la ligne qu'il décrirait ; en sorte qu'il pourrait ne retomber sur la terre qu'à la distance de 10, de 30 ou de 90 degrés ; ou qu'enfin il pourrait circuler autour, sans y tomber jamais, & même s'en aller en ligne droite à l'infini dans le ciel.

Or, par la même raison qu'un projectile pourrait tourner autour de la Terre par la force de gravité, il se peut faire que la Lune par la force de sa gravité, (supposé qu'elle gravite) ou par quelque autre force qui la porte vers la Terre; soit détournée à tout moment de la ligne droite pour s'approcher de la Terre, & qu'elle soit contrainte à circuler dans une courbe, & sans une telle force, la Lune ne pourrait être retenue dans son orbite.

Si cette force était moindre qu'il ne convient, elle ne retirerait pas assez la Lune de la ligne droite ; & si elle était plus grande, elle l'en retirerait trop, & elle la tirerait de son orbe vers la Terre. La quantité de cette force doit donc être donnée ; & c'est aux Mathématiciens à trouver la force centripète nécessaire pour faire circuler un corps dans un orbite donné, & à déterminer réciproquement la courbe dans laquelle un corps doit circuler par une force centripète donnée, en partant d'un lieu quelconque donné, avec une vitesse donnée.

La quantité de la force centripète peut être considérée comme absolue, accélératrice & motrice.

Il m'a paru intéressant de reproduire tout au long les commentaires de Newton à sa DEFINITION V car il faudra y revenir. Terminons le parcours des chemins d'approche en allant écouter Hooke qui résume une expérience sur le pendule conique à la Royal Society en 1666. Ce "qui lui permet de démontrer sans contestation possible qu'un corps soumis à l'action constante d'une force centripète, et mis en mouvement par une impulsion tangentielle, décrit autour de ce centre des cercles ou des ellipses, selon que la force d'impulsion est égale ou inégale à celle de l'attraction centripète."(-((3)), p.19). Ce n'est pas de la mécanique céleste, ces ellipses sont décrites autour de leur centre, la force attractive augmente avec la distance, mais la notion de force attractive est là.

Dans un texte de 1674, An attempt to prove the motion of the earth from observations; Hooke formule trois hypothèses : 1°) tous les corps célestes ont une gravitation vers leur propre centre et ils s'attirent les uns les autres ; 2°) la loi d'inertie ; 3°) les forces attractives sont d'autant plus puissantes qu'elle agissent de plus près. Ce qui reste qualitatif. Il précise toutefois : "je suppose que l'attraction est toujours réciproquement doublée de la distance au centre", ce qui est une bonne supposition mais reste une supposition et il en tire fâcheusement : "par conséquent la vitesse sera dans la proportions sous doublée à l'attraction" et il rejoint Kepler en disant la vitesse inversement proportionnelle à la distance.

Newton voit l'erreur de Hooke, n'en dit rien car il déteste la polémique et poursuit solitairement son projet. Nous devons maintenant décrire moins sommairement la genèse de ses découvertes avant d'en analyser l'ampleur. Que le lecteur impatient pardonne cette flânerie sur les chemins d'approche qui nous ont cependant permis de lire déjà quelques premières pages des Principia. L'édition originale s'est étendue de 1686 à 1687, il faudra bien plusieurs numéros des Cahiers pour commémorer ce tricentenaire, si vous n'en êtes pas lassés.

(à suivre)

K.Mizar