

## L'influence de Descartes sur Newton en dynamique

John W. Herivel

---

**Citer ce document / Cite this document :**

Herivel John W. L'influence de Descartes sur Newton en dynamique. In: Revue Philosophique de Louvain. Quatrième série, tome 86, n°72, 1988. pp. 467-484;

[http://www.persee.fr/doc/phlou\\_0035-3841\\_1988\\_num\\_86\\_72\\_6520](http://www.persee.fr/doc/phlou_0035-3841_1988_num_86_72_6520)

---

Document généré le 25/05/2016

## Résumé

Des documents montrent de façon évidente que Newton était très familiarisé avec certaines parties de la philosophie cartésienne avant la fin de 1664. On montre en particulier que le premier énoncé de Newton du principe d'inertie fut modelé sur celui donné par Descartes dans ses *Principia Philosophiae*. Une ancienne discussion du mouvement circulaire témoigne à l'évidence d'une influence cartésienne sur Newton. Le rôle-clé joué par le principe d'inertie et certains concepts, dérivés du traitement du mouvement circulaire qu'il effectua lors de la résolution du problème dynamique posé par les lois de Kepler du mouvement planétaire, met en avant l'importance des influences cartésiennes sur le développement de la réflexion de Newton en dynamique. Ces influences positives eurent bien plus de poids que les aspects négatifs de l'attitude de Newton à l'égard d'autres parties de la philosophie de Descartes, telles sa «double» théorie du mouvement et sa théorie du vortex.

## Abstract

Documentary evidence shows that Newton was intimately familiar with certain parts of Cartesian philosophy before the end of 1664. In particular it is shown that Newton's first enunciation of the Principle of Inertia was modelled on that given by Descartes in Part 2 of his *Principia Philosophiae*. The evidence for a Cartesian influence on Newton in respect of his early discussion of circular motion is also strong. The key role played by the Principle of Inertia and certain concepts derived from his treatment of circular motion in Newton's solution to the dynamical problem posed by Kepler's laws of planetary motion underlines the great importance of Cartesian influences in the development of Newton's dynamical thought. These positive influences far outweighed the negative aspects of Newton's attitude to other parts of Descartes' philosophy including his «double» theory of motion and his Vortex Theory.

# L'influence de Descartes sur Newton en dynamique

---

Une partie de la grande masse de manuscrits laissés par Newton à sa mort en 1727, contenant notamment ceux de nature mathématique et scientifique, se trouve désormais à la bibliothèque de l'Université de Cambridge. Dans cet article, je ne m'intéresserai qu'aux suivants:

MS1. Un carnet de jeunesse<sup>1</sup>.

MS2. Le «*Waste Book*»<sup>2</sup>.

MS3. Un article sur le mouvement circulaire<sup>3</sup>.

MS4. Le *De gravitatione et Aequipondio Fluidorum*<sup>4</sup>.

MS5. Le *Tractatus de Motu*<sup>5</sup>.

Je commencerai par MS4<sup>6</sup>. Il consiste en 15 définitions (du lieu, du corps, du repos, du mouvement etc.) suivies de quelques propositions sur les fluides non élastiques. Entre les définitions 4 et 5 on trouve une longue digression de quelque huit mille mots contenant une ample critique des vues de Descartes sur le mouvement, et de l'identification du corps à l'étendue telle que celui-ci l'avait tout particulièrement mise en avant dans ses *Principia Philosophiae*. Suivant cette critique des vues de Descartes, Newton présente alors sa propre doctrine de l'espace infini, du lieu et du corps. Mon propos n'est pas de considérer en détail cette très intéressante critique des vues de Descartes par Newton, il nous suffira de dire que ce manuscrit prouve:

a) combien était précise la connaissance qu'avait Newton de certains aspects des *Principia Philosophiae* de Descartes au moment de la rédaction de ce manuscrit;

<sup>1</sup> U.C.L. MS. Add. 3996.

<sup>2</sup> U.C.L. MS. Add. 4004.

<sup>3</sup> U.C.L. MS. Add. 3958 (5) folios 87,89 (première moitié).

<sup>4</sup> U.C.L. MS. Add. 4003.

<sup>5</sup> Il existe cinq versions connues de ce traité, trois se trouvent à la Bibliothèque de l'Université de Cambridge, une aux archives de la Société Royale de Londres, et une dans la Collection Macclesfield. Les extraits repris ici proviennent du texte qui constitue manifestement la version la plus ancienne et se trouve à la bibliothèque de l'Université de Cambridge où il est repris sous le numéro U.C.L. MS. Add. 3965 (7), folios 55-62v.

<sup>6</sup> Ce MS a été complètement publié en langue latine originale, accompagné d'une traduction anglaise, par A.R. HALL et M.B. HALL in *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*. Cambridge, Cambridge University Press, 1962.

b) avec quel sérieux Newton considéra la double doctrine cartésienne du mouvement et avec quelle vigueur il réagit à cette étrange doctrine<sup>7</sup>. Ainsi, en un endroit, fait-il ce commentaire :

«Ces deux conséquences montrent en outre, manifestement qu'aucun des mouvements ne peut être dit vrai, absolu et propre de préférence à d'autres mais que tous, qu'ils soient [estimés] par rapport aux corps voisins ou éloignés, sont également philosophiques, de sorte que nous ne pouvons rien imaginer de plus absurde. Car, à moins d'accorder que chaque corps a un mouvement physique unique et que les autres changements de relations et de positions entre d'autres corps ne sont que dénominations externes: il suivra que la Terre, par exemple, fait un effort pour s'éloigner du centre du Soleil en raison de son mouvement relatif par rapport aux fixes; puis, son mouvement étant plus petit par rapport à Saturne et à l'orbe éthéré dans lequel il se meut, elle fait un moindre effort d'éloignement du centre du Soleil et un encore moindre par rapport à Jupiter et à l'éther environnant dont l'orbe de Jupiter est formé; [l'effort] est encore moindre par rapport à Mars et à son orbe éthéré et bien moindre par rapport aux autres orbites faits de matière éthérée qui, sans porter de Planète, sont plus proches de l'orbe annuel de la Terre; mais, par rapport à son orbe propre, la Terre ne fait pas d'effort du tout, puisqu'elle ne se meut pas en lui. Or puisque tous ces efforts et ce non-effort ne peuvent s'accorder dans l'absolu, il vaut mieux dire que la Terre a un seul et unique mouvement naturel et absolu qui lui fait faire un effort d'éloignement du Soleil, et que les translations de cette planète par rapport aux corps extérieurs ne sont que dénominations externes»<sup>8</sup>.

L'un des sujets de dynamique auquel Newton fait référence dans sa critique de Descartes est la théorie du vortex. La caractéristique fondamentale de cette théorie était l'hypothèse selon laquelle les planètes, et parmi celles-ci la Terre, étaient emportées autour du Soleil le long d'orbites circulaires par un gigantesque tourbillon, chaque planète individuelle étant maintenue sur son orbite grâce à un équilibre entre une tendance centrifuge, dirigée vers l'extérieur et due à son mouvement circulaire, et une pression dirigée vers le centre de l'orbite due au vortex matériel l'entourant.

<sup>7</sup> Newton ne devait pas être au courant du fait que Descartes avait plaidé dans *le Monde* pour le mouvement de la Terre et des planètes mais n'avait pas publié ce travail lorsqu'il avait appris la condamnation de Galilée par l'Inquisition.

<sup>8</sup> A la p. 3 de ce MS. La traduction que nous proposons ici est due à M<sup>me</sup> M.-F. Biarnais qui a récemment offert une édition bilingue complète de ce manuscrit: *De la gravitation ou les fondements de la mécanique classique*. Introduction, traduction et notes de M.-F. BIARNAIS. Paris, Belles Lettres, 1985. (N.d.T.).

Comme en témoigne une référence à cette théorie dans MS1, Newton s'était familiarisé avec la théorie de Descartes avant la fin de 1664 au plus tard. Et il y a de bonnes raisons de croire qu'il continua longtemps encore à accorder un crédit total ou partiel à cette théorie, et peut-être jusqu'en 1679 ou 1684, date de sa déduction de la loi de gravitation en raison inverse du carré de la distance à partir des lois de Kepler du mouvement planétaire.

Outre la théorie du vortex, les autres sujets de dynamique traités par Descartes dans ses *Principia Philosophiae* étaient le principe d'inertie, le mouvement circulaire, et les collisions. Tous ces sujets furent également traités par Newton dans des écrits antérieurs rassemblés dans MS2 (le «*Waste Book*»). Toute la question est de savoir si Newton fut influencé par Descartes lorsqu'il traita ces questions. A l'époque de la composition de MS4, Newton avait à l'évidence une connaissance des plus détaillées de certaines parties des *Principia* de Descartes. Quoique ce manuscrit soit sans aucun doute un écrit de jeunesse, il n'est toutefois malheureusement pas daté. Par contre, les écrits de dynamique repris dans MS2, où sont consignés tous les premiers progrès réalisés par Newton en dynamique, et dans lequel nous devons de préférence rechercher des traces d'influences cartésiennes, peuvent être datés avec certitude du début de 1665. S'il s'avérait que Newton n'était pas familier des *Principia* de Descartes à cette époque, la vraisemblance d'une importante influence cartésienne sur sa pensée dynamique deviendrait extrêmement faible; car, comme le montrent clairement les écrits de MS2, dès que Newton commença à réfléchir sérieusement en dynamique en examinant des sujets spécifiques, tels que les collisions et le mouvement circulaire, sa progression fut rapide et assurée, de telle sorte qu'à la fin de ses écrits de dynamique dans MS2 il avait distancé de beaucoup tous ses contemporains, Huyghens excepté.

Par chance cependant, l'ancien carnet (MS1), qui date partiellement d'avant 1664, et selon toute probabilité de bien avant encore, contient des références spécifiques aux parties 2 et 3 des *Principia* de Descartes dont celle-ci:

«Descartes définit le mouvement dans la 2<sup>e</sup> partie des Pr.P. comme étant le transport d'une partie de matière ou d'un corps du voisinage de ces corps, qui le touchent immédiatement et semblent au repos, dans le voisinage des autres».

et plusieurs références à la théorie du vortex de Descartes dont l'une

particulièrement à la «page 54 Princp. Philos. 3<sup>e</sup>». Cette référence apparaît sur la même page qu'une référence à l'observation d'une comète datée du 4 décembre 1664. Newton était donc familiarisé avec certaines sections des parties 2 et 3 des *Principes* de Descartes juste avant qu'il ne commence à mettre par écrit ses propres recherches en dynamique au début de 1665. Connaissant son inépuisable capacité à lire attentivement des livres de toutes sortes — comme en témoigne sa citation détaillée du passage sus-mentionné — il est difficile de croire qu'il n'avait pas procédé à une étude détaillée de l'ensemble des parties 2 et 3 au moins des *Principia* de Descartes à la fin de 1664. Armé de cette hypothèse, nous considérons maintenant le premier et le plus important des trois sujets précédemment cités, le principe d'inertie.

Dans l'Art. 37 de la Part. 2 de ses *Principia*, Descartes introduit la première partie du principe d'inertie, non pas fortuitement d'une manière *ad hoc*, mais comme un cas particulier d'un principe philosophique général reflétant l'immutabilité de Dieu, à savoir que :

«Chaque chose, dans la mesure où elle est simple et indivisible, reste toujours, autant qu'il lui est possible, dans le même état et n'en change jamais sinon par [l'effet] de causes extérieures»<sup>9</sup>.

Ainsi par exemple un morceau de matière de forme carrée reste-t-il toujours carré à moins que quelque chose n'intervienne pour modifier sa forme, et

«Si [une chose] est au repos, nous ne croyons pas que celle-ci se mette jamais en mouvement, à moins qu'elle n'y soit mise par une cause

<sup>9</sup> On s'étonnera peut-être de ne pas reconnaître ici l'extrait des *Principes de la philosophie* correspondant au passage des *Principia Philosophiae* cité par l'auteur. Publié en 1647, cet ouvrage, rédigé par l'abbé Picot, corrigé et approuvé par Descartes lui-même, est très souvent présenté comme la traduction de ce texte latin paru trois ans plus tôt. Comme l'ont notamment fait remarquer A. Bridoux et F. Alquié, il serait toutefois plus correct de dire qu'il en constitue la version française. Si dans l'ensemble ce texte doit être tenu pour cartésien, il ne saurait en effet être question de le considérer comme l'équivalent français exact de l'original latin; outre de nombreuses modifications et adjonctions, cette version présente certaines imprécisions. ainsi par exemple le passage cité, «unamquamquem rem, quatenus est simplex et indivisa, manere, quantum in se est, in eodem semper statu, nec unquam mutari nisi a causis externis» (p. 62, *Descartes. Œuvres complètes*, tome 8, éd. par Ch. Adam et P. Tannery. Paris, Léopold Cerf imprimeur-éditeur, 1905) devient-il dans cette nouvelle version: «chaque chose en particulier continue d'être en même état autant qu'il se peut, et jamais elle ne le change que par la rencontre des autres» (p. 185, *Œuvres philosophiques de Descartes*, tome 4, éd. par F. Alquié. Paris, Garnier, 1973). Citer cette «traduction», c'était donc risquer de détruire la démonstration de l'auteur. Aussi avons-nous décidé de donner de toutes les citations de Descartes une traduction aussi proche que possible du texte latin original. (N.d.T.).

quelconque. Et il n'y a pas plus de raison de penser, que si elle se meut, ce le soit jamais d'elle-même, et que, n'étant empêchée par rien, elle interrompe elle-même ce mouvement».

A cette tendance inertielle du repos et du mouvement, Descartes ajoute alors à l'Art. 39 la qualification extrêmement importante selon laquelle :

«chaque partie de matière, considérée en elle-même, ne tend jamais à poursuivre son mouvement suivant des lignes courbes, mais seulement suivant des lignes droites».

et à propos de laquelle il affirme :

«la cause de cette règle est la même que celle de la précédente, à savoir l'immutabilité de Dieu et la simplicité de l'opération par laquelle il conserve le mouvement dans la matière. Car il ne conserve pas celui-ci comme il a pu être quelque instant auparavant mais précisément tel qu'il est à l'instant même où il le conserve. Et bien qu'aucun mouvement ne se fasse en un instant, il est néanmoins manifeste que tout ce qui est en mouvement, durant les instants individuellement repérables au cours desquels il est en mouvement, est déterminé à poursuivre son mouvement dans une direction, suivant une ligne droite, mais jamais suivant une ligne courbe».

Le premier énoncé connu du principe d'inertie par Newton apparaît dans les axiomes 1 et 2 de MS2. Il y pose que

«Si une quantité est mise en mouvement elle ne s'arrêtera jamais à moins qu'elle ne soit empêchée par une cause extérieure quelconque».

et

«Une quantité se déplacera toujours suivant une même ligne droite (sans changer ni la détermination ni la vitesse de son mouvement) à moins qu'une cause extérieure quelconque ne la dévie».

Plus loin, à l'axiome 100 du même MS, nous trouvons l'énoncé du principe philosophique général suivant :

«Chaque chose persévère naturellement dans l'état où elle est à moins qu'elle ne soit interrompue par une cause extérieure quelconque»

Et Newton d'ajouter

«Donc Axiome 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup>».

et

«Une fois mis en mouvement un corps conservera les mêmes vitesse, quantité et détermination, de son mouvement».

Une comparaison des traitements de ce sujet par Descartes et Newton fait apparaître de remarquables ressemblances. L'énonciation par Descartes de ce principe avait deux aspects particuliers et bien caractéristiques: en premier lieu, il l'énonçait, non sous la forme d'un seul principe, mais en deux parties distinctes, la première affirmant la propriété inertielle du mouvement ou du repos en l'absence de toute perturbation externe, la seconde exprimant la tendance du mouvement à toujours se faire en ligne droite. Deuxièmement, Descartes déduisait les deux parties du principe de la nature de Dieu et de son action dans l'univers: la première comme un cas particulier d'un principe philosophique général reflétant l'immutabilité de Dieu, la seconde comme découlant de l'immutabilité de l'opération par laquelle Dieu conserve le mouvement.

Ces aspects particuliers du traitement de Descartes figurent tous deux dans la présentation de Newton du principe: lui aussi divise le principe en deux parties, la première affirmant la propriété inertielle du mouvement en l'absence de perturbations externes, la seconde affirmant sa rectilinéarité. Étant donné que Descartes fut le premier — et apparemment le seul — à énoncer le principe en deux parties, le fait que Newton fit de même dans cet ancien manuscrit non publié, et que les parties de son principe suivent de près celles de Descartes, doit rendre au moins probable l'hypothèse selon laquelle il modela son énoncé sur celui de Descartes. S'il faut admettre qu'il y a certaines différences entre les deux énoncés, Newton omet en effet toute référence au repos comme état d'un corps dans l'Axiome 1 tandis qu'il fait référence à la vitesse et à la détermination dans l'Axiome 2; le dernier doute quant à l'influence de Descartes est écarté par l'Axiome 100 de Newton. Car le principe philosophique général exprimé dans cet axiome n'est autre qu'une paraphrase fidèle en anglais du principe donné en latin dans l'Article 37 de la Partie 2 des *Principia* de Descartes. Et comme pour mieux nous en assurer encore, fait suite à son énoncé du principe philosophique cette note laconique de Newton: «Donc Axiome 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup>», qui traduit précisément l'argument utilisé par Descartes pour dériver la première partie de son principe d'inertie. Je conclus donc que Newton emprunta directement son principe d'inertie du *Waste Book* aux *Principia* de Descartes.

A la lumière de ce que nous avons appris quant à l'influence de Descartes sur Newton dans le cas du principe d'inertie, nous pouvons

avec confiance tenter d'apercevoir une influence similaire dans le cas du mouvement circulaire.

Dans l'Art. 39 de la Partie 2 de ses *Principia* Descartes cite le cas du mouvement circulaire d'une pierre placée dans une fronde comme exemple de la tendance instantanée que possède un corps à se mouvoir rectilinéairement le long de la tangente à la trajectoire courbée qu'il suit effectivement. D'où il découle que :

«Tout corps qui est mû circulairement tend sans cesse à s'éloigner du centre du cercle qu'il décrit. Et nous pouvons même le sentir de la main lorsque nous faisons tourner une pierre dans cette fronde».

S'il s'agissait là de la seule discussion du mouvement circulaire donnée par Descartes, on serait enclin à supposer qu'il ne croyait pas en l'existence d'une tendance centrifuge lors d'un mouvement circulaire, distincte de la tendance inertielle suivant la tangente. Après tout, il affirme spécifiquement que la seconde tendance découle de la première. Et cette déduction est tout-à-fait correcte : comme l'avait également entrevu Galilée, le mouvement suivant la tangente se fait nécessairement à partir du centre. Toutefois, il ressort clairement de la discussion plus détaillée offerte par Descartes dans les Art. 56-59 de la Partie 3 des *Principia* qu'il croyait réellement en deux tendances séparées, la tendance centrifuge et la tendance tangentielle.

Il ouvre cette discussion à l'Art. 56 en notant que l'indication, due à son mouvement circulaire, qu'a toute partie du second élément<sup>10</sup> à s'écarter du centre de son vortex n'implique aucun effort conscient, mais une tendance à se mouvoir de cette façon qui peut être entravée par d'autres causes. En fait, comme il le note à l'Art. 57, l'action simultanée de causes variées est la règle plutôt que l'exception, de telle sorte que l'on peut parler d'un corps ayant simultanément diverses tendances, ou *conatus*, dans différentes directions. C'est à cet endroit qu'il donne spécifiquement l'exemple du cas de la pierre dans une fronde. Sous l'action combinée de toutes les causes agissant sur la pierre, celle-ci se meut suivant un cercle. Mais si l'on pense seulement à la force du mouvement dans la pierre elle-même — et Descartes identifie clairement celle-ci à l'une des causes agissant sur la pierre, — la tendance au mouvement correspondante est toujours dirigée le long de

<sup>10</sup> Dans la cosmologie de Descartes, la matière *seconde* était constituée de particules sphériques qui formaient les vortex tourbillonnant entourant le soleil et les étoiles fixes, qui étaient eux-mêmes constitués de matière *céleste* ou *première* extrêmement fine. Les corps grossiers, tels que la terre et les planètes, étaient composés de matière *tertiaire*.

la tangente au cercle. Et quoique la fronde empêche la pierre de suivre cette tendance, elle ne peut empêcher la tendance elle-même. Ou comme le dit Descartes:

«Ac quamvis funda hunc effectum impediat, non tamen impedit conatum».

A nouveau, si nous ne considérons pas la force de mouvement totale de la pierre le long du cercle — force que Descartes distingue clairement de la force de mouvement dans la pierre elle-même — mais en considérons seulement cette partie que contrecarre la fronde, alors nous dirons qu'à chaque instant la pierre possède une tendance à s'écarter du centre du cercle en suivant le rayon.

Descartes donne donc l'impression de croire en deux *conatus*, inclinations ou tendances, séparés: l'un suivant la tangente et dû à la force de mouvement dans la pierre elle-même, et l'autre suivant le rayon à partir du centre<sup>11</sup>. Ces deux tendances restent potentielles, leur réalisation seule étant contrecarrée par la fronde.

Aux Axiomes 20 et 21 de MS2, nous trouvons une discussion qui doit être fort proche de ce que furent les premières réflexions sérieuses de Newton à propos du mouvement circulaire. A l'Axiome 20 il imagine un petit corps sphérique se déplaçant sur la surface intérieure d'une cavité sphérique. En tout point la détermination du mouvement du corps est dirigée le long de la tangente à sa trajectoire en ce point. Et le fait qu'il ne suive pas la tangente doit être dû à une pression, dirigée vers l'intérieur, de la surface qui l'entoure et agit sur lui. Il déduit de cela à l'Axiome 21 «que tous les corps en mouvement circulaire ont une tendance [à s'écarter] du centre autour duquel ils se meuvent, [car] autrement le corps Oc (considéré dans l'axiome précédent) ne pousserait pas continuellement sur edf (la surface qui l'entoure)». Ainsi pour Newton, à l'époque de la composition de ces axiomes, un corps se déplaçant circulairement avait deux tendances, l'une dirigée le long de la tangente, l'autre le long du rayon à partir du centre. Dans le manuscrit MS3, légèrement postérieur, nous trouvons effectivement

<sup>11</sup> Cette interprétation des vues de Descartes se trouve confirmée par la discussion que celui-ci propose à l'Art. 58 du mouvement d'une fourmi sur une règle soumise à un mouvement de rotation, et par celle du mouvement d'une balle à l'intérieur d'un tube en rotation à l'Art. 59. Dans chaque cas, il semble clairement croire à la fois à une tendance, ou effort, tangentielle et à une tendance centrifuge. On peut conjecturer que les doutes qu'il aurait pu avoir à propos de la réalité du conatus, ou tendance, centrifuge auraient été écartés par ce second exemple, si ingénieux, de la balle dans le tube en rotation.

cette même croyance en un conatus, ou effort, à partir du centre lors d'un mouvement circulaire. Le fait que Newton, comme Descartes, déduise l'effort tangentiel du corps en mouvement d'une application du principe d'inertie, renforce la vraisemblance de l'hypothèse selon laquelle cette ancienne discussion du mouvement circulaire par Newton était basée sur l'approche similaire développée par Descartes dans ses *Principia*.

Nous venons d'envisager les influences, positives et négatives, que Descartes a pu avoir sur Newton en ce qui concerne le mouvement, le corps, la théorie du vortex, le principe d'inertie et le mouvement circulaire. Il serait aussi possible de dire un mot d'une éventuelle influence dans le cas des collisions. Mais comme cette influence est beaucoup plus incertaine que dans le cas du principe d'inertie ou dans celui du mouvement circulaire, je n'en parlerai pas.

A propos de ces différentes influences possibles, je crois qu'il faut considérer que les influences positives eurent une importance beaucoup plus grande que les négatives. Il est certainement très intéressant de voir avec quelle vigueur Newton réagit à la double théorie du mouvement de Descartes en MS4. Il est également intéressant, spécialement du point de vue de l'histoire de la dynamique dans la première moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle, de voir comment la réaction de Newton contre la théorie cartésienne du vortex s'est renforcée à mesure que paraissaient les éditions successives des *Principia*. Mais ces exemples d'influences négatives de Descartes sur Newton paraissent insignifiants en comparaison de l'importance qu'eurent les influences positives, et dans le reste de cet article je m'en tiendrai à la considération de deux de ces influences majeures, celles attachées au principe d'inertie et au mouvement circulaire.

Ces sujets ont tous deux joué un rôle de premier plan dans l'histoire des sciences physiques en général et dans celle de la dynamique en particulier. On pense par exemple aux rôles qu'ils ont tenus dans les écrits de Duhem, ou plus récemment dans ceux de Koyré rassemblés dans ses *Études galiléennes* où se trouvent soulignées et la «fascination» qu'exerça le mouvement circulaire sur la pensée européenne avant Kepler, et l'extraordinaire difficulté que présentait la formulation du vrai principe d'inertie à laquelle paraissait irrésistiblement se heurter l'«évidence» empirique.

Si, comme je le crois, et comme j'ai essayé de la prouver, Newton, emprunta son premier énoncé du principe d'inertie à Descartes, cela

doit être tenu pour un fait important de l'histoire de la science et doit être l'occasion de rééquilibrer la balance en faveur de ceux qui précédèrent Newton dans l'étude de la dynamique et que l'on a coutume de lui opposer. Mais, en ce qui concerne le développement de la pensée personnelle de Newton en dynamique, l'influence cartésienne est encore plus importante, et ce pour une raison: tout le monde admet aisément que le principe d'inertie, enchâssé comme il l'est dans la première loi du mouvement, est l'une des pierres d'angle du système newtonien de la dynamique. Quiconque a étudié la dynamique à l'école a appris les trois lois du mouvement, et parmi celles-ci la première. Mais si nous jetons un regard sur la part que prit cette loi au développement de la dynamique durant les XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles, nous constatons qu'elle s'avère minime, étant largement reléguée dans les livres touchant à ce sujet aux paragraphes introductifs mal assurés au long desquels les différents auteurs tentent d'en justifier les fondements. Par la suite, le principe d'inertie ne joua presque aucun rôle dans l'application et le développement du sujet. Et la raison ne doit pas en être cherchée trop loin: d'un point de vue pratique la première loi peut être regardée comme un cas particulier de la deuxième, celui où aucune force n'agit. Parce que si la force agissante est nulle, l'accélération résultante l'est aussi, de telle sorte que la vitesse du corps doit être constante, et donc éventuellement nulle, cas dans lequel le corps est au repos. Cette manière de voir invite évidemment à poser la question de savoir comment nous pouvons savoir qu'il n'y a pas de force agissante si ce n'est en observant que la vitesse du corps est constante. Mais reste le fait qu'en pratique le principe n'est jamais utilisé, et ne fut que rarement utilisé depuis Newton dans le développement de la dynamique. D'autre part, la signification exacte à attribuer au principe d'inertie, ainsi qu'aux concepts de masse et d'inertie, eut une importance philosophique pour Newton lui-même lorsqu'il en vint à rééditer les *Principia Mathematica*, comme elle en eut plus tard pour Mach, et ensuite pour Einstein au cours du développement de sa théorie de la relativité. Et il semble que cela dut également être vrai pour la notion de force centrifuge lors d'un mouvement circulaire. D'un point de vue strictement utilitariste, cette notion n'eut plus de grande importance à partir de la publication des *Principia Mathematica*. Mais d'un point de vue philosophique, elle joua un rôle central dans la justification de la théorie newtonienne de l'espace absolu, et prit plus tard une place

importante dans la critique faite par Mach de cette théorie, et par l'intermédiaire de celui-ci en vint à influencer Einstein.

Lorsque nous envisageons le principe d'inertie du point de vue du développement effectif de la réflexion de Newton en dynamique, nous découvrons une situation totalement différente, et il en va de même pour la notion de force centrifuge. Ceci s'aperçoit plus clairement lorsqu'on considère en détail les deux plus importantes propositions des *Principia Mathematica*, c'est-à-dire la Prop. 1, Theor. 1 et la Prop. 6, Theor. 5. La première prouve que sur une orbite sous une force centrale, des aires égales sont balayées en des temps égaux, ce qui correspond à la deuxième loi de Kepler, et la seconde donne une formule générale de la variation de la grandeur de la force centrale en fonction de la distance au centre, situation dont le cas particulier le plus important est celui d'une ellipse sous une force en un foyer (ce qui correspond à la première loi de Kepler), auquel cas la force varie en raison inverse du carré de la distance au centre.

Les raisons pour lesquelles je tiens ces deux propositions pour les plus importantes des *Principia* sont les suivantes. En dépit de la dimension de cet ouvrage et du grand nombre de propositions différentes qu'il contient sur des sujets aussi variés que l'avance du périhélie des planètes, le mouvement des corps dans les fluides résistants, ou la vitesse de propagation du son, les *Principia Mathematica* constituent avant tout la première solution véritablement scientifique, en termes d'une force universelle, du vieux problème des mouvements planétaires, en particulier du mouvement des planètes par rapport au soleil, et dans une moindre mesure de celui des planètes les unes par rapport aux autres. Sans une solution à ce problème, Newton n'aurait eu aucune raison de rédiger et publier les *Principia*, et les deux propositions mentionnées ci-dessus contiennent essentiellement sa solution du problème. Elles constituent donc la condition *sine qua non* des *Principia*. Et nous les trouvons sous une forme quasiment semblable dans les théorèmes 1 et 3 de ce qu'on appelle le *Tractatus de Motu* de 1684 (MS5).

Si Newton n'avait pas été capable de résoudre le problème posé par la seconde loi de Kepler (correspondant au théorème 1), il n'aurait pu se justifier de restreindre son attention aux forces centripètes. Mais lorsqu'il eut obtenu le Théorème 1, il lui fallut encore une proposition par laquelle la dépendance de cette force eu égard à la distance pourrait être calculée dans le cas, correspondant à la première loi de Kepler, du mouvement sur une ellipse sous une force en un foyer; ce qu'il donne



au triangle Sbc et aussi au triangle SAB. Par un argument semblable, si la force centripète agit successivement en C, D, E, etc..., forçant le corps à décrire des lignes séparées CD, DE, EF etc. dans des intervalles de temps séparés, le triangle SCD sera égal à SBC, et SCD lui-même égal à SDE, et SDE lui-même égal à SEF. Par conséquent des aires égales sont décrites en des temps égaux. Supposons maintenant que ces triangles sont infinis en nombre et infiniment petits de telle sorte que la force centripète agisse sans cesse, à des intervalles de temps individuels correspondant des triangles individuels, et la proposition sera établie».

Notons que Newton traite en fait de la réciproque de la seconde loi de Kepler, et suppose implicitement que si le taux de description de l'aire est uniforme, alors la force doit être dirigée vers le centre en question. Notons aussi qu'ici, et dans les *Principia* eux-mêmes, il est fait usage de la lettre S pour désigner le centre de force. S n'est pas une lettre qu'un mathématicien utilise normalement pour désigner un point de référence, et cet usage nous révèle qu'à l'époque de la première rédaction de cette proposition Newton avait déjà les lois de Kepler et le soleil à l'esprit.

Si nous regardons cette preuve à la fois belle, élégante et simple, que Newton ne jugea bon de modifier en aucune façon dans les *Principia*, nous constatons alors qu'à l'exception de quelques propositions élémentaires d'Euclide et de l'appel à un processus de passage à la limite — qui devait naturellement venir à l'esprit d'un des co-créateurs du calcul différentiel, — il n'y est fait usage que de ceci :

1. Le principe d'inertie pour le mouvement uniforme entre A et B, et B et c, lorsqu'aucune force n'agit.

2. Une application très simple de la règle du parallélogramme pour la combinaison de deux mouvements produits par deux forces supposées indépendantes, règle succinctement énoncée dans le *de Motu* dans l'Hyp. 3 juste avant le Théorème 1, et plus complètement dans le Coroll. 1 aux lois du mouvement dans les *Principia*.

Aujourd'hui nous écrivons simplement le moment de la force agissante par rapport à S = taux de changement du moment de l'impulsion du corps par rapport à S =  $\frac{d}{dt} (r \times mr\dot{\theta}) = 2m \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} r^2\dot{\theta} \right) = 2m \frac{d}{dt}$  (taux de description de l'aire par rapport à S). Heureusement pour les historiens de la dynamique, et particulièrement pour ceux concernés par la question des influences sur Newton, Newton n'envisagea jamais le problème de cette manière.

Regardons à présent le théorème 3.

**Théorème 3.**

«Si le corps P [Fig. 2] tournant autour du centre S décrit une ligne courbe APQ, et si la ligne droit PR touche cette courbe en un certain point P, et si, à partir de tout autre point Q de la courbe, QR est tracée vers la tangente parallèlement à SP et si la perpendiculaire QT est abaissée sur la ligne SP: je dis que la force centripète sera inversement comme le rapport  $\frac{SP^2 \times QT^2}{QR}$ , pourvu seulement que la quantité de ce rapport soit toujours prise comme ce qu'il devient à la limite où les points P et Q coïncident.

Car dans l'indéfiniment petite figure QRPT la petite ligne QR varie pour un temps donné avec la force centripète, et avec le carré du temps lorsque la force est donnée, et par conséquent lorsque ni l'une ni l'autre n'est donnée, varie conjointement comme la force centripète et le carré du temps, c'est-à-dire comme la force centripète directement et l'aire SPQ proportionnelle au temps (ou au double de cette aire  $SP \times QT$ ) élevé au carré.

Supposons que chaque côté de cette proportionnalité soit appliqué à la petite ligne QR et la force centripète et  $\frac{SP^2 \times QT^2}{QR}$  font ensemble l'unité, c'est-à-dire que la force centripète est inversement comme  $\frac{SP^2 \times QT^2}{QR}$  CQFD».

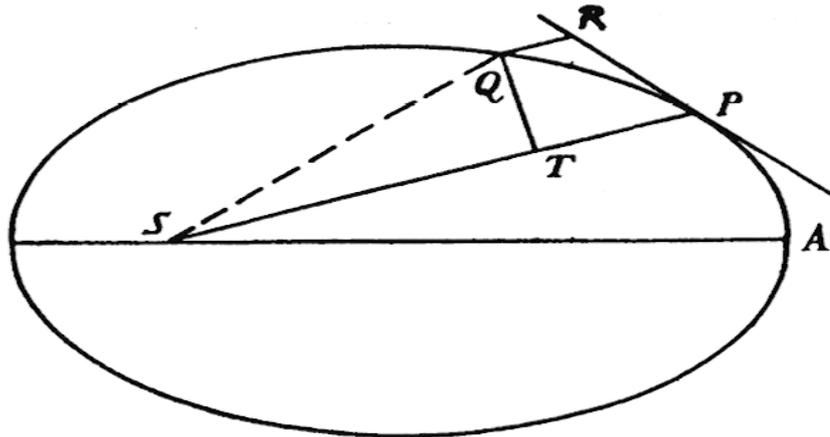


Figure 2

A nouveau le principe d'inertie joue un rôle central dans la démonstration de Newton. Car si aucune force n'agissait sur le corps il se déplacerait suivant la tangente à la courbe en P et atteindrait le point R dans le même temps,  $\Delta t$ , que met en réalité le corps pour se déplacer le long de sa trajectoire courbée jusqu'au point Q.

Mais le corps subit en fait une force presque parallèle à PS durant l'intervalle de temps  $\Delta t$ . Donc RQ, qui mesure la déviation entre la position effectivement atteinte et la position qu'il aurait atteinte si aucune force n'agissait, sera parallèle à PS — dans le cas limite où R et Q tendent tous deux vers P tandis que  $\Delta t$  tend vers 0 — et cette déviation sera à la fois proportionnelle à la grandeur de cette force et — par une application très ingénieuse de la loi galiléenne des corps en chute libre — au carré de la durée  $\Delta t$  du mouvement de P à Q. Mais, en raison du Théorème 1, cette durée sera proportionnelle à l'aire du secteur PSQ qui, à la limite, sera égale à l'aire du triangle PSQ. Le résultat annoncé par Newton suit alors à la limite  $\Delta t \rightarrow 0$ , lorsque Q tend vers P.

Pour résumer, les éléments dynamiques utilisés dans ces deux théorèmes sont :

1. Le principe d'inertie.
2. La loi du parallélogramme pour la composition de deux mouvements indépendants.
3. L'usage de la déviation comme mesure de la grandeur d'une force, telle que la gravité, agissant continuellement sur le corps durant un intervalle de temps infinitésimal.
4. La loi de la chute en  $t^2$  due à Galilée et étendue par Newton de sorte qu'elle s'applique à une force variant continuellement durant un intervalle de temps infinitésimal.

En ce qui concerne l'élément 3, il y a une influence cartésienne possible dans la mesure où il semble très probable que Newton tira la notion de déviation infinitésimale, qui joue un rôle si fondamental dans le Théorème 3, de sa seconde solution au problème du mouvement circulaire uniforme que l'on trouve dans MS2. Là la distance entre la position actuelle du corps et la position qu'il aurait atteinte s'il avait continué à se mouvoir le long de la tangente au point immédiatement antérieur, fournit une mesure du *conatus a centro*. Si nous renversons la direction vers le centre et remplaçons le *conatus a centro*, ou force centrifuge, par la force centripète dirigée vers le centre, nous obtenons exactement la notion de déviation que l'on trouve dans le Théorème 3

du *Tractatus de Motu*. Mais le concept original de déviation dans MS3 constitue une tentative pour donner une mesure qualitative au concept de *conatus a centro* que l'on trouve dans la Partie 2 des *Principia* de Descartes.

Il n'est pas déraisonnable de chercher l'origine de l'usage fait par Newton de la déviation comme mesure de la force centripète dans son étude attentive de la discussion par Descartes du *conatus a centro*, dans la Partie 2 de ses *Principia Philosophiae*. Quoi qu'il puisse en être, c'est à propos du principe d'inertie que nous devons reconnaître l'influence principale de Descartes sur Newton. Tout d'abord à l'occasion de l'énoncé par Newton du principe dans sa première loi du mouvement. Ensuite à l'occasion de son usage du principe dans la solution des théorèmes 1 et 2 du *de Motu*. Ici la position est compliquée par l'usage, introduit par Galilée dans les *Discorsi*<sup>12</sup>, d'une forme terrestre du principe d'inertie pour déduire la forme parabolique de la trajectoire d'un projectile. Mais quoique je pense que Newton ait dû être fortement impressionné par cette extraordinaire démonstration de Galilée, j'estime que le problème étudié par Galilée n'avait pas la généralité du problème du mouvement sous une force centrale, problème dans lequel le principe d'inertie apparaît comme la détermination, que possède un corps à tout instant, de se mouvoir à vitesse uniforme, suivant la tangente. Or, c'est précisément ce concept que nous trouvons dans la discussion de Descartes du mouvement circulaire et dans celle de Newton lors de sa seconde dérivation de la loi de la force centrifuge dans MS3.

J'en conclus non seulement que Newton est redevable à Descartes du premier énoncé du principe d'inertie dans le *Waste Book*, et ensuite dans les *Principia Mathematica*, mais que sa dette envers Descartes en

<sup>12</sup> GALILÉE, *Discorsi*, Troisième Journée, Théorème I, Proposition I. Certains, et notamment I.B. Cohen, ont affirmé qu'il était peu probable que Newton avait lu les *Discorsi* à l'époque de ses premières recherches en dynamique, c'est-à-dire durant les années de peste. A ce propos, il est intéressant de noter que les *Discorsi* parurent dans le second volume d'une édition des œuvres de Galilée en 1655 (vol. 1, Bologna, 1656; vol. 2, Bononiae, 1655). Ces deux volumes se trouvent à la Bodlean Library d'Oxford, y ayant été déposés par Christopher Wren en 1673 lorsqu'il abandonna la Chaire Savilian de Mathématiques. On y trouve des notes marginales rédigées par Wren dans les quatre journées dont sont composés les *Discorsi*. Les deux premières journées sont en italien, les deux dernières en latin. Ce sont ces dernières journées qui contiennent la partie dynamique des *Discorsi*. Le fait qu'à Oxford Wren étudiait les *Discorsi* de Galilée un peu avant 1673 rend improbable l'hypothèse selon laquelle il n'y avait pas une copie de la même édition disponible à Cambridge avant cette même date. Et dans ce cas, il m'est très difficile de croire que Newton lui-même n'y ait pas eu accès.

ce qui concerne cet élément de sa dynamique est beaucoup plus grande qu'il n'y paraît de prime abord étant donné le rôle vital que tient ce principe dans la résolution par Newton du problème suprême posé par les lois de Kepler du mouvement planétaire. Si Newton était conscient de sa dette envers Descartes, il est dommage qu'il ne se soit pas résolu à en faire clairement l'aveu dans les *Principia*. Si, comme cela semble plus probable, il n'en était pas conscient ou avait oublié les anciennes influences cartésiennes, pourtant si évidentes dans le *Waste Book*, alors il convient aux historiens de la science d'en prendre acte et de donner à Descartes la place qu'il mérite d'occuper aux côtés de Galilée et de Kepler parmi les principaux instigateurs du système newtonien de la dynamique.

75, Lonsdale Road  
Oxford OX2 7ES  
Grande-Bretagne.

John W. HERIVEL.

(traduit de l'anglais par Bertrand Hespel)

**RÉSUMÉ.** — Des documents montrent de façon évidente que Newton était très familiarisé avec certaines parties de la philosophie cartésienne avant la fin de 1664. On montre en particulier que le premier énoncé de Newton du principe d'inertie fut modelé sur celui donné par Descartes dans ses *Principia Philosophiae*. Une ancienne discussion du mouvement circulaire témoigne à l'évidence d'une influence cartésienne sur Newton. Le rôle-clé joué par le principe d'inertie et certains concepts, dérivés du traitement du mouvement circulaire qu'il effectua lors de la résolution du problème dynamique posé par les lois de Kepler du mouvement planétaire, met en avant l'importance des influences cartésiennes sur le développement de la réflexion de Newton en dynamique. Ces influences positives eurent bien plus de poids que les aspects négatifs de l'attitude de Newton à l'égard d'autres parties de la philosophie de Descartes, telles sa «double» théorie du mouvement et sa théorie du vortex.

**ABSTRACT.** — Documentary evidence shows that Newton was intimately familiar with certain parts of Cartesian philosophy before the end of 1664. In particular it is shown that Newton's first enunciation of the Principle of Inertia was modelled on that given by Descartes in Part 2 of his *Principia Philosophiae*. The evidence for a Cartesian influence on Newton in respect of his early discussion of circular motion is also strong. The key role played by the Principle of Inertia

and certain concepts derived from his treatment of circular motion in Newton's solution to the dynamical problem posed by Kepler's laws of planetary motion underlines the great importance of Cartesian influences in the development of Newton's dynamical thought. These positive influences far outweighed the negative aspects of Newton's attitude to other parts of Descartes' philosophy including his «double» theory of motion and his Vortex Theory.