

Découvrir le principe d'inertie

Sophie Roux

▶ **To cite this version:**

Sophie Roux. Découvrir le principe d'inertie. Recherches sur la philosophie et le langage, 2006, 24, pp.453-515. halshs-00808830

HAL Id: halshs-00808830
https://shs.hal.science/halshs-00808830

Submitted on 14 Apr 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Découvrir le principe d'inertie[1]

Sophie ROUX

Ce qu'on appelle aujourd'hui le principe d'inertie peut être formulé de la manière suivante : un corps au repos reste au repos, un corps en mouvement garde sa vitesse rectiligne uniforme, tant que rien ne vient modifier cet état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme[2]. Au début du XVIII[e] siècle, Cotes déclare dans la préface qu'il rédigea pour la seconde édition des *Principia mathematica* qu'il s'agit d'une loi de la nature universellement admise par tous les

1. Les questions qui sont au cœur de cette étude ont été l'objet d'un exposé intitulé « Descartes a-t-il formulé le principe d'inertie ? » lors des Journées « Descartes et les principes de conservation », ENS-Fontenay, décembre 1996. Une seconde version de cet exposé a été présentée en décembre 1998 au séminaire que Catherine Chevalley organisait alors à Tours. C'est avec plaisir que je remercie Egidio Festa, Alan Gabbey et Carla-Rita Palmerino, qui ont bien voulu en relire l'avant-dernière version : leurs remarques m'ont permis de clarifier quelques points qui devaient l'être.

2. L'appellation « principe d'inertie » n'existe pas au XVII[e] siècle et ne semble pas s'imposer avant la seconde moitié du XIX[e] siècle : auparavant, on trouve différentes expressions, par exemple, chez d'Alembert « principe de la force d'inertie », *Traité de dynamique*, Paris, Gabbay, 1990, p. XI, p. XVI. Cette question terminologique n'interférant cependant pas avec les problèmes soulevés dans notre étude, nous n'avons aucune raison de ne pas employer l'appellation usuelle aujourd'hui. Pour des raisons de simplicité, nous laissons par ailleurs de côté le rapport entre principe d'inertie et principe de relativité (pour une analyse des tentatives de démonstration du principe d'inertie à partir de la relativité du mouvement, voir E. Meyerson, *Identité et réalité*, Paris, Vrin, 1951, p. 133-145).

philosophes[3]. De fait, c'est cette loi qui ouvre les traités que Newton et Huygens consacrent à la science du mouvement. La première des « lois ou axiomes du mouvement » des *Principia mathematica* est que tout corps persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme, à moins que des forces imprimées ne le contraignent à changer cet état[4]. Cartésien sur ce point, Huygens emploie une formule qui lui permet de ne pas recourir à la notion de force ; sa première « hypothèse » est qu'un corps, une fois qu'il a été mis en mouvement, continue à se mouvoir toujours avec la même vitesse et de manière rectiligne, si rien ne s'y oppose[5]. Le principe d'inertie constituait cependant un nouveau principe, que n'avait admis aucun philosophe avant le XVII^e^ siècle : les notions de matière et de mouvement qu'on trouve dans la physique d'inspiration aristotélicienne, y compris dans ce qu'on appelle parfois la « théorie de l'*impetus* », conduisent à penser que, naturellement, le mouvement des corps qui nous entourent va s'épuisant petit à petit. De manière élémentaire, l'étude qui suit a pour objectif de déterminer quel est le processus historique qui a conduit à la formulation de ce nouveau principe qui sera un des fondements que Newton et Huygens choisiront pour la science du mouvement.

D'un point de vue historiographique, l'étude du principe d'inertie a longtemps été parasitée par une interprétation générale de la Révolution Scientifique, trop générale pour être vraie. Selon Rosenberger, Tannery et Painlevé, le principe d'inertie fait le partage entre physique ancienne et physique moderne ; or, raisonnaient-ils en gros, le partage entre physique ancienne et physique moderne est aussi celui qu'on trouve entre géocentrisme et héliocentrisme : il y

3. R. Cotes, « Editionis Praefatio », *in* Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1972, tome I, p. 22.

4. *Philosophiae naturalis principia mathematica*, lex 1, tome I, p. 54 : « *Corpus omne persevarare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare* ».

5. « *Corpus quodlibet semel motum, si nihil obstet, perget moveri eadem perpetuo celeritate et secundum rectam* », *De Motu corporum ex percussione*, hyp. 1, dans *Œuvres complètes de Christian Huygens*, La Haye, 1888-1950 (désormais citées SHS), XVI, p. 31.

aurait donc une solidarité conceptuelle entre la découverte du principe d'inertie et le passage du géocentrisme à l'héliocentrisme [6].

Rapidement, un certain nombre d'historiens, à commencer par Meyerson, remarquèrent que, Copernic et Kepler n'ayant en réalité rien formulé qui ressemble au principe d'inertie, cette reconstruction rationnelle était une vue de l'esprit [7]. Cette reconstruction a néanmoins déterminé un schème interprétatif qu'on trouve dans une grande partie de la littérature sur la Révolution Scientifique : la révolution commencée dans les cieux par Copernic aurait appelé une révolution terrestre ; cette dernière aurait supposé l'avènement d'une nouvelle mécanique fondée sur le principe d'inertie et amenant à sa suite l'idée que la matière est passive, le mouvement relatif, ou qu'il s'agit d'un état et non d'un processus. En somme et en simplifiant, le principe d'inertie serait un complément logiquement nécessaire du geste copernicien, même s'il n'a pas été historiquement formulé par les premiers coperniciens [8].

Qu'on adopte ou non ce schème interprétatif général, Galilée et Descartes sont les principaux champions en lice pour la découverte du principe d'inertie. Un certain nombre de travaux, désormais classiques, permettent d'évaluer ce que chacun a accompli [9]. En ce

6. F. Rosenberger, *Die Geschichte der Physik in Grundzügen mit synchronistischen Tabellen der Mathematik, der Chemie und beschreibenden Naturwissenschaften sowie der allgemeinen Geschichte*, Hildesheim, G. Olms, 1965, I, p. 47 ; P. Tannery, « Galilée et les principes de la dynamique », *Revue générale des sciences*, 13, 1901, p. 332, p. 335-337 ; P. Painlevé, « Les axiomes de la mécanique et le principe de la causalité », *Bulletin de la Société française de philosophie,* p. 32-37.

7. Meyerson, *Identité et réalité*, p. 528-540.

8. Pour quelques textes illustrant ce schème dans le cas déterminant de Galilée, voir E. Wohlwill, « Die Entdeckung der Beharrungsgesetzes », *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft*, 1884, bd. 15, p. 81-87 ; Tannery, « Galilée et les principes de la dynamique », p. 332 et p. 338 ; A. Koyré, *Études galiléennes*, Paris, Hermann, 1966, p. 75, p. 165-166, p. 205, p. 211 ; M. Clavelin, « Le copernicianisme padouan de Galilée », in *Tribute to Galileo in Padua. Atti delle celebrazioni galileiane (1592-1992),* Trieste, Lint, 1995, p. 149-166 ; M. Bucciantini, *Galileo e Keplero*, Torino, Einaudi, 2003, p. 62-66.

9. Les travaux les plus marquants ont été pour nous Meyerson, *Identité et réalité* ; Koyré, *Études galiléennes* ; M. Clavelin, *La Philosophie naturelle de Galilée,* 1re éd., 1968 ; 2e éd., Paris, Albin Michel, 1996 ; A. Gabbey, « Force and Inertia in the Seventeenth Century : Descartes and Newton », in *Descartes : Philosophy, Mathematics*

sens, la nouveauté de l'étude qui suit ne consiste-t-elle pas dans les matériaux présentés, ni même parfois dans les commentaires qui en seront donnés, mais bien dans les questions qui seront posées à propos de ces matériaux et de ces commentaires. L'avantage d'un objet aussi familier que le principe d'inertie est en effet qu'il permet de poser clairement des problèmes inhérents à la pratique de l'histoire des sciences et décisifs lorsqu'on pose la question de l'assignation de la nouveauté dans les sciences.

Se demander qui a découvert un élément chimique et se demander qui a découvert un principe comme le principe d'inertie, cela pose des problèmes d'ordre différent. Dans le premier cas, étant donné la révolution opérée par Lavoisier, le problème est qu'on peut qualifier de découverte soit l'identification d'une chose naturelle, soit sa description conceptuelle ou son intégration à un système théorique [10]. Dans le second cas, on semble se placer d'emblée dans un système d'énoncés théoriques : en ce sens, on pourrait penser qu'il n'y a pas vraiment de problème, et que découvrir un principe d'inertie, c'est en donner pour la première fois une formulation correcte ou adéquate. Mais, justement, qu'est-ce que formuler correctement ou adéquatement un principe ?

En fait, toute enquête sur la découverte d'un principe est subordonnée à une question méthodologique préjudicielle : quels critères permettent de déclarer que c'est bien le même principe qui se trouve dans deux textes ? Et, qu'on nous pardonne cette trivialité, si un historien des sciences juge cette question inévitable, ce n'est pas qu'il ignore quel sera le comportement d'un corps laissé à lui-même : c'est qu'il a suffisamment de lumières pour savoir qu'il

and Physics, S. Gaukroger (ed.), Brighton, The Harvester Press/ Barnes and Noble Books, 1980, p. 230-319 ; J.-P. Séris, *Machine et communication*, Paris, Vrin, 1987 ; D. Garber, *Descartes' Metaphysical Physics*, Chicago, Chicago University Press, 1992.

10. T.S. Kuhn, *La Structure des révolutions scientifiques*, trad. fr., L. Meyer, Paris, Flammarion, 1983, p. 83-88 et « La structure historique de la découverte scientifique », dans *La Tension essentielle. Tradition et changement dans les sciences,* trad. fr., M. Biezunski, P. Jacob, A. Lyotard-May et G. Voyal, Paris, Gallimard, 1990, p. 235-238, abordent exemplairement ce problème dans le cas de la découverte de l'oxygène ; voir également R.G. Hudson, « Discoveries, When and By Whom ? », *British Journal for the Philosophy of Science*, 52, 2001, et, dans ce volume, l'étude d'Hugues Chabot.

existe différentes manières de juger de l'équivalence de deux énoncés physiques. Par exemple, on peut dire que l'énoncé d'un principe dans un texte est équivalent à l'énoncé d'un principe dans un autre texte si : 1) ils prédisent qu'un corps, dans une situation donnée, a le même comportement, 2) ils s'appliquent au même ensemble de phénomènes, 3) ils mettent en jeu le même réseau de concepts. Ces trois critères d'équivalence ne sont vraisemblablement pas les seuls qu'on puisse imaginer, et il n'est pas sûr qu'ils soient toujours distincts l'un de l'autre. Il devrait cependant être clair que, selon qu'on privilégie l'un ou l'autre, le verdict ne sera identique ni quant à l'équivalence de deux énoncés, ni quant au lieu où un principe apparaît pour la première fois.

Prendre au sérieux cette question méthodologique préjudicielle peut conduire à la conclusion qu'il est *stricto sensu* impossible de déclarer identiques deux énoncés qui apparaissent dans deux traités différents et, conséquemment, que la question de la découverte d'un principe n'a littéralement aucun sens, puisque ce à quoi on a affaire, ce sont toujours des énoncés différents par leur contexte, « incommensurables » comme on pouvait dire autrefois. Un des enjeux de cette étude sera de montrer que cette conclusion n'est pas acceptable, tout simplement parce qu'elle ne correspond pas au travail effectif d'articulation et d'identification des énoncés qui est au cœur du développement des sciences. Autrement dit, si en tant qu'historiens, nous sommes amenés à replacer des énoncés dans leur contexte et, ainsi, à distinguer ce qui semble identique en première lecture, nous devons tout aussi bien prendre en compte les identifications qui ont eu lieu dans l'histoire et la capacité qu'ont les savants à déplacer un énoncé d'un contexte dans un autre et, ainsi, à le détacher de son lieu d'apparition pour l'intégrer à l'édifice anonyme des sciences.

C'est à tout cela que seront consacrés les trois actes et l'épilogue qui suivent. Dans un premier temps, nous rappelons brièvement la manière dont Galilée a été amené à poser qu'un corps continue naturellement de se mouvoir une fois qu'il a acquis un certain mouvement, pourquoi ce n'est pas le principe d'inertie, mais que, en pratique, il s'en sert comme d'une approximation de ce qui est, pour nous, le principe d'inertie. Dans un deuxième temps, nous montrons, de manière plus détaillée car il nous semble qu'il s'agit de

choses moins connues, que Descartes formule des lois de la nature qu'on pourrait considérer comme équivalentes au principe d'inertie, mais que cette lecture suppose qu'on laisse de côté le contexte théorique dans lequel les lois en question sont formulées, ce contexte incluant les applications qui en sont faites par Descartes. Dans un troisième et dernier temps, nous donnons quelques éléments indiquant ce que fut historiquement le travail d'articulation de la formulation cartésienne et des analyses galiléennes, en particulier chez Newton et Huygens, mais pas seulement chez eux. Dans l'épilogue enfin, nous reprenons toutes ces questions en termes un peu plus généraux.

GALILÉE

Genèse

Dans des textes de jeunesse, Galilée se demande quelle est la force nécessaire pour mettre en mouvement un corps sur un plan horizontal. Ainsi, le traité *De Motu* (*circa* 1690) s'efforce de démontrer géométriquement que cette force est aussi petite qu'on veut ; la version longue des *Mecaniche*, usuellement datée de la fin des années 1590, qualifie cette proposition d'« axiome indubitable » et l'associe à ce qui est alors appelé l'incertitude ou l'indifférence d'un corps sur un plan horizontal eût égard au repos et au mouvement [11]. On sait par ailleurs qu'en 1607, Galilée soutenait que le mouvement, une fois qu'il a été acquis, se conserve : « pour commencer le mouvement, un moteur est bien nécessaire, mais, pour le continuer, il suffit qu'il n'y ait pas d'obstacle » [12]. Dans la lettre à Welser du 14 août 1612, il articule pour la première fois l'indifférence des corps eu

11. Sur les antécédents de ces propositions, leur fonction dans les écrits de jeunesse de Galilée et, partiellement, dans le *Dialogo*, voir E. Festa et S. Roux, « La moindre petite force peut mouvoir un corps sur un plan horizontal. L'émergence d'un principe mécanique et son devenir cosmologique », *Galileiana,* 3, 2006.

12. Benedetto Castelli à Galilée : « *Dalla dottrina poi di V.S., che a principiar il moto è ben necessario il movente, ma a continuarlo basta il non haver contrasto, mi vien da ridere quando essaltano questa dottrina come quella che mi faccia venir nella cognitione dell'essistentia di Dio; conciosiachè se fusse vero che il moto fosse eterno, io potrei doventar ateista e dire che di Dio non havemo bisogno, bestemia scelerata* », 1er avr. 1607, dans G. Galilei, *Le Opere di Galileo Galilei*, Edizione Nazionale, Firenze, Barbèra (désormais citées EN), X, p. 170.

égard au repos et au mouvement et la conservation du mouvement ; de plus, étendant au soleil ce qui avait initialement été élaboré à propos des corps terrestres, il attribue alors à cette conservation une portée cosmologique [13].

A ce degré de généralité, on pourrait être tenté de penser que Galilée, en parlant d'indifférence du corps au mouvement et au repos et en affirmant que le corps conserve le mouvement une fois qu'il l'a acquis, avait compris le principe d'inertie, même s'il n'en a jamais fait une hypothèse fondamentale qu'on formulerait *ab initio*, mais l'a seulement formulé au passage, à l'occasion de certaines démonstrations particulières [14]. Reste à y voir d'un peu plus près. On procédera à cet effet en trois temps : on rappellera pourquoi Galilée n'est généralement pas dit avoir formulé le principe d'inertie ; on montrera ensuite que certaines de ses analyses peuvent être vues comme contenant « en germe » ou « implicitement » le principe d'inertie ; on décrira enfin les décalages qui peuvent affecter l'interprétation du corpus galiléen.

Le principe de conservation du mouvement circulaire de Galilée

Le principe de conservation du mouvement a dans le *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* un enjeu cosmologique que n'avait pas nécessairement le principe que la moindre petite force peut mouvoir un corps sur un plan horizontal. Le copernicien déclaré qu'est Galilée dans le *Dialogo* se doit de montrer que le mouvement se conserve une fois qu'il a été imprimé à un corps pour répondre à une objection contre l'héliocentrisme. Si la terre se meut, disaient les partisans de Ptolémée, alors une pierre qu'on lance en l'air ne devrait pas retomber au point d'où elle a été lancée. Si on peut montrer que le mouvement se conserve, alors cette pierre,

13. EN V, p. 134 : « *rimossi tutti gl'impedimenti esterni, un grave nella superficie sferica e concentrica alla Terra sarà indifferente alla quiete ed a i movimenti verso qualunque parte dell'orizonte, ed in quello stato si conserverà nel qual una volta sarà stato posto ; cioè se sarà messo in stato di quiete, quello conserverà, et se sarà posto in movimento (…), nell'istesso si manterrà* ».

14. Que Galilée ne présente pas la conservation du mouvement comme un principe a été très tôt noté ; voir ainsi Wohlwill, « Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes », bd. 14, p. 131-135. K. Lasswitz, *Geschichte der Atomistik vom Mittelalter bis Newton*, Hildesheim, G. Olms, 1984, tome II, p. 36, p. 85, p. 153. Meyerson, *Identité et réalité*, p. 125-126.

conservant le mouvement qu'elle a acquis quand elle était en contact avec la terre qui se meut, et lui ajoutant le nouveau mouvement qu'on lui imprime lorsqu'on la jette, retombe nécessairement là où elle a été lancée. C'est pourquoi Salviati, porte-parole de Galilée dans le *Dialogo,* entreprend de convaincre Simplicio qu'un mouvement, une fois qu'il a été acquis, peut se conserver.

Mais pourquoi le mouvement d'un corps ne se conserverait-il pas ? C'est que, pour un aristotélicien, le mouvement qu'un corps terrestre a acquis en vient toujours à s'épuiser. Qui dit matière dit en effet, toujours pour un aristotélicien, lourdeur, pesanteur, résistance, inertie, quasiment au sens psychologique que peuvent avoir ces termes quand ils s'appliquent à un individu qui, souhaitant retourner à la torpeur de sa sieste, rechigne toujours plus à la tâche. Ainsi le mouvement s'épuise-t-il à vaincre cette résistance. Pour montrer que le mouvement se conserve, il faut donc réfuter l'idée que la matière résiste par définition au mouvement. A cet effet, Salviati-Galilée fait intervenir le plan horizontal comme un dispositif où disparaissent aussi bien la résistance que l'appétence au mouvement : sur un plan horizontal en effet, la gravité naturelle est neutralisée [15].

Si un corps placé sur un plan incliné descend et accélère, fait-il remarquer à Simplicio, c'est que sa gravité agit continûment sur lui comme force motrice : à chaque instant, elle lui fait gagner naturellement un degré de vitesse. Si un corps lancé vers le haut le long d'un plan incliné décélère progressivement, c'est que sa gravité agit continûment sur lui, mais en sens inverse pourrait-on dire, à chaque instant elle enlève un degré de vitesse à son élan initial. Autrement dit, dans les deux cas, la gravité agit, dans un cas pour produire des degrés de vitesse, dans l'autre pour en consommer. Par continuité ou par symétrie, on en déduit que, sur un plan qui ne monte ni ne descend, la gravité comme force motrice sera neutralisée, qu'elle n'agira ni dans un sens ni dans un autre, donc que, quelque soit le corps considéré, toute cause d'accélération ou de décélération aura disparu. Un corps sur un plan horizontal devra donc demeurer éternellement dans l'état qui est le sien, soit de

15. Le paragraphe qui suit synthétise l'argumentation de EN VII, p. 171-174 en introduisant la notion de gravité motrice. Pour d'autres énoncés du principe de conservation dans le *Dialogo*, voir *ibid.*, p. 53, p. 201.

repos, soit de mouvement uniforme. On a donc bien un principe de conservation du mouvement ou du repos, et, contrairement à la dérivation directe de ce principe à partir du principe de causalité, dont on verra un exemple chez Beeckman, l'argumentation de Salviati comble notre intuition. Toute tentative pour dériver directement le principe d'inertie du principe de causalité est en effet vouée à l'échec : qu'il n'y ait pas de changement sans cause de changement ne permet de tirer aucune conclusion si l'on ne sait pas par rapport à quoi il y a changement, autrement dit si l'on ne définit pas ce que c'est qu'un état, une absence de changement. L'argumentation de Salviati dans notre passage est en revanche intuitivement satisfaisante : elle est enracinée dans l'expérience des corps de notre monde et conforme à une exigence de symétrie ou de continuité que nous tenons pour rationnelle [16].

C'est ce passage qui avait conduit un historien de la physique aussi notable que Mach à soutenir que Galilée avait « aperçu » le principe d'inertie, à défaut de l'avoir conçu dans toute sa clarté [17]. A condition de lire les textes, il était difficile d'aller plus loin [18]. En effet, comme l'avait montré Wohlwill avant Mach, et comme le reconnaissent la plupart des historiens des sciences aujourd'hui, ce qu'on trouve en fait chez Galilée, c'est un principe de conservation du mouvement circulaire [19]. La gravité étant en effet pour Galilée

16. E. Mach, *La Mécanique. Exposé historique et critique de son développement*, trad. fr., E. Bertrand, Paris, A. Hermann, 1904, « Note, § 3 », p. 482-487, critique également la dérivation du principe d'inertie à partir du principe de causalité. La première démonstration géométrique que Galilée donne dans le *De Motu* du principe que la moindre petite force suffit à mettre un corps en mouvement sur un plan horizontal repose elle aussi sur un passage à la limite (pour son analyse, voir Festa et Roux, « La moindre petite force »).

17. Mach, *La Mécanique*, chap. II, p. 131-133, et « Note, § 3 », p. 482-487.

18. E. Cassirer, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, Berlin, B. Cassirer, 1906-1907, tome I, p. 394 *sq.*, est bien allé plus loin : c'est qu'il construit un Galilée à la mode néo-kantienne sans lire le texte de Galilée. Pour une analyse de cette construction, ou si l'on préfère de cette rationalisation, voir M. ichant, « Cassirer et les commencements de la science classique », *Science et métaphysique dans Descartes et Leibniz*, Paris, P.U.F, 1998, p. 391-397.

19. Wohlwill, « Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes », bd. 15, p. 387 ; Meyerson, *Identité et réalité*, p. 125-127. Koyré, *Études galiléennes*, p. 208-209 ;

une propriété naturelle, inamissible et essentielle des corps, le mouvement ne se conserve pas n'importe comment : il se conserve quand il est celui d'un corps qui se trouve sur un plan (autrement, le corps irait vers le centre des graves), tel que l'action de la gravité soit neutralisée (autrement, le corps accélérerait ou ralentirait). Mais un plan de ce genre, que Galilée appelle « horizontal », c'est un plan à égale distance du centre vers lequel tendent tous les graves, autrement dit, en fait, une surface circulaire. Aussi, lorsqu'il prend l'exemple d'un bateau qui se meut sur une mer plate comme exemple de mouvement inertiel, ce n'est pas une approximation qui serait possible parce que le rayon de la terre serait assez grand pour que sa surface, en fait circulaire, soit assimilée à un plan, c'est l'illustration exacte de ce qu'est le principe de la conservation du mouvement, une conservation circulaire [20]. En effet, c'est seulement sur une surface qui ne s'éloigne ni ne se rapproche du centre des graves, c'est-à-dire sur une sphère, que la gravité motrice est neutralisée. Une des prémisses cosmologiques exposées dans le *Dialogo* est d'ailleurs que, dans un monde bien ordonné comme l'est notre cosmos, le mouvement circulaire est le seul possible pour les corps élémentaires qui le constituent, à savoir les planètes [21].

Nous avons maintenant de quoi comprendre la célèbre conclusion de Koyré : « Ainsi, nous venons de le voir, *Galilée n'a pas formulé de principe d'inertie*. Sur la route qui, du Cosmos bien ordonné de la science médiévale et antique, mène à l'Univers infini de la science classique, il n'est pas allé jusqu'au bout » [22]. Galilée n'est pas allé

M. Clavelin, *La Philosophie naturelle,* p. 216-218, p. 260-267. Dans le *De Motu*, Galilée décrit le mouvement circulaire comme « neutre », c'est-à-dire ni naturel ni violent.

20. L'exemple du navire se trouve en particulier dans la lettre à Welser du 15 août 1612, EN V, p. 134-135, et dans le *Dialogo*, EN VII, p. 174.

21. *Dialogo*, EN VII, p. 44-45, puis p. 56-57 : « *Possiamo dunque ragionevolmente dire che la natura, per conferire in un mobile, prima costituto in quiete, una determinata velocità, si serva del farlo muove, per alcun tempo e per qualche spazio, di motto retto. (…) Il moto circolare non s'acquisterà mai senza il moto retto precedente* ». Cette prémisse est commentée par Koyré, *Études galiléennes*, p. 209, et par Clavelin, *La Philosophie naturelle*, p. 217. J.A. Coffa, « Galileo's Concept of Inertia », *Physis*, 10, 1968, p. 280, estime qu'on ne doit pas la prendre au sérieux : comme Cassirer, quoiqu'avec moins d'ampleur de vue, il fait les partages qui lui conviennent et construit un texte galiléen imaginaire.

22. *Études galiléennes*, p. 276.

jusqu'au bout : il juge que le mouvement se conserve, mais cette conservation concerne le mouvement sur un plan circulaire. Galilée ne pouvait aller jusqu'au bout : la gravité étant selon lui essentielle aux corps, elle ne leur laisse pour ainsi dire aucune chance d'échapper à leur trajectoire circulaire. Galilée devait ne pas aller jusqu'au bout : son cosmos n'étant pas un espace isotrope et infini, le mouvement inertiel, c'est-à-dire un mouvement sans but et sans terme, est tout simplement inconcevable [23].

La pratique de la physique

A ce point cependant, il est inévitable de se demander pourquoi, malgré tout, on voit dans les textes de Galilée quelque chose comme un principe d'inertie – comme le dit Koyré lui-même dans un autre contexte, l'erreur est parfois aussi instructive que la réussite, et la concordance dans l'erreur doit avoir quelque explication. La réponse à cette question est que la pratique galiléenne de la physique excède sa théorie, pourrait-on dire en première approximation. L'analyse de passages canoniques nous permettra de préciser cette idée et de voir que notre jugement sur la présence ou l'absence d'un principe d'inertie chez Galilée engage un certain protocole de lecture.

Lorsque Salviati se trouve sommé dans le *Dialogo* de décrire la trajectoire d'un projectile, il entreprend, conformément au principe de conservation du mouvement circulaire qu'il a exposé, de composer un mouvement circulaire et un mouvement naturellement accéléré. On le sait, il échoue devant la complexité mathématique du problème : tantôt il décrit vaguement la trajectoire résultante comme « transversale », tantôt il l'assimile à un cercle [24]. Mais l'emprise du

23. Koyré, *Études galiléennes*, p. 258, lie « l'impossibilité, pour Galilée, de formuler le principe d'inertie » à « son refus (…) d'admettre franchement l'infinité de l'espace ». En fait, si le principe d'inertie consiste à poser qu'un corps conserve, à tout instant, son état de mouvement ou de repos, sa formulation ne suppose en rien l'existence d'un espace actuellement infini. Et si l'on soutenait que le principe d'inertie ne peut être formulé à moins de supposer l'espace infini, il faudrait tout aussi bien dire qu'il ne peut être formulé à moins de supposer un espace vide, et donc qu'il ne se trouve pas chez Descartes.

24. EN VII, p. 180-181, p. 188-191, p. 200-203. Sur l'histoire de ce problème, voir A. Koyré, *Chute des corps et mouvement de la Terre de Kepler à Newton*, trad. fr., J. Tallec, Paris, Vrin, 1973.

principe de conservation circulaire n'est pas totale dans le *Dialogo*[25]. Comment par exemple comprendre l'énoncé que, au sortir du canon, un boulet se mouvrait en ligne droite dans la direction donnée par la bouche du canon si sa gravité ne l'écartait de cette direction pour l'incliner vers la terre[26] ? Et, si, au commencement du mouvement, le poids intervient pour dévier le mouvement du boulet, n'est-ce pas qu'il le fait dévier à tous les instants de sa trajectoire, et donc que le mouvement du boulet est intrinsèquement rectiligne ? Enfin, comment Galilée peut-il à la fois penser que le mouvement circulaire est naturel et prendre au sérieux l'objection anti-copernicienne, selon laquelle le mouvement circulaire de la terre devrait conduire à la dispersion de tous les corps terrestres[27] ? Prendre en compte l'effet centrifuge, c'est, d'une certaine manière et quand bien même on n'en aurait pas tiré toutes les conséquences, avoir en pratique l'idée que le mouvement circulaire n'est pas un état au même titre que le repos et, donc, qu'il ne se conserve pas naturellement. En ce sens, s'il est faux de dire que le *Dialogo* contient le principe d'inertie, ne pas être troublé par l'ambivalence de ces passages et ne pas sentir ne serait-ce que la possibilité d'en pratiquer une lecture récurrente, c'est exiger de tout savoir qu'il s'énonce avec la clarté d'un principe, faire disparaître les clairs-obscurs qui vacillent

25. Je reprends ici sous forme interrogative des arguments avancés plus dogmatiquement par Coffa, « Galileo's Concept of Inertia » et S. Drake, « Galileo Gleanings XVII », *Physis*, 10, 1968.

26. EN VII, p. 201 : « *[una palla di cannone] uscita del pezzo seguiterebbe il suo moto per la linea retta che continua la dirittura della canna, se non in quanto il proprio peso la farebbe declinar da tal dirittura verso terra* ». Voir également EN VII, p. 219.

27. N. Copernic, *Des Révolutions des orbes célestes*, trad. fr., A. Koyré, Paris, Alcan, 1934, I 7, p. 88, attribuant à tort à Ptolémée l'objection centrifuge, avait cherché à y répondre en disant que les corps terrestres ne se dispersent pas car le mouvement qu'ils partagent avec la terre leur est « naturel ». Pour une analyse de la stratégie copernicienne dans ce passage, voir M.-P. Lerner, *Le Monde des sphères,* Paris, Les Belles Lettres, 1997, vol. 2, p. 96-101. Clavelin, *La Philosophie naturelle*, p. 244-253 dégage les apories de la réponse de Galilée à l'objection centrifuge. Voir également, dans la masse d'études consacrées à l'analyse galiléenne de la force centrifuge, A. Chalmers et R. Nicholas, « Galileo and the Dissipative Effects of a Rotating Earth », *Studies in the History of Science*, 14, 1983, et M. Finacchiaro, « Physico-mathematical Reasoning : Galileo on the Extruding Power of Terrestrial Rotation », *Synthese*, 134, 2003.

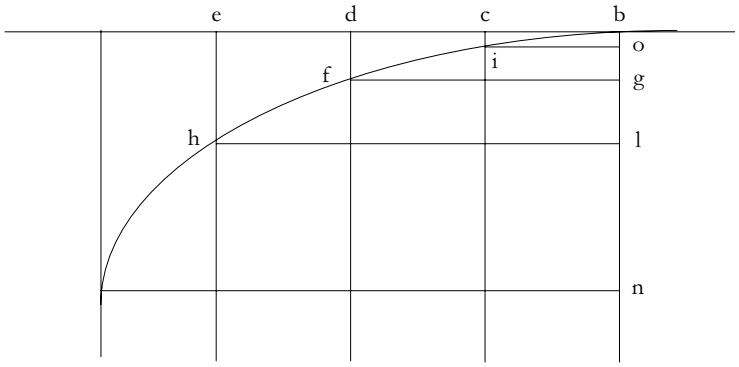
entre la lumière et l'ombre, ne pas admettre qu'outre l'être et le non-être, il y a des possibles gros d'avenir – et alors, peut-être, perdre de quoi expliquer l'avancement des sciences [28].

On peut donner une analyse assez semblable du célèbre théorème 1 de la quatrième journée du *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, où Galilée énonce qu'un projectile, animé d'une part d'un mouvement horizontal et uniforme et, d'autre part, d'un mouvement naturellement accéléré de chute verticale, décrit une trajectoire parabolique. A cet effet, il commence par rappeler qu'un mobile sur un plan horizontal poursuivra uniformément et éternellement son mouvement pourvu qu'on prolonge ce plan à l'infini [29]. Un résultat géométrique connu depuis Apollonius (les carrés des segments menés perpendiculairement de la parabole à des points A et B de son axe sont entre eux comme les segments menés du sommet de la parabole aux susdits points A et B) et la loi de la chute des corps (les espaces parcourus par un corps animé d'un mouvement accéléré sont entre eux comme les carrés des temps) lui permettent d'arriver immédiatement au théorème en question [30].

28. Dans « L'Actualité de l'histoire des sciences », dans *L'Engagement rationaliste*, Paris, P.U.F., 1972 et dans *L'Activité rationaliste de la physique contemporaine*, Paris, P.U.F, 1951, chap. 1, p. 21-49, Bachelard déduit du progrès des sciences la nécessité d'écrire leur histoire de manière « récurrente », c'est-à-dire en trouvant dans les sciences d'aujourd'hui des normes partageant la science « périmée », devenue ineffective, et la science « sanctionnée », dont les acquis sont de l'ordre du pour toujours. Ces textes ont été abondamment paraphrasés ou critiqués, mais on n'a pas assez souligné que les historiens inspirés par Bachelard infléchirent ses thèses à propos de deux questions. Comment, en premier lieu, choisir un bon point de récurrence ? N'y a-t-il pas, en second lieu, une dialectique historique du périmé et du sanctionné ? Nous revenons sur ces deux questions plus bas, notes 42 et 116.

29. *Discorsi*, EN VIII, p. 268 : « *Mobile quoddam super planum horizontale proiectum mente concipio, omni secluso impedimento : jam constat, ex his quae fusius alibi dicta sunt, illius motum aequabilem et perpetuum super ipso plano futurum esse, si planum in infinitum extendatur* (…) ». On trouve un autre énoncé du principe de conservation dans *ibid.*, p. 245.

30. EN VIII, p. 272-273. Comme Koyré, *Études galiléennes*, p. 274-275, Clavelin, *La Philosophie naturelle*, p. 378, semble voir un progrès dans l'emploi du terme « horizontal », mais ce terme est ambivalent à cette époque en général et chez Galilée en particulier : il peut se rapporter à l'horizon réel de la sphère terrestre comme à l'horizon rectiligne idéal.



Sur le dessin, le mouvement uniforme se fait selon *bc* et est représenté par les intervalles égaux *bc, cd, de*, etc. ; le mouvement accéléré se fait selon *bn* et est représenté par les intervalles *bo, bg, bl*, etc., qui croissent comme les carrés des temps, par exemple si *bo* = 1, *bg* = 4, *bl* = 9, etc. : de la composition de ces deux mouvement résulte la demie-parabole. Non seulement un principe de conservation est énoncé, mais, en pratique, on voit le mouvement rectiligne uniforme qui se fait selon *bcde*. Alors quoi ? Ce coup-là, Galilée n'a-t-il pas utilisé, et de surcroît dans une démonstration géométrique, le principe que le mouvement rectiligne se conserve avec une vitesse uniforme ?

C'est ce que nous penserions si, lisant ce passage hors de son contexte, nous le faisions spontanément passer du côté de la science sanctionnée ; supposons par exemple qu'il s'agisse d'un fragment écrit par Straton de Lampsaque : nous commencerions peut-être par dire que Straton avait le principe d'inertie ; et nous nous en étonnerions, au point, et nous y reviendrons vers la fin de cette étude, de douter que notre affirmation soit pertinente. Mais, en fait, nous savons que ce texte fut écrit par Galilée qui, dans la situation scientifique qui était la sienne, en était venu à mettre en place un principe de conservation circulaire. En historiens, nous disons donc : la réalité physique exigerait selon Galilée qu'un mouvement circulaire soit composé avec un mouvement uniformément accéléré ; mais il n'est pas capable d'effectuer cette comparaison[31]. Poussé par la

31. Nous suivons ici Clavelin, *La Philosophie naturelle*, p. 377-379. Rien n'indique que Galilée avait cessé de croire que le seul mouvement naturel pour les corps constituant le cosmos est le mouvement circulaire ; au contraire, il rappelle quelques

nécessité de simplifier les opérations géométriques, il assimile donc le mouvement circulaire à un mouvement rectiligne. Il justifie physiquement cette approximation : Archimède lui-même n'avait-il pas supposé, dans ses œuvres statiques, que les poids pèsent perpendiculairement au fléau de la balance [32] ? Elle n'a pas pour autant le statut d'un fondement physique : c'est seulement une supposition mathématique, que la nature même des corps graves interdit.

Cette divergence entre une réalité physique et la supposition mathématique qui doit en rendre compte n'est d'ailleurs pas sans conséquence lorsqu'on se demande si la Quatrième Journée des *Discorsi* accomplit effectivement ce qu'elle prétend faire. Le fait d'être sur un plan horizontal étant la condition *sine qua non* de la neutralisation de la gravité et donc de l'uniformité du mouvement, un mouvement oblique uniforme est une contradiction dans les termes et ne saurait *a fortiori* être composé avec un autre mouvement ; or, composer des mouvements rectilignes obliques uniformes avec le mouvement uniformément accéléré de chute libre, c'est ce dont Galilée a besoin s'il veut, comme il prétend le faire dans cette Quatrième Journée, rendre compte du mouvement des projectiles en général et, en particulier, des tirs d'artilleurs. Descartes l'avait noté : pour échapper à ce problème, Galilée passe implicitement du résultat qu'il a de fait démontré (un corps qui ajoute à un mouvement horizontal et uniforme un mouvement accéléré de chute verticale décrit une trajectoire parabolique vers le bas) à sa converse (la trajectoire d'un corps lancé vers le haut selon une inclinaison quelconque verra, étant donné sa gravité naturelle, sa trajectoire infléchie en une parabole) [33]. Ce passage va de soi géométriquement,

pages plus loin, EN VIII, p. 283-284, la fiction « platonicienne » que lui avait déjà inspirée dans le *Dialogo* la distinction entre le mouvement rectiligne, qui permet d'acquérir de la vitesse, et le mouvement circulaire, qui permet de la conserver une fois qu'elle est acquise (voir plus haut, note 21).

32. EN VIII, p. 274-275.

33. Descartes à Mersenne, 11 octobre 1638 : « Il est à remarquer qu'il prend la converse de sa proposition sans la prouver ni l'expliquer, à savoir que si le coup tiré horizontalement de B vers E suit la parabole BD, le coup tiré obliquement suivant la ligne DE doit suivre la même parabole DB ; ce qui suit bien de ses suppositions. Mais il semble n'avoir osé l'expliquer, de peur que leur fausseté parût trop évidemment. Et toutefois il ne se sert que de cette converse en tout le reste de son quatrième discours, lequel il semble n'avoir écrit que pour expliquer la force des

mais non pas physiquement, si on ne détermine pas ce que peut être ce mouvement rectiligne oblique. Un fragment rédigé en vue de la deuxième édition des *Discorsi,* mettant dans la bouche de Simplicio ce qui sera l'objection de Descartes, atteste que Galilée se rendit compte de la lacune de sa démonstration, mais qu'il ne résolut pas le problème physique [34].

Décalages

On a donc un cas de figure qui, pour être fréquent en histoire des sciences, n'en garde pas moins toute sa saveur épistémologique. Ce cas de figure peut être décrit comme un décalage entre la vérité de Galilée dans l'histoire et la vérité de Galilée selon l'histoire. Une analyse comme celle de la trajectoire parabolique d'un projectile s'intégrera ultérieurement sans difficulté à la science du mouvement qui est en train de naître, voire contribuera à sa constitution ; même là où Galilée se trompe, comme lorsqu'il évalue les effets de la force centrifuge, il a montré le chemin, et, en ce sens, on dira, pour reprendre une formule initialement employée par Koyré, que, sans dire le vrai, il était dans le vrai [35]. Il n'en reste pas moins que le

coups de canon tirés selon divers élévations » dans *Œuvres de Descartes*, C. Adam et P. Tannery (éd.), Paris, Vrin, 1964-1974, (désormais citées AT), II, p. 387. Sur le bien-fondé de la critique cartésienne et pour une analyse de la manière dont les fol. 171v et 175v des manuscrits galiléens analysent la trajectoire d'un projectile lancé obliquement, voir P. Damerow *et al.*, *Exploring the Limits of Preclassical Mechanics*, New York-Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, 1992, p. 128-129, p. 205-212, p. 252-254.

34. EN VIII, p. 446-447 : « *Fatemi restar capace in qual modo si verifichi quel converso che l'Autore suppone come chiaro e indubitato : dico che, venendo il proietto da alto a basso descrivendo la semiparabola, cacciato per il converso da basso ad alto, ci debba ritornare per la medesima linea, ricalcando precisamente le medesimo vestigio* ».

35. Cette formule, originairement employée dans Koyré, *Études galiléennes*, p. 155, à propos de l'idéalisation de l'expérience chez Galilée, eut une fortune notable : on la retrouve chez G. Canguilhem, « Galilée : la signification de l'œuvre et la leçon de l'homme », *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, Vrin, 1968, p. 46, à propos de l'engagement héliocentrique de Galilée, puis chez M. Foucault, *L'Ordre du discours. Leçon inaugurale du Collège de France*, Paris, Gallimard, 1971, p. 35-36 à propos de la manière dont fut historiquement différée la réception de l'œuvre de Mendel. Pour une analyse des différences entre l'usage de cette formule chez Canguilhem et chez Foucault, voir E. Balibar, « Science et vérité dans la

Galilée selon l'histoire, parce qu'il concevait la pesanteur comme une propriété essentielle des corps, et sans doute aussi parce qu'il n'avait pas totalement abandonné l'idée d'un cosmos bien ordonné, n'a pas cessé de penser que le seul mouvement à pouvoir se conserver était le mouvement circulaire.

Ce décalage n'est pas le seul, ou, si l'on préfère, il pourrait être également décrit non pas historiquement mais structurellement, comme un décalage entre des analyses locales et une théorie globale. On trouve chez Galilée un certain nombre de prédictions empiriques locales identiques à celles que nous ferions en recourant, entre autres choses, à notre principe d'inertie : le palet sur une table soufflante a une vitesse rectiligne uniforme, le caillou sort tout droit de la fronde, le boulet de canon trace une demi-parabole. Celui qui juge que la physique n'est pas seulement une affaire de description locale, mais une entreprise de théorisation, qui doit établir en général ce qu'il en est pour tous les corps, hésitera cependant à attribuer à Galilée une connaissance, même confuse, du principe d'inertie. En effet la théorisation galiléenne, en particulier concernant la gravité, n'est pas la nôtre, et il existe conséquemment certains phénomènes à propos desquels cette différence conceptuelle éclate au grand jour : nous ne pensons pas que les planètes se meuvent naturellement en cercle.

C'est parce que ces décalages existent qu'il est nécessaire d'expliciter quel est notre protocole de lecture quand nous lisons Galilée, ou, si l'on préfère, comment nous avons construit notre grille épistémologique. Si nous envisageons les analyses concrètes qu'il a proposées en matière de science du mouvement dans l'histoire, alors il n'est pas aberrant de dire qu'il avait « en pratique » ou « implicitement » le principe d'inertie ; comme nous le verrons, c'est ainsi qu'il fut lu par ses successeurs. En revanche, si nous le replaçons dans la situation scientifique qui était la sienne, prenant en compte la théorie globale qu'il a mise en place, alors il faut dire qu'il avait un principe de conservation du mouvement circulaire différent du principe d'inertie ; cette lecture ou cette interprétation est usuellement celle des historiens qui, comme on dit, « replacent les choses

philosophie de Georges Canguilhem », dans *Georges Canguilhem, philosophe, historien des sciences. Actes du colloque (6-7-8 décembre 1990)*, Paris, Albin Michel, 1993, p. 62-65.

dans leur contexte ». Mais, nous y reviendrons, la tâche des historiens des sciences est sans doute, aussi, d'analyser les effets de décontextualisation, les transferts, les déplacements ou les méprises qui font l'avancement des sciences.

DESCARTES

Partons encore une fois de Koyré. Selon lui, c'est à Descartes que revient l'honneur d'avoir formulé le principe d'inertie pour l'éternité et dans toute sa généralité : « Le plus beau titre de gloire de Descartes-physicien est, sans doute, d'avoir donné du principe d'inertie une formule « claire et distincte »; et de l'avoir mis en place »[36]. Comme on sait, il se réfère alors à deux des trois lois de la nature que Descartes donne dans le *Monde* (rédigé vers 1633 mais non publié de son vivant), puis dans les *Principia philosophiae* (1644 pour la version latine, 1647 pour la traduction française)[37]. Rappelons ces deux lois, en citant non seulement les intitulés des articles qui se rapportent à ces lois, mais les énoncés plus précis que contiennent le corps du texte :

Première loi, ou loi de conservation :

> *Que chaque chose, pour autant qu'il est en elle, persévère toujours dans le même état; et ainsi ce qui a commencé une fois de se mouvoir, s'efforcera toujours de se mouvoir.* (…) chaque chose, en tant qu'elle est simple et indivise,

36. *Études galiléennes*, p. 161. C'est contre l'idée que Galilée aurait implicitement ou obscurément possédé le principe d'inertie que Koyré souligne la présence d'une formule claire et distincte chez Descartes.

37. En règle générale, les références qui suivent se rapportent au texte latin des *Principia philosophiae*, avec d'éventuelles précisions sur les différences qui le séparent du *Monde* et du texte français des *Principes de la philosophie*. Pour faire bref, nous parlons, malgré la différence entre l'ordre des lois dans le *Monde* et dans les *Principes*, de « première loi » et de « deuxième loi ». En effet, cette différence n'est pas signifiante conceptuellement. L'ordre du *Monde* est celui des raisons et des causes : les deux lois données en premier dépendent directement de l'immutabilité de Dieu; la loi qui vient en troisième dépend de surcroît de la manière simple dont il conservent les mouvements. L'ordre des *Principes* est, plus scolairement, celui des phénomènes : les deux premières lois décrivent le comportement d'un seul corps, la troisième examine ce qu'il advient à deux corps lorsqu'ils se rencontrent. N'en déplaise à Koyré, *Études galiléennes*, p. 334, l'ordre des *Principes* n'est pas plus « logique ».

> demeure, pour autant qu'il est en elle, toujours dans le même état, à moins que des causes extérieures ne la changent [38].

Deuxième loi, ou loi de persistance de la tendance rectiligne :

> *Que tout mouvement est par lui-même droit ; et ainsi, ce qui se meut en cercle, tendra toujours à s'éloigner du centre du cercle qu'il décrit.* (…) Chaque partie de la matière, considérée en elle-même, ne tend jamais à continuer son mouvement selon une ligne oblique, mais selon une ligne droite [39].

Si nous appliquons un critère faible d'équivalence, selon lequel deux principes sont équivalents pourvu que leurs formulations soient identiques, alors ces deux lois réunies constituent bien quelque chose comme le principe d'inertie qu'on trouve chez Huygens et Newton. C'est la lecture que bien des historiens des sciences font des lois de la nature cartésiennes : ils soulignent que le principe de conservation galiléen est un principe de conservation du

38. *PP* II 37, AT VIII-1, p. 62 : « Quod unaquaeque res, quantum in se est, semper in eodem statu perseveret ; sicque quod semel movetur, semper moveri pergat. (…) *unamquamque rem, quatenus est simplex et indivisa, manere, quantum in se est, in eodem semper statu, nec umquam mutari nisi a causa externis* ». Il n'est pas anodin de préciser que la chose se conserve à condition d'être « simple » et « indivise ». Son caractère indivis signifie qu'elle n'est pas animée de mouvements divers, autrement dit qu'elle constitue *un* corps (*PP* II 25, AT VIII-1, p. 53-54). Garber, *Descartes' Metaphysical Physics*, s'appuyant sur la lettre à Mersenne du 26 avril 1643, AT III, p. 649, remarque à juste titre que l'exigence de simplicité permet de ne pas faire jouer cette loi pour des états complexes de la matière comme le chaud et le froid. La simplicité s'oppose ici à une composition ontologique, et elle se distingue donc de la simplicité mathématique dont il sera question plus bas note 58. Pour l'expression « *quantum in se est* », que nous avons ici rendue très littéralement, I.B. Cohen, « "Quantum in se est" : Newton's Concept of Inertia in Relation to Descartes and Lucretius », *Notes and Records of the Royal Society of London*, 19, 1964, p. 145-147, a montré que, avant Newton, elle était équivalente à « *sua vi* », « *sua sponte* », « *naturaliter* », « *ex natura sua* ».

39. *PP* II 39*, ibid.*, p. 63 : « Quod omnis motus ex se ipso sit rectus ; et idea quae circulariter moventur, tendere semper ut recedant a centro circuli quem describunt. (…) *unamquamque partem materiae, seorsim spectatam, non tendere unquam ut secundum ullas lineas obliquas pergat moveri, sed tantummodo secundum rectas* ». F. de Buzon et V. Carraud *Descartes et les* Principia II, Paris, PUF, 1994, p. 102-103, remarquant que l'obliquité désigne la divergence d'une droite par rapport à une autre droite donnée, soulignent que l'opposition n'est pas ici entre un cercle et une droite, mais entre le fait de modifier une direction initiale et le fait de la conserver.

mouvement circulaire, puis remarquent que, en mettant bout à bout les deux lois de Descartes, on a « notre » principe d'inertie [40]. L'interprétation que nous avons donnée des textes galiléens suffirait cependant à montrer qu'on ne peut se contenter de ce critère faible : ne nous sommes-nous pas alors efforcés de retrouver leur trame fine et complexe ? De manière similaire, il nous faut remettre les deux lois de la nature cartésiennes dans leur contexte théorique, c'est-à-dire, en particulier, les replacer dans leur réseau conceptuel et nous demander comment elles s'appliquent aux phénomènes concrets [41].

Dans un travail de ce genre, il est cependant impossible de supposer qu'on sait ce que « veut dire » le principe d'inertie, puisque cela reviendrait à supposer qu'on a accès à sa signification indépendamment de tout énoncé. Il est en revanche légitime de se demander si l'énoncé des lois cartésiennes est ou n'est pas équivalent à un énoncé qui est usuellement appelé « principe d'inertie » ; c'est ce qu'on fera ici en prenant comme point de récurrence la première loi du mouvement des *Principia mathematica philosophiae naturalis*. Le choix qui est ici fait de Newton plutôt que de Huygens peut se justifier par l'histoire, car c'est l'œuvre du premier, et non celle du second, qui deviendra le canon de la nouvelle mécanique, mais aussi eu égard à la conclusion visée, qui sera plus directement atteinte à partir de Newton qu'elle ne le serait à partir de Huygens [42].

Cette conclusion est que, quoique pour d'autres raisons, le principe d'inertie ne se trouve pas plus chez Descartes que chez Galilée. Il n'y a là rien d'étonnant pour celui qui admet que la signification d'un énoncé est en partie contextuelle : deux énoncés qui sont les mêmes dans leur formulation littérale peuvent ne pas avoir

40. L'exception notable est A. Gabbey. Les développements qui suivent le retrouvent plus d'une fois.

41. L'ignorance du contexte théorique est une des circonstances favorables à la production d'artefacts repérées par Caveing, « Qu'est-ce qu'un artefact en histoire des sciences », dans *Hommage à Jean-Toussaint Desanti*, Mauvezin, T.E.R., 1991.

42. Sur la décision épistémologique qu'implique le choix d'un point de récurrence, voir M. Fichant, « L'idée d'une histoire des sciences », *Sur l'Histoire des sciences*, Paris, Maspero, 1968, p. 136-138. Suzanne Bachelard, « Épistémologie et histoire des sciences », « Épistémologie et histoire des sciences », dans *Rapport du* XII[e] *congrès international d'histoire des sciences*, Paris, Blanchard 1971, p. 48-51.

la même signification dans deux contextes théoriques différents, et donc n'être en ce sens pas vraiment « les mêmes ». Pour atteindre cette conclusion générale dans le cas qui nous occupe, après avoir fait le point sur la dette de Descartes à l'égard de Beeckman, nous examinerons les différences notables entre la théorisation qu'il propose et celle de Newton : non seulement il existe deux lois et non pas une chez Descartes, mais la loi de conservation du mouvement et la loi de persistance de la tendance rectiligne n'expliquent pas les mêmes phénomènes et ne mettent pas en œuvre les mêmes concepts que la loi de Newton. La nature de cet examen nous conduira à laisser de côté des questions qui auraient leur place dans un commentaire systématique des lois cartésiennes ; ainsi en est-il par exemple de l'argumentation qui les soutient, de leur fondement métaphysique, de leur rapport avec le principe général de conservation ou avec les règles spécifiques du mouvement, et, en grande partie, du statut ontologique de la force [43].

Genèse

La première mention dans l'œuvre cartésienne d'un principe de conservation du mouvement dans le vide remonte aux *Cogitationes privatae*, c'est-à-dire vers 1619. Descartes attribue alors ce principe à Beeckman, avec lequel il vient de se lier, et s'en sert dans l'analyse de la chute des corps [44]. Une dizaine d'années plus tard, il s'est approprié le principe de Beeckman [45], l'utilise comme ce dernier dans

43. Pour une introduction claire à toutes ces questions, voir Garber, *Descartes*, p. 197-301.

44. *Cogitationes Privatae,* AT X, p. 219 : « *Contigit mihi ante paucos dies familiaritate uti ingeniosissimi viri (…). Quod (…) in vacuo movetur, semper moveri existimabat* ». De son côté, Beeckman note : « *Haec ita demonstravit M^r [Du] Perron (…) secundum mea fundamenta, viz.* quod semel movetur, semper movetur, in vacuo », *Journal tenu par Isaac Beeckman de 1604 à 1634*, Cornélis de Waard (éd.), La Haye, Martinus Nijhoff, 1939-1953 (désormais cité JB), I, p. 263.

45. A Mersenne, 13 nov. 1629*,* AT I, p. 71-72 : « Je suppose que le mouvement qui est une fois imprimé en quelque corps y demeure perpétuellement, s'il n'en est ôté par quelque autre cause, c'est-à-dire que *quod in vacuo semel incoepit moveri, semper et aequali celeritate movetur* ». Il est précisé que la grandeur se conservant est la vitesse ; c'est tardivement que Beeckman donne cette précision (5 janv.-10 fév. 1631*,* JB III, p. 184-185).

l'explication de différents phénomènes [46], et note dans la marge d'une lettre à Mersenne qu'il s'efforcera d'en donner une démonstration dans son traité [47]. Pour la tendance que les corps ont à conserver un mouvement rectiligne, alors qu'ils sont en fait animés d'un mouvement circulaire, la seule mention qu'on en trouve chez Descartes avant le *Monde* est un passage des *Cogitationes privatae* où il rapporte la manière dont Beeckman, toujours lui, explique « pourquoi, en ce qui concerne le mouvement des corps qu'on projette, ceux qui sortent de la main par une force circulaire se détournent aussitôt vers le mouvement droit » [48]. Dans les deux cas, la dette à l'égard de Beeckman semble grande, et il importe donc de l'évaluer. Ce qui est souvent répété après Koyré est que Beeckman avait un principe de conservation du mouvement, mais qu'il étendait à tort cette conservation au mouvement circulaire [49]. Une analyse systématique de son *Journal*, ou du moins des entrées qui ne sont pas rédigées en hollandais, montre que le problème se posait un peu autrement pour lui.

46. Ainsi Descartes attribue-t-il le rebond des ballons à l'élasticité de l'air et, surtout, à la continuation du mouvement : « *ex hoc ipso quod una res capit moveri, ideo pergit moveri, quamdiu potest; atque si non possit recta pergere, potius in contrarias partes reflectitur quam quiescat* », Descartes à Mersenne, 25 fév. 1630, AT I, p. 117. Voir également janv. 1630, AT I, p. 107. Beeckman fait de même (13 déc. 1616-16 mars 1618, JB I, p. 117 et p. 122-123). Contrairement à Beeckman, Descartes juge que ce principe ne suffit pas à expliquer les vibrations d'une corde (Beeckman à Mersenne, sept. 1629, dans *Correspondance du P. Marin Mersenne, religieux minime*, P. Tannery, C.de Waard, et A. Beaulieu (éd.), Paris, CNRS, 1932-1988, II, p. 230 (désormais citée TWB) ; Descartes à Mersenne, 8 oct. 1629, AT I, p. 29.

47. Descartes à Mersenne, 18 déc. 1629, AT I, p. 90, note a : « *Oportet meminisse nos supponere illud quod semel motum est, in vacuo semper moveri, et in meo tractatu demonstrare conabor* ». Descartes dit avoir consacré les neuf premiers mois de son séjour hollandais à un traité de métaphysique (A Mersenne, 15 avril 1630, AT I, p. 144) ; sa démonstration consiste donc vraisemblablement à dériver cette loi à partir de l'immuabilité de Dieu.

48. *Cogitationes privatae,* AT X, p. 224 : « *Idem advertit quare, in motu projectorum, quae e manu exeunt per vim circularem, statim ad motum rectum deflectant* ». Dans la lettre du 25 février 1630 citée plus haut note 46, Descartes écrit que le mouvement se poursuit en ligne droite (« *recta pergere* »), mais l'alternative n'est pas celle du droit et du courbe, mais celle de ce qui continue devant soi et de ce qui rebrousse chemin.

49. *Études galiléennes*, p. 108, n. 2, qui se réfère seulement à quelques passages du *Journal* de Beeckman.

Dès 1613, Beeckman pose que le mouvement se conserve s'il n'y a pas d'obstacle [50]. Cette conservation est justifiée non par l'idée que le moteur, au moment de son contact avec le mobile, lui imprimerait une force qui se conserverait ensuite, mais par l'application nue du principe de causalité au mouvement : « on concevra très facilement par la pensée que ce qui est mû dans le vide ne se repose jamais, parce qu'aucune cause n'intervient pour changer le mouvement : en effet, rien ne change sans une cause de changement » [51]. Ceci vaut en particulier du mouvement des astres : s'ils se meuvent dans le vide, ils ne rencontrent aucun obstacle et se meuvent perpétuellement. Mais quoi s'ils sont entourés d'air ou de quelque autre milieu qui leur fait obstacle ? Etant de très grands corps, doués initialement par Dieu d'une très grande vitesse, du moins se meuvent-ils quasi-perpétuellement et mettront très longtemps à épuiser leur mouvement [52].

Beeckman pense-t-il cependant que le mouvement circulaire se conserve comme le mouvement rectiligne ? Cela ne serait guère conciliable avec le passage des *Cogitationes privatae* où Descartes rapporte que, selon Beeckman, un corps animé d'un mouvement circulaire se détourne dès qu'il le peut vers un mouvement droit. Il est impossible de reconstituer quelque chose comme une théorie à partir des entrées du *Journal*, mais du moins peut-on essayer de comprendre comment le problème se posait à Beeckman. D'une part, il pose que rien ne se meut circulairement, à moins de tourner sur son centre, comme le fait par exemple le soleil ; aussi une pierre, détachée subitement d'une roue en mouvement dont elle était solidaire, « ne se mouvra pas circulairement, mais en ligne droite

50. JB I, p. 24 : « *Mota semel numquam quiescunt nisi impediantur* ». Les occurrences de ce principe sont trop nombreuses dans le *Journal* pour être toutes citées.

51. Juil. 1613-avr. 1614, JB I, p. 25 : « *Quod (…) Philosophici dicunt vim lapidi imprimi, absque ratione videtur. Quis enim potest concipere quid sit illa, aut quomodo lapidem in motu contineat, quave in parte lapidis sedem figat ? Facillime autem mente quis concipiat, in vacuo motum numquam quiescere, quia nulla causa mutans motum occurrit : nihil enim mutatur absque aliqua causa mutationis* ».

52. Juil. 1613-avr. 1614, JB I, p. 24. 6 fév.-23 déc. 1616, JB I, p. 104-105. 23 nov.-26 déc. 1618, JB I, p. 266-267. 7 et 8 août-10 sept. 1628, JB III, p. 75-76. 8 oct.-1er fév. 1629, JB III, p. 101. Beeckman avait exposé à Descartes le problème et sa solution (*Cogitationes privatae*, AT X, p. 224).

vers le lieu où elle regardait au moment où elle a été détachée »[53]. C'est pourquoi il se demande, comme d'autres coperniciens avant lui, la raison pour laquelle le mouvement circulaire de la terre ne conduit pas à l'éjection de tous les corps qui sont posés sur elle[54]. D'autre part cependant, c'est pour lui un fait primitif que les corps célestes sont animés d'un mouvement circulaire et au moins quasi-perpétuel ; or, comme par ailleurs il récuse la distinction entre les sphères sublunaire et supralunaire, ce fait a besoin d'une explication, que Beeckman cherche, entrée après entrée. Est-ce parce que le mouvement des corps célestes se fait autour d'un centre, entendons par là d'un centre cosmologique absolu ? Est-ce parce qu'il se fait dans le vide ? Est-ce parce que le mouvement circulaire serait aussi naturel que le mouvement rectiligne, étant donné qu'on peut géométriquement superposer deux segments d'un même cercle, comme on superpose deux segments d'une même droite ? Ou bien est-ce qu'il faudrait distinguer différentes espèces de mouvements circulaires, de sorte que, même sur terre, il y aurait certains mouvements circulaires qui se conserveraient[55] ? Beeckman envisage ces différentes possibilités, et on a pour tout dire le sentiment que, ayant à la fois le modèle de la fronde et la conviction qu'il n'y a pas de

53. 16 mars 1618, JB I, p. 167 : « *Nihil circulariter movetur, nisi, si super centro circumdatur, ut Sol, qui naturaliter non poteste longius a suo centro recedere. (…). Si lapidem rotae extrinsecus annectas unaque circumvolvas aliquoties, atque inter motum subito solvas, non movebitur circulariter, sed in rectum ad locum, ad quem eo momento quo solvebatur, spectabat. Unde etiam fit lapidem, in rota positum, e motu non excidere, quia semper rectitudinem spectat, premitque latera rotae intrinseca* ». Le modèle de la fronde se trouve aussi chez Benedetti, *Diversarum speculationum Liber*, cap. 14 et cap. 25, p. 159 et p. 184, tr. angl. *in* S. Drake et I.E. Drabkin, *Mechanics in Sixteenth-Century Italy. Selections from Tartaglia, Benedetti, Guido Ubaldo and Galileo*, London, The University of Wisconsin Press, 1969, resp. p. 186-187 et p. 217. Ce qui n'est pas dire que Beeckman l'emprunte à Benedetti, d'abord parce qu'il ne semble pas l'avoir lu avant 1633, ensuite parce que Copernic avait attiré l'attention sur les effets centrifuges et les modèles terrestres qu'on pouvait en donner (voir plus haut note 27).

54. 25 mars-2 avr. 1619, JB I, p. 282. 21 nov. 1629, JB III, p. 140. 10 oct. 1631, JB III, p. 217. 15-22 mai 1633, JB III, p. 279-280. 2 mai-7 juil. 1634, JB III, p. 344. *Passim*.

55. Juil. 1613-avr. 1614, JB I, p. 24. 23 nov.-26 déc. 1618, JB I, p. 253-257. 23 avr.-15 mai 1633, JB III, p. 272-273. Les entrées les plus importantes sont celles de l'hiver 1618, lors de la rencontre de Beeckman et de Descartes.

différence entre sublunaire et supralunaire, il n'avait que la conclusion à tirer – mais, justement, obsédé par le fait primitif qu'est pour lui le mouvement circulaire des astres, il ne la tire pas.

Nous sommes maintenant en mesure de conclure sur la dette de Descartes à l'égard de Beeckman. Il est vraisemblable que Descartes a trouvé chez Beeckman l'idée que le mouvement se conserve s'il n'y a pas de cause de changement et le modèle de la fronde, montrant que des corps mus circulairement s'échappent selon la tangente. Dès le *Monde* cependant, Descartes modifie le statut de ces énoncés. En premier lieu, il leur trouve un fondement métaphysique plus absolu selon lui que le principe de causalité, en les enracinant dans la nature immuable de Dieu. D'autre part, il en fait des lois de la nature, c'est-à-dire des propositions universelles auxquelles on doit en principe pouvoir réduire tous les phénomènes, y compris ce qui était chez Beeckman un fait primitif, le mouvement circulaire perpétuel des astres. En ce sens, il a tiré les conclusions que Beeckman n'avait pas tirées en leur donnant toute la généralité qui s'imposait.

Deux lois n'en font pas une

Identifier les deux lois de la nature cartésiennes à notre principe d'inertie, c'est commencer par passer sous silence un fait élémentaire : ce que nous considérons comme une seule et même loi se présente chez Descartes sous forme de deux lois distinctes et séparées. On pourrait y voir une anomalie formelle, une bizarrerie sans signification conceptuelle. En réalité, l'existence de deux lois est révélatrice d'une structure caractéristique de la conceptualisation cartésienne du mouvement, qui consiste à distinguer la « grandeur » du mouvement et sa « détermination » et qui intervient jusque dans l'explication de certains phénomènes concrets.

A la suite de Newton, c'est parce que nous considérons que le mouvement rectiligne uniforme est un état ontologiquement équivalent à l'état de repos que nous affirmons qu'un corps animé d'un mouvement rectiligne uniforme conserve ce mouvement

exactement comme un corps au repos demeure au repos [56]. En termes plus actuels, l'existence d'une loi et une seule chez Newton correspond au fait que la grandeur qui se conserve est une vitesse caractérisée à la fois par sa norme et par sa direction, l'une de ces grandeurs ne pouvant pas se conserver indépendamment de l'autre. Or, si c'est bien parce qu'il fait du mouvement un état (*status*) que Descartes proclame, dans la première loi de la nature, que le mouvement se conserve comme le repos, ce mouvement qui se conserve n'est aucunement déterminé en direction. La deuxième loi vient bien préciser que le mouvement tend à se faire en ligne droite, mais cette tendance n'est pas conceptuellement liée à l'idée que le mouvement est un état [57]. Autrement dit, l'existence de deux lois chez Descartes correspond à deux fondements conceptuels distincts : c'est bien parce qu'il est conçu comme un état que le mouvement se conserve, mais il s'agit d'un mouvement indéterminé en direction. Aussi faut-il un autre fondement pour garantir la persistance rectiligne, c'est la persistance de ce qui est donné dans l'instant ou de ce qui est mathématiquement simple. Si le mouvement rectiligne est simple, c'est qu'il est totalement défini dans l'instant : connaissant la direction d'un corps animé d'un mouvement rectiligne à un instant, on sait dans quelle direction il va à tout instant. En revanche, connaître la direction d'un corps animé d'un mouvement circulaire à un instant donné ne donne pas le mouvement dans sa totalité : si on se donne un point et une droite, on peut construire une infinité de cercles passant par ce point et ayant pour tangente cette droite [58].

56. L'idée développée dans ce paragraphe se trouve aussi dans A. Gabbey, « Force and Inertia ».

57. Nous avons pris l'habitude d'attribuer à Koyré le mérite de la distinction entre le mouvement-processus et le mouvement-état (voir ainsi *Études galiléennes*, p. 20-21, p. 102, p. 131, p. 162-163). Elle était déjà parfaitement claire dans Meyerson, *Identité et réalité*, p. 156-160.

58. La simplicité dont il est question ici n'est donc pas la simplicité ontologique dont il était question plus haut note 38 mais une simplicité mathématique. L'argument est pleinement développé dans le *Monde*, chap. 7, AT XI, p. 45. Les *Principia* remarquent simplement que, même si un corps a eu une trajectoire circulaire, on ne peut concevoir que quelque chose de cette courbe demeure dans ce corps quand il est en un point (*PP* II 39, AT VIII-1, p. 64). Sans doute est-ce très généralement que l'invocation de la simplicité rappelait trop les causes finales, et qu'évaluer la simplicité d'un mouvement selon le degré de l'équation de sa

L'existence de deux lois chez Descartes vient donc de ce qu'on pourrait appeler chez lui l'indétermination du mouvement comme tel : quoique tout mouvement actuel soit effectivement doué d'une direction déterminée, le mouvement en lui-même n'est pas dirigé : un mouvement peut se conserver alors que sa direction change. C'est également à cette indétermination du mouvement comme tel que renvoie la distinction que fait Descartes entre deux grandeurs, d'une part la « force du mouvement » (ou encore, sa terminologie n'étant pas fixée sur ce point, le « mouvement », la « force », la « motion », la « vitesse », la « quantité »), d'autre part la « détermination du mouvement »[59]. Or, et ce sera notre dernier pas, cette

trajectoire ne va pas de soi : pour Beeckman par exemple, le mouvement circulaire et le mouvement rectiligne sont exactement aussi simples parce qu'on peut superposer deux segments de cercle comme on superpose deux segments de droite (23 novembre-26 décembre 1618, JB I, p. 253). On notera d'ailleurs que les héritiers de Descartes se partageront sur ce point : Malebranche, *La Recherche*, VI-II chap. 4, p. 658, et 16 e écl., p. 1120-1121, rattache la loi de persistance rectiligne au grand principe de la simplicité des voies ; J. Rohault, *Traité*, I, chap. 3 § 4, p. 111, et surtout P.-S. Régis, *Système de philosophie concernant la logique, la physique et la morale,* New York-London, Johnson Reprint Corporation, 1970, I-II, chap. 14, tome I, p. 337-338, la subsument sous un principe général de conservation.

59. Pour des occurrences de cette distinction, voir *Dioptrique*, disc. second AT VI, p. 94, p. 97. A Mydorge, 1 er mars 1638, AT II, p. 17-18. A Mersenne, 11 mars 1640, 30 août 1640, 3 déc. 1640, 26 avr. 1643, resp. AT III, p. 37, p. 163, p. 250-251, p. 649. *PP* II 41, AT VIII-1. A Clerselier, 17 fév. 1645, AT IV p. 185. Les ambiguïtés de la notion de détermination sont analysées dans P. Costabel, « Essai critique sur quelques concepts de la mécanique cartésienne », dans *Démarches originales de Descartes savant*, Paris, Vrin, 1982, p. 141-146 ; A. I. Sabra,*Theories of Light from Descartes to Newton*, London, Oldbourne, 1967, p. 80-84 et p. 117-121. Gabbey, « Force and inertia », p. 248-261. Roux, *La Philosophie mécanique (1630-1690)*, thèse de doctorat non publiée, Paris, EHESS, 1996, p. 424-427. P. Mclaughlin, « Force, determination and impact », in *Descartes'natural Philosophy*, S. Gaukroger, J. Schuster et J. Sutton (ed.), London-New York, Routledge, 2000, p. 87-97. Sans les supprimer, on peut les résoudre par trois remarques. 1) La distinction entre force et détermination est une distinction de raison : en fait, il n'y a ni détermination sans mouvement ni mouvement sans détermination (A Mydorge, 1 er mars 1638, AT II, p. 17-18. A Mersenne, 3 déc. 1640, 4 mars 1641 et 21 avr. 1641, AT III, resp. p. 251, p. 325 et p. 355). 2) Un changement de mouvement implique un changement de détermination, mais tout changement de détermination n'implique pas un changement de mouvement : c'est par exemple le cas dans la réflexion (outre les textes indiqués à la note suivante, voir A Mersenne, 21 janv. 1641, AT III, p. 284). 3) Alors que la force ou le mouvement sont soumis à une règle de

distinction rend possible les explications que Descartes donne de phénomènes concrets comme le rebond et la dureté.

Lorsqu'un corps rebondit ou qu'un rayon lumineux se réfléchit ou se réfracte, il conserve selon Descartes sa force ou puissance de se mouvoir, mais est contraint par l'obstacle à changer sa détermination : la loi de conservation s'applique alors même que la direction du corps change. Force et détermination sont alors considérées comme deux grandeurs indépendantes, en ce sens que l'une peut changer sans que l'autre soit modifiée [60]. Cette explication serait donc impossible si un mouvement était par définition un mouvement déterminé dans telle ou telle direction. En ce sens, l'explication du rebond en mécanique et de la réflexion ou de la réfraction en optique repose, *via* la distinction entre la quantité du mouvement et sa détermination, sur l'indétermination du mouvement comme tel.

Cela est peut-être encore plus net dans le cas de la dureté. Descartes affirme en effet que la force réelle qui s'oppose à la séparation des parties d'un corps (et donc explique sa dureté) est le repos de ces mêmes parties. En effet, soutient-il en substance, si deux parties sont en repos l'un à côté de l'autre, il faut pour les séparer être capable de mouvoir l'une sans mouvoir l'autre ; si par contre ces deux parties sont déjà en mouvement, il suffit pour les séparer de modifier la détermination de l'une d'entre elles. Cela revient à supposer que la contrariété entre le mouvement et le repos est plus forte que la contrariété entre deux mouvements de déterminations distinctes. Ou pour dire la même chose de différentes manières : la modification d'une détermination coûte moins de force

conservation arithmétique, la composition des déterminations se fait selon la loi du parallélogramme, soit, en termes modernes, vectoriellement (*Dioptrique*, disc. 2, AT VI, p. 94-95).

60. *Dioptrique*, disc. 2, AT VI, p. 94 : « La puissance, telle qu'elle soit, qui fait continuer le mouvement de cette balle, est différente de celle qui la détermine à se mouvoir plutôt vers un côté que vers un autre (…). Il n'est pas impossible (…) que la détermination qu'elle [une balle] avait à tendre vers B soit changée, sans qu'il n'y ait rien pour cela de changé en la force de son mouvement, puisque ce sont deux choses diverses ». Voir également : *ibid.*, p. 97. *Monde*, chap. 2, AT XI, p. 89. A Mersenne, 11 mars et 30 août 1640, AT III, resp. p. 37 et p. 163. A Mersenne pour Hobbes, 21 avr. 1641, AT III, p. 355. Comme l'indique le point 2) de la note précédente, Descartes ne considère pas toujours force et détermination comme des grandeurs indépendantes.

que la création d'un mouvement, la détermination a une moindre densité ontologique que les états de mouvement ou de repos, les changements de direction sont des pseudo-changements, c'est-à-dire des changements sans action qui produise le changement [61].

On conclura donc ce premier point en disant que trois éléments sont solidaires dans le système physique cartésien : l'existence de deux lois de la nature, un concept de mouvement conduisant à distinguer sa force et sa détermination, l'explication de certains phénomènes concrets enfin [62].

La loi de conservation du mouvement

Pour mettre en valeur la différence entre la loi de conservation cartésienne et le principe d'inertie newtonien, on commencera par rappeler brièvement que le principe d'inertie newtonien va de pair avec un certain concept de force ; ensuite, on s'attardera à caractériser le concept de force propre aux *Principia philosophiae* ; de la différence entre ces concepts de force, on inférera enfin que la loi de conservation cartésienne du mouvement et le principe d'inertie newtonien ne sont pas identiques [63].

Comme on l'a rappelé plus haut, la première loi des *Principia mathematica* pose que le mouvement rectiligne uniforme et le repos sont des états au sens fort du terme, qui se conservent d'eux-mêmes ; en particulier, aucune force n'est nécessaire pour expliquer qu'un corps persiste dans son état de mouvement rectiligne uniforme [64]. Corrélativement, Newton détermine de manière néga-

61. A Mersenne, 11 juin 1640, AT III, p. 75 : « il ne faut proprement de force que pour mouvoir les corps, et non pour déterminer le côté vers lequel ils se doivent mouvoir, car cette détermination ne dépend pas tant de la force du moteur, que de la situation, tant de ce moteur que des autres corps circonvoisins ». Pour une argumentation détaillée, voir Roux, *La Philosophie mécanique*, p. 424-431.

62. Il est question ici seulement de deux conséquences physiques de la distinction entre force et détermination ; sur la manière dont certains cartésiens l'exploitent pour ménager une place à la liberté dans un monde où le mouvement se conserve, voir Roux, *La Philosophie mécanique*, p. 431-433.

63. Ici encore, Gabbey « Force and inertia » a ouvert la voie.

64. Sur l'évolution qui a mené Newton à cette conceptualisation, voir plus bas note 115.

tive ce qu'il appelle une « force imprimée » : c'est ce qui n'agit pas sur un corps lorsque celui-ci est dans la situation de référence que constitue l'état inertiel. Par conséquent, imprimer une force à un corps, c'est le faire dévier par rapport à cette situation de référence : la deuxième loi de Newton permet de déterminer quantitativement la force imprimée en posant qu'elle est proportionnelle au changement de mouvement. Pour récapituler donc, l'état inertiel est, pour Newton, une sorte d'état neutre, de degré-zéro du mouvement par rapport auquel on peut définir la force imprimée comme déviation. Si, privilégiant ce qui est effectivement opératoire dans la physique newtonienne, on laisse de côté le problème notoire du statut ontologique des entités en jeu, on dira que le mouvement actuel d'un corps résulte de la composition de son mouvement inertiel et du mouvement que lui ont imprimé certaines forces [65].

Le concept de force que Descartes met en place dans le livre II de ses *Principia philosophiae* est bien différent [66]. Il donne une première indication sur la force à l'article 25 : la force se trouve dans ce qui meut, contrairement au mouvement, qui se trouve dans le mobile [67]. C'est en particulier dire que, lorsqu'elles sont appliquées à un corps en mouvement, les expressions « force de mouvement », « force de persister dans son mouvement », n'ont pas de signification spécifique : « force » est alors seulement un autre nom pour désigner le mouvement même de ce corps en tant qu'il se conserve d'instant en instant. Aussi faut-il se placer dans la perspective de ce qui meut et

65. Sur le problème ontologique, voir Gabbey, « Force and inertia », p. 240-243. E. McMullin, *Newton on Matter and Activity*, Notre Dame-London, Notre Dame University Press, 1978, p. 33-56.

66. Le *Monde* passant plus rapidement sur les échanges du mouvement, il ne construit pas de concept de force spécifique. Notre analyse se concentre sur *PP* II ; elle n'est pas incompatible avec la lettre à More d'août 1649, AT V, p. 403-404. Pour une énumération des usages de « force » chez Descartes, voir R. Westfall, *Force in Newton Physics. The Science of Dynamics in the 17th Century*, London-New York, MacDonald-Elsevier, 1971, p. 529-533, qui soutient à tort que le seul concept de force chez Descartes se trouve dans sa statique.

67. *PP* II 25, AT VIII-1, p. 54 : « *Et dico [motum] esse translationem, non vim, vel actionem quae transfert, ut ostendam illum semper esse in mobili, non in movente, quae haec duo non satis accurate solent distingui* ».

qui cause le mouvement si on veut comprendre ce qu'est la force à proprement parler.

C'est ce que fait l'article II 36 ; plus précisément, il distingue deux manières d'être cause du mouvement : l'une, « universelle et première, qui est la cause générale de tous les mouvements qui sont dans le monde », l'autre, « particulière, par laquelle il se produit que les parties de la matière prises une à une acquièrent des mouvements, qu'elles n'avaient pas auparavant ». La suite de l'article indique que la cause du mouvement dans le premier sens est Dieu en tant qu'il conserve tout ce qu'il a créé, autrement dit tout ce qui est. De l'autre manière de causer le mouvement, l'article II 36 ne dit rien sinon qu'elle intervient lorsqu'un corps acquiert un mouvement qu'il n'avait pas [68]. Il y a donc tout lieu de penser que cette notion a quelque chose à voir avec la troisième loi de la nature, qui statue sur la manière dont des corps qui se rencontrent échangent du mouvement et, pour certains, en acquièrent, pour d'autres, en perdent. De fait, la troisième loi, qui contient toutes les causes des changements corporels, fait dépendre la manière dont se fait un échange de mouvement entre deux corps de leur plus ou moins grande force respective [69]. De façon tout à fait conséquente, les articles spécifiant cette troisième loi reprennent de manière systématique les caractéristiques de ce qu'on appellera la notion physique de force :

– Quant à son statut ontologique. Le corps A est dit posséder une certaine force du point de vue d'un autre corps B, en tant que A modifie le mouvement de B ; mais si, oubliant le corps B, nous nous plaçons dans la perspective du corps A, cette force n'est rien d'autre que le fait que A conserve son mouvement : c'est en tant que

68. *PP* II 36, AT VIII-1, p. 61. En superposant des oppositions usuelles chez les scolastiques en matière de causalité (cause première et causes secondes, cause universelle et causes particulières, cause selon l'être et cause selon le devenir), l'article II 36 génère plus d'ombres que de lumière. En particulier, si Dieu est la cause première ou selon l'être, l'autre manière d'être cause devrait se rapporter à l'ensemble des trois lois de la nature, et non seulement à la manière dont un corps acquiert un mouvement qu'il n'avait pas auparavant, autrement dit à la troisième loi.

69. *PP* II 40, AT VIII-1, p. 65 : « Tertia lex : quod unum corpus, alteri fortiori occurendo, nihil amittat de suo motu ; occurendo vero minus forti, tantum amittat, quantum in illud transfert. (…). *Omnes causae particulares mutationum, quae corporibus accidunt, in hac tertia lege continentur* ».

chaque corps conserve son mouvement qu'il peut en venir, lorsqu'il rencontre un autre corps, à avoir la force de le mouvoir. La notion physique de force ne se réfère donc pas à un nouvel être : elle n'est que le mouvement d'un premier corps vu dans la perspective d'un second corps, au moment où le mouvement du second est modifié par le mouvement du premier [70].

– Quant à son évaluation. Si la notion physique de force ne se réfère pas à un être primitif, son évaluation doit se dériver de la mesure d'autres grandeurs ; si cette notion est définie seulement au moment de la rencontre de deux corps, son évaluation doit décrire cette relation instantanée. De fait, les quatre paramètres (grandeur, surface de contact, vitesse, direction) que Descartes met en place permettent de décrire le rapport entre les forces respectives de deux corps, à l'instant où ils sont confrontés [71].

– Quant à sa fonction. La troisième loi fait dépendre l'échange de mouvement entre deux corps de leur plus ou moins grande force respective. Il en sera de même dans les règles du mouvement qui déclinent les différents cas possibles de rencontre : c'est le rapport

70. *PP* II 43, AT IX, p. 88 : « *Hic vero diligenter advertendum est, in quo consistat vis cujusque corporis ad agendum in aliud, vel ad actioni alterius resistendum : nempe in hoc uno, quod unaqueque res tendat, quantum in se est, ad permanendum in eodem statu in quo est, juxta legem primo positam* ». Ce texte est commenté par Gabbey, « Force and Inertia », p. 293-296, et par Séris, *Machine et communication*, Paris, Vrin, 1987, p. 225-227. Nous laissons ici de côté la question du statut ontologique de la force chez Descartes soulevée par M. Gueroult, « Métaphysique et physique de la force chez Descartes et chez Malebranche », *Revue de métaphysique et de morale*, 59, 1954. Gabbey, « Force and inertia », p. 233-239. Garber, *Descartes*, p. 290-299. D. Des Chene, *Natural Philosophy in Late Aristotelian and Cartesian Thought*, Ithaca-London, Cornell University Press, 1996, p. 213-341. Pour le dire en deux mots : 1) ce problème ontologique existe seulement si l'on considère qu'il est impossible d'avoir d'un même être (la force) deux notions relevant de registres distincts (la physique et la métaphysique) ; or, selon nous, cela ne pose pas de problème à Descartes, contrairement à ce qu'il en sera pour Leibniz par exemple. 2) il y a bien un problème ontologique dans la physique cartésienne, mais c'est celui des lois de la nature et non des forces : comment des mouvements peuvent-ils se conformer à des lois qui ne peuvent pas être des causes, puisque seul le mouvement est cause de mouvement ?

71. *PP* II 43, AT VIII-1, p. 67 : « *Visque illa debet aestimari tum a magnitudine corporis in quo est, et superficiei secuundum quam istud corpus ab alio disjungitur, tum a celeritate motus, ac natura et contrarietate modi, quo diversa corpora sibi mutuo occurunt* ».

des forces des deux corps à l'instant où ils se rencontrent qui détermine la manière dont ils échangent leurs mouvements [72].

Pour récapituler, dans le livre II des *Principia philosophiae*, la force apparaît tout d'abord comme un nom ou une notion métaphysique : dans le corps en mouvement, la force est seulement un nom, l'autre nom du mouvement en tant qu'il se conserve ; au-delà des corps, il y a une notion métaphysique de la force, c'est l'action par laquelle Dieu crée et conserve toutes choses. Mais il existe aussi une notion physique de la force. Celle-ci ne se réfère pas à une entité ontologiquement séparée, encore moins est-ce la manifestation du métaphysique dans le physique même, c'est l'expression du rapport instantané de deux corps en mouvement qui se rencontrent et se confrontent l'un à l'autre. Pour n'être pas un être primitif, la force n'en a pas moins une fonction physiquement décisive : elle détermine les corps à suivre telle procédure d'échange de mouvement plutôt que telle autre. La force physique chez Descartes ne correspond donc pas à une force motrice que le corps acquérerait et qui le ferait conséquemment dévier de son état de mouvement inertiel ; elle ne se communique pas, elle ne meut pas les corps, elle n'agit pas sur eux [73].

Si maintenant on se demande ce qui tient le rôle de la force imprimée newtonienne chez Descartes, autrement dit ce qui fait qu'un corps dévie du mouvement qu'il avait initialement, on ne trouve rien d'autre dans les *Principia philosophiae* que la loi de conservation [74]. Ce qui veut dire que la loi de conservation cartésienne ne décrit pas comme le principe d'inertie newtonien un degré-zéro de mouvement, une situation neutre que viendrait perturber l'action d'autres entités, les forces imprimées. La loi de conservation cartésienne est la loi suprême du monde cartésien. C'est conformément à cette loi qu'un corps a la force de persister dans son état, mais aussi

72. *PP* II 45, AT IX, p. 89 : « *Et quibus ut possimus determinare, quo pacto singula corpora motus suos augeant vel minuant, vel in alias partes convertant, ob aliorum corporum occursus : oportet tantum calculo subducere, quantum in unoquoque sit virium, sive ad movendum, sive ad motui resistendum* ». Pour une présentation des règles du choc dans les *Principes*, voir par ex. Garber, *Descartes*, p. 234-243. De Buzon et Carraud, *Descartes*, p. 108-116.

73. Séris, *Machine et communication*, p. 226-232, a de belles formules sur ce thème.

74. L'énoncé de cette loi est donné plus haut, note 69.

la force de résister aux changements que voudraient lui imposer les autres corps. Et, comme on vient de le voir, l'issue d'une rencontre entre deux corps dépend du rapport instantané de leurs forces. En ce sens, la loi de conservation explique non seulement la conservation des mouvements, mais aussi leurs changements ; elle rend compte non seulement du comportement individuel d'un corps, mais de son interaction causale avec d'autres corps.

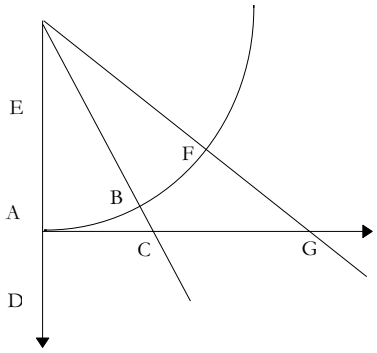
Pour montrer que, ici aussi, ces considérations sur les principes ont des conséquences concrètes dans l'explication des phénomènes, on peut penser à la manière dont un cartésien, Cordemoy, utilise la loi de la conservation pour rendre compte de l'élasticité d'une lame. Il affirme tout d'abord que, lorsque la lame se déforme, les pores de sa face interne sont rétrécis, ceux de sa face externe élargis. Si maintenant, continue-t-il, la lame revient à sa forme initiale, c'est que la matière subtile qui passe continuellement dans ces pores doit, pour persévérer dans son mouvement en ligne droite, rééquilibrer la grosseur des pores [75]. Le mouvement de la matière subtile n'est pas ici un mouvement inertiel, un état neutre équivalent au repos : c'est un mouvement qui est capable non seulement de se maintenir, mais de se rétablir quand il est perturbé, voire d'agir sur les autres corps pour cela.

La loi de tendance rectiligne

La deuxième loi de la nature est que tout corps tend à se mouvoir en ligne droite ; étant donné le long privilège du mouvement circulaire, c'est cela qui a été célébré comme véritablement nouveau chez Descartes. Comme on sait, pour illustrer cette loi de la nature, Descartes fait de la fronde un modèle : lorsque la pierre A

75. G. Cordemoy, *Six Discours sur la distinction et l'union du corps et de l'âme*, *Œuvres philosophiques*, P. Clair et F. Girval (éd.), Paris, P.U.F., 1968, p. 126 : « la matière subtile, qui y coule incessamment, rencontrant le côté de chaque pore, qui est le plus ouvert, s'y insinue abondamment, et trouvant l'autre côté plus étroit, elle fait un effort continuel pour écarter les parties ainsi rapprochées, et continuer son cours en ligne droite. Ce qui ne peut se faire qu'en redressant cette lame, c'est-à-dire, en remettant toutes ses parties en leur première situation ». Même si Descartes n'explique pas l'élasticité par la conservation du mouvement, ce phénomène ne l'en contraint pas moins à revenir à l'idée que les corps ont un état naturel et ordinaire (A Mersenne, 29 janvier 1640, AT III, p. 8-9. *PP* IV 132, AT VIII-1, p. 274-275).

tourne dans la fronde EA (voir la figure ci-dessous), elle est déterminée à se mouvoir selon AC, tangente au cercle EA au point A, et on fait effectivement l'expérience de ce mouvement tangentiel lorsque la pierre quitte la fronde [76]. De là résulte que tout corps qui se meut en cercle tend à s'éloigner du centre de ce cercle, et nous sentons de la main cet effort centrifuge lorsque nous faisons tourner la pierre [77].



Dans ce qui suit, nous analyserons tout d'abord la différence entre la décomposition cartésienne et la décomposition newtonienne ; nous attachant une fois de plus à la physique concrète de Descartes, nous montrerons ensuite que, si la loi de la persistance de la tendance rectiligne se rapporte à une tendance tangentielle, ce qui est en pratique opératif dans la physique cartésienne, c'est l'effort centrifuge.

Quand nous voyons aujourd'hui le schéma ci-dessus, nous pensons immédiatement à une décomposition vectorielle de type newtonien, $\overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CB} = \overrightarrow{AB}$ [78]. Selon cette décomposition vectorielle, le

76. *PP* II 39, AT VIII-1, p. 64 : « *Ut exempli causa, lapis A, in funda EA per circulum ABF rotatus, eo instanti, quo est in puncto A, determinatus quidem est ad motum versus aliquam partem, nempe secundum lineam rectam versus C, ita scilicet ut linea recta AC sit tangens circuli (…). Hocque etiam experientia confirmatur, quia si tunc e funda egrediatur, non perget moveri versus B, sed versus C* ».

77. *PP* II 39, AT VIII-1, p. 64 : « *Ex quo sequitur, omne corpus quod circulariter movetur, perpetuo tendere ut recedat a centro circuli quem describit. Ut ipso manus sensu experimur in lapide, dum illum funda circumagimus* ».

78. On touche ici évidemment au cas, bien connu des historiens des mathématiques, où l'introduction d'un langage symbolique conduit à la création

mouvement effectif circulaire résulte de la composition de deux forces, l'une selon $\overrightarrow{AC}$, l'autre selon $\overrightarrow{CB}$. Si le corps n'était pas attaché à une corde, mais isolé, il se mouvrait inertiellement selon $\overrightarrow{AC}$; mais à chaque instant, une force centripète $\overrightarrow{CB}$ vient retirer le corps de sa trajectoire rectiligne : conséquemment, il se meut le long du cercle AB. Newton considère donc des forces qui, se composant, engendrent la trajectoire AB.

Pour Descartes, l'effort centrifuge ne se compose pas avec la tendance tangentielle, il en est la conséquence dans une situation de contrainte [79]. Considérant le mouvement circulaire selon AB comme donné, autrement dit considérant qu'un corps se meut dans une situation de contrainte, il raisonne en effet de la manière suivante. Lorsque le corps se meut circulairement selon AB, il est contraint à n'actualiser qu'une partie de son mouvement naturel, qui est le mouvement selon la tangente AC ; mais en lui-même il n'en tend pas moins vers ce mouvement naturel : aussi lui reste-t-il une partie de son mouvement, qui se manifeste sous la forme de l'effort centrifuge BC [80]. La décomposition à laquelle Descartes procède est donc bien une décomposition quantitative, mais elle n'a rien à voir avec la décomposition vectorielle newtonienne : pour Descartes, la tendance tangentielle selon AC est composée de l'effort circulaire AB et de l'effort centrifuge BC non pas parce qu'en ajoutant proto-

d'artefacts. Pour des études exemplaires de ce cas, voir Caveing, « Qu'est-ce qu'un artefact en histoire des sciences ? » et Goldstein, *Un Théorème de Fermat*.

79. *PP* II 39, AT VIII-1, p. 64 : « *Ex quo sequitur (…)* ». « ce qui nous fait voir manifestement » dit moins nettement le français. Westfall, *Force*, p. 78-82 et p. 93-94, n. 52, semble parfois aller dans le même sens que nous.

80. *PP* II 57, AT VIII-1, p. 108-109 : « *(…) lapis A (…) tendit quidem ab A versus B, si omnes causa, quae occurunt ad ejus motum determinandum, simul spectentur (…). Sed si respiciamus ad solam vim motus quae in ipso est, dicemus illum (…) tendere versus C (…). Si denique non respiciamus ad totam istam vim motus, sed tantum ad illam ejus partem quae a funda impeditur, eam scilicet distinguentes ab alia ejus parte quae sortitur suum effectum, dicemus hunc lapidem (…) tendere tantum versus D* ». Plus clairement encore dans le *Monde*, chap. 13, AT XI, p. 85 : « Imaginez l'inclinaison qu'a cette pierre à se mouvoir d'A vers C, comme si elle était composée de deux autres, qui fussent, l'une de tourner suivant le cercle AB, et l'autre de monter tout droit suivant [BC] ». Descartes se donne le droit de décomposer à sa guise les mouvements existants **(***Dioptrique*, disc. 2, AT VI, p. 94-95, *PP* II 32, AT VIII-1, p. 80-81), mais le problème est ici différent : il s'agit de décomposer une tendance non actualisée.

vectoriellement AB et BC on obtiendrait AC, mais parce que BC est la partie restante de AC, celle qui ne peut s'actualiser dans la situation de contrainte où l'on s'est initialement placé. Comme on l'a remarqué plus haut à propos de l'explication de l'élasticité proposée par Cordemoy, la tendance naturelle du corps à se mouvoir selon la droite AC n'est donc pas un état neutre, mais une situation privilégiée que le corps tend à rétablir.

On relèvera au passage ce qu'il faut bien appeler une erreur de Descartes, qui vient probablement de ce que, une fois qu'il a donné une représentation géométrique du mouvement, celle-ci prend le pas sur le mouvement même [81]. « Tendre à un mouvement tangentiel », cela signifie ici tendre vers la représentation de ce mouvement, autrement dit vers la droite AC, qui devient ainsi une sorte de référence absolue. Cela est particulièrement net en *PP* III 58 et 59, où Descartes, cherchant à décrire plus précisément et à évaluer quantitativement l'effort centrifuge, recourt à des comparaisons. Il compare ainsi l'effort centrifuge au mouvement que ferait une fourmi qui, marchant sur la règle EA alors que cette dernière tourne, réussirait à proportionner son pas au mouvement de la règle de manière à aller de A en C, puis en G, etc. [82]. Cela le conduit à remarquer que, lorsque la règle est en F, la fourmi doit marcher bien plus vite que lorsqu'elle est en B, jusqu'à, mais cela Descartes ne le dit pas, avoir une vitesse infinie lorsque la règle est parallèle à AC [83]. Comment ne pas voir qu'ici la représentation géométrique l'emporte sur l'analyse instantanée du mouvement ? En effet, la tangente au

81. En règle générale, les érudits cartésiens ont négligé l'analyse des représentations au profit de l'étude des textes ; Mclaughlin, « Force », p. 90, relève cependant l'ambiguïté de certaines représentations cartésiennes en optique.

82. Pour éviter toute connotation animiste, conformément aux recommandations de *PP* III 56, l'article 59 remplace la fourmi par une boule.

83. Les mouvements de la fourmi et de la règle sont « *contemperati* (proportionnés l'un à l'autre) ». Garber, *Descartes*, p. 223-224, remarque que cela conduit à attribuer à la fourmi une vitesse infinie sur la droite parallèle à AC, mais sans dire que c'est une conséquence de la prééminence de la représentation géométrique, et, pour barbariser, de l'absolutisation de la droite AC. Similairement, lorsque Galilée analyse la force centrifuge, son intuition physique se dégrade en représentation géométrique (Clavelin, *La Philosophie naturelle*, p. 247) ; le parallèle nous emmènerait trop loin.

point A n'a physiquement aucune raison d'être privilégiée, ce qu'il faudrait considérer, c'est la tangente en chaque point de la trajectoire.

Pourquoi maintenant Descartes attire-t-il l'attention sur cette conséquence de la loi de la persistance de la tendance centrifuge ? Dans les *Principia,* il n'y a pas un seul article où il ait besoin de la tendance tangentielle comme telle pour expliquer un phénomène naturel. Il se sert en revanche d'une conséquence de la tendance tangentielle, à savoir l'existence d'un effort centrifuge, pour expliquer la formation du monde, en particulier l'apparition de tourbillons, et les phénomènes qu'on y trouve aujourd'hui : principalement la lumière, mais aussi la pesanteur et le magnétisme [84]. Pour aller directement au phénomène le plus remarquable, l'explication que Descartes propose de la lumière repose sur l'idée que les parties du soleil, étant animées d'un mouvement circulaire, ont une tendance centrifuge ; comme le monde est plein, cette tendance ne s'actualise pas, elle ne devient pas mouvement effectif, mais demeure à l'état d'« effort » qui se propage de proche en proche jusqu'à nos yeux et c'est cet effort qui, selon Descartes, constitue ce que nous appelons lumière [85].

En fait, si l'on veut bien suivre le détail du texte des *Principia*, on s'aperçoit que l'explication du phénomène lumineux l'emporte sur la seconde loi, et, conséquemment, que l'effort centrifuge prend le pas sur la tendance tangentielle. L'explication du phénomène lumineux l'emporte sur la seconde loi : plus exactement, il faudrait dire que, non seulement l'analyse de l'effort centrifuge a pour contexte de découverte l'explication de la lumière, mais que la dissociation entre

84. En laissant de côté la correspondance, on trouve deux explications de la pesanteur chez Descartes : la première repose sur la notion de pression (*PP* IV 20) ; la seconde, sur la notion d'effort centrifuge (*PP* IV 21-23, mais également *Monde*, chap. 11). Pour leur analyse et leur comparaison, voir Roux, *La Philosophie mécanique*, p. 531-544. La force centrifuge fait sortir le premier élément d'un tourbillon par ses pôles et le fait entrer dans un autre tourbillon par ses écliptiques (*PP* III 69-71) ; des petites parties cannelées se forment dans ce passage d'un tourbillon à un autre (*PP* III 89) ; ces petites parties cannelées expliquent toutes les propriétés de l'aimant (*PP* IV 146-183).

85. Pour une analyse de l'usage de l'effort centrifuge dans l'explication de la lumière, voir Roux, *La Philosophie mécanique*, p. 496-507.

cette application particulière et la théorisation abstraite de la notion d'effort n'a jamais été totalement opérée par Descartes [86]. C'est en effet à propos de la lumière que Descartes propose en *PP* III 56-59 le petit traité de l'effort centrifuge qu'il avait annoncé en *PP* II 39, et, de l'annonce au traité, il y a identité des figures et continuité des concepts. L'effort centrifuge prend le pas sur la tendance tangentielle : conformément à ce qui vient d'être dit, l'énoncé de la seconde loi est repris et celle-ci est désignée explicitement comme une « loi de la nature » seulement deux fois, et c'est dans les articles consacrés à l'explication de la lumière [87]. Or, si, dans une de ces occurrences, c'est la tendance tangentielle qui est qualifiée de « loi de la nature » [88], dans l'autre, c'est bien l'existence d'un effort centrifuge [89].

Encore une fois, nous sommes loin de Newton : ce dernier peut bien s'intéresser au mouvement de la lumière, ses lois du mouvement n'en sont pas moins faites pour rendre compte du mouvement des projectiles, non pour expliquer l'engendrement de la lumière. Ainsi, derrière la quasi-identité de formulation, voire de description dans le cas de certains phénomènes, on découvre une différence de signification qui a pour origine le contexte théorique dans lequel les énoncés apparaissent, en entendant par « contexte théorique » d'un

86. Ceci est également noté par Garber, *Descartes*, p. 210 et p. 225.

87. Cet argument gagne du poids si on relève systématiquement les occurrences de l'expression « *lex naturae* » dans les deux derniers livres *Principia* : elle se réfère ou bien à l'idée générale d'une légalité universelle (III 41, AT VIII-1, resp. p. 98), ou bien à un énoncé spécifique, et c'est alors exclusivement à propos d'une des trois lois du livre II (outre les occurrences citées aux deux notes suivantes pour la loi 2, voir, pour la loi 1, *PP* III 22 et IV 29, *ibid.*, resp. p. 87 et p. 218, pour la loi 3, III 65-66, III 73, III 88, III 155, *ibid.*, resp. p. 117-118, p. 127, p. 144, p. 201, et, pour l'ensemble des trois lois, III 47-48, III 146, *ibid.*, resp. p. 101-103, p. 195).

88. *PP* III 57*,* AT VIII-1, p. 108-109 : « *dicemus illum (…) tendere versus C, juxta legem motus supra expositam* ».

89. *PP* III 55*,* AT VIII-1, p. 108 : « *Ea enim est lex naturae, ut corpora omnia quae in arbem aguntur, quantum in se est, a centris sui motus recedant* ». Dans le même ordre d'idée, alors que « *conatus recedendi a centro* » était l'expression technique utilisée par Descartes à propos de l'effort centrifuge (*PP* III 55-60, AT VIII-1, p. 109-112), ses successeurs écrivent parfois que l'effort tangentiel d'un corps le fait s'éloigner du centre, et veulent tirer directement de cet effort l'explication de la pesanteur (Rohault, *Traité*, I, chap. 13 § 7, tome I, p. 112 et II, chap. 28, § 7, tome II, p. 131 ; Régis, *Système*, I-II, chap. 14 et chap. 16-28, tome I resp., p. 339 et p. 436-480).

principe non seulement les concepts auxquels il s'articulent, mais aussi l'ensemble des occurrences de ce principe, ce qu'on appelle usuellement ses « applications ». Le terme « application » est d'ailleurs maladroit car il renvoie à des énoncés qui seraient déduits mécaniquement d'une série de principes établis en général, de même que, du moins dans l'image idéale qu'on a des mathématiques, les théorèmes sont déduits des axiomes. En réalité, les applications d'un principe aux phénomènes révèlent quelque chose qu'on ne lit pas immédiatement dans la formulation générale du principe, et, dans certains cas, constituent un contexte indispensable pour comprendre non seulement l'élaboration de ce principe, mais aussi sa signification. Et sans doute cela vaut-il en partie des théorèmes par rapport aux axiomes, mais ce serait une autre histoire.

GALILÉE ET DESCARTES

En prenant un peu de distance, on pourrait dire qu'on a rencontré deux cas de figure inversés : Galilée formule un principe de conservation qui n'est pas le principe d'inertie, mais certaines de ses analyses locales seront directement insérées dans la science du mouvement qui est en train de naître, quand elles ne la féconderont pas ; Descartes semble donner du principe d'inertie une formulation claire et distincte, mais le contexte théorique qui a rendu cette formule possible n'est pas conceptuellement homogène à celui de la première loi des *Principia mathematica* de Newton. Du point de vue de la structure des théories scientifiques, la condition de possibilité de telles inversions est l'existence de différents éléments dans le feuilletage des textes scientifiques. Une distinction de ce genre réveillera peut-être quelques souvenirs épistémologiques.

Un des points décisifs de l'épistémologie de Canguilhem fut en effet, dès *La Formation du concept de réflexe*, de marquer la différence entre la formation d'un concept et son inscription dans une théorie : le paradoxe du concept de réflexe, c'est en effet qu'il se forme dans un contexte vitaliste, non seulement distinct de la théorie mécaniste dans lequel il se développera ensuite, mais hétérogène à elle. Dès lors, soulignait Canguilhem, l'unité épistémologiquement pertinente pour l'épistémologue, ce n'est pas la théorie, mais bien plutôt le concept, surtout lorsqu'il s'agit d'un concept théoriquement

polyvalent, c'est-à-dire susceptible de passer d'une théorie à l'autre [90]. De manière similaire, dans un des textes où il retravaille la notion notoirement ambiguë de paradigme, Kuhn met en place une distinction entre formulations symboliques et cas concrets exemplaires. Partant de la différence qui existe entre la connaissance des formules symboliques présentes dans une théorie et la capacité à les appliquer à la résolution de problèmes concrets, Kuhn soutenait que ce ne sont pas les formulations symboliques qui permettent de faire de la science, mais le maniement de ce qu'il appelait alors des « *exemplars* »; nous aurions, ajoutait-il, une capacité cognitive générale à reconnaître le semblable, qui nous permettrait d'étendre ce que nous avons compris sur des cas concrets exemplaires à d'autres cas vus comme semblables [91]. De même que Canguilhem, polémiquant contre la valorisation indue des théories, était conduit à faire du concept le lieu vif de la problématisation scientifique, de même, Kuhn, polémiquant contre l'idée qu'il existerait des règles de correspondance explicites permettant de dériver les applications des généralisations symboliques, insistait sur l'importance des cas concrets exemplaires. Pour nous, il ne s'agit pas tant de déterminer ce qui importe le plus des théories, des concepts, des formulations générales et applications locales ou des cas concrets exemplaires, et de bien d'autres choses encore, que de reconnaître que la constitution historique des sciences en passe par la mise en place et l'articulation effective de ces différents éléments.

Maintenant, dans le cas qui nous occupe, comment donc ces éléments en sont-ils venus à s'articuler? La formulation cartésienne est-elle restée enracinée dans la singularité irréductible de son réseau conceptuel ou bien a-t-elle été épurée d'applications difficilement compatibles avec la nouvelle science du mouvement? Inversement, les analyses de cas concrets exemplaires qu'on trouve chez Galilée sont-ils demeurés en l'état d'énoncés locaux, ou bien ont-ils acquis la généralité qu'on attend des principes? En un mot, comment ces

90. G. Canguilhem, *La Formation du concept de réflexe au XVII^e et XVIII^e siècles*, Paris, P.U.F., 1955, p. 3, p. 6, *passim*.

91. Kuhn, « En repensant aux paradigmes », p. 396-397 et p. 406-410. Cette acception de « paradigme » apparaît dans *La Structure des révolutions scientifiques* (1962, 1970), trad. fr. par L. Meyer, Paris, Flammarion, 1983., p. 76.

éléments en sont-ils venus à jouer historiquement ensemble – et comment se fait-il aussi que nous soyons si fortement tentés d'attribuer le principe d'inertie à Galilée et à Descartes : s'agit-il d'un anachronisme comme il y en a tant en histoire des idées ?

L'école galiléenne

La dernière de ces questions n'avait pas échappé à Koyré. Après avoir dûment exposé que le mouvement qui se conserve est circulaire selon Galilée, il s'interroge : comment se fait-il donc que la conception d'un mouvement inertiel rectiligne ait été si évidente après Galilée qu'on a cru la trouver chez lui ? La réponse n'est pas douteuse selon Koyré : puisque l'obstacle avait été pour Galilée qu'il concevait la gravité comme force interne, il serait nécessaire et suffisant, une fois le principe de la conservation acquis, de se débarrasser de cette conception pour être en mesure de formuler le principe d'inertie. Ce serait cette voie qu'auraient empruntée Cavalieri et Torricelli, et que Gassendi aurait parcourue jusqu'à son terme en posant un principe de conservation du mouvement rectiligne avant même la publication du *Monde* de Descartes [92].

De fait, on trouve chez les successeurs et disciples de Galilée une floraison d'énoncés concernant la conservation du mouvement [93]. Buonaventura Cavalieri pose, dans un ouvrage publié en 1632, qu'un corps projeté dans une direction quelconque conserverait, s'il n'y avait pas d'autre force motrice, son mouvement rectiligne uniforme [94]. Dans une lettre à Galilée de 1639, Giovan Battista

92. Koyré, *Études galiléennes*, p. 292 *sq.*, et surtout, pour Gassendi, le développement p. 304-317, qui se conclut par les phrases suivantes : « On est loin sans doute de la clarté, et de la profondeur métaphysique de Descartes. Mais on est loin également des hésitations d'un Galilée (…). L'élimination consciente de la notion de l'*impetus*, la possession d'une théorie de la pesanteur et la géométrisation définitive de l'espace permettent à Gassendi de franchir les bornes qui avaient arrêté ces deux grands esprits ».

93. Les textes signalés dans les notes suivantes sont cités ou traduits dans Koyré, *Études galiléennes*, p. 293-304. S. Moscovici, *L'Expérience du mouvement. Jean Baptiste Baliani disciple et critique de Galilée*, Paris, Hermann, 1967, p. 160-165. Damerow *et al.*, *Exploring the Limits*, p. 274-275 et p. 361-363.

94. B. Cavalieri, *Lo Speccio Ustorio, overo trattato delle settioni conice,* Bologna, Clemente Ferroni, 1632, cap. 39, p. 153 : « *considerato il mobile che da un proiciente viene*

Baliani suggère de prendre comme principe la conservation du degré de vitesse qui a été imprimé de manière indélébile à un corps, et c'est bien le statut que lui-même accorde dans la deuxième édition de son *De Motu naturali gravium* (1646) à un énoncé sur la conservation de l'*impetus*[95]. Enfin, dans son *De Motu projectorum* (1644), Evangelista Torricelli affirme que, sans la traction de la gravité, un corps projeté dans une direction quelconque conserverait son mouvement rectiligne uniforme[96].

Mais ces énoncés marquent-ils bien un progrès par rapport à ceux de Galilée? Koyré lui-même, hésitant entre ce qu'une formule signifie objectivement (pour nous) et subjectivement (pour ceux qui avancèrent cette formule), vint à en douter[97]. Il y avait de quoi. Après tout, Galilée savait bien que, si la gravité ne tirait pas les corps vers le bas, ils se mouvraient indéfiniment suivant une ligne horizontale; il savait parfaitement, nous l'avons rappelé, qu'un boulet au sortir du canon se meut en ligne droite quelle que soit la direction du tir. Et inversement, ni Cavalieri, ni Baliani, ni Torricelli

spinto verso alcuna parte, se non havesse altra virtù motrice, che lo cacciasse verso un'altre banda, andarebbe nel luogo segnato dal proiciente per dritta linea, mercè della virtù impressali pur per dritta linea, dalla quale drittura non è ragionevole, che il mobile si discosti, mentre non vi è altra virtù motrice, che lo rimova, e cio quando fra li duoi termini non sia impedimento; come per essempio una palla d'artiglieria uscita dalla bocca del pezzo (…) ».

95. Baliani à Galilée, 19 août 1639, EN XVIII, p. 88 : « *Con quest' occasione dirò che forse si poteva metter per principio (…) que* quicunque gradus velocitatis sit in mobili, sua natura indebiliter impressus, etc., *da cui però ne procedono tante belle consequenze, particolarmente nel moto de i proietti* ». Voir également *De Motu naturalium gravium*, p. 100-102. (L'édition de 1638 ne précise pas que le mouvement en question peut être dans n'importe quelle direction; par ailleurs, comme le souligne l'éditrice p. xxxviii, la conservation porte sur l'*impetus* et est plus proche d'une conservation de la force que d'une conservation du mouvement.)

96. Torricelli, *De Motu gravium*, II, prop. 2, dans *Opera di Evangelista Torricelli*, G. Loria et G. Vassura (ed.), Faenza, Montanari, 1919, tome II, p. 156 : « *Proiciatur mobile ex a juxta directione utcumque elevatam* ab. *Patet quod sine tractione gravitatis procederet mobile motu recto, et aequabili per lineam directionis* ab ».

97. Koyré, *Études galiléennes*, p. 297-299 : « Le lecteur moderne sera probablement déçu. Peut-être même nous accusera-t-il d'être victime de l'illusion d'optique que nous avons parfois reproché à certains historiens de Galilée (…). Objectivement la formule de Cavalieri contient le principe d'inertie. Le faisait-elle subjectivement? On peut en douter. (…) De même que vis-à-vis de Cavalieri, on pourrait se demander [vis-à-vis de Torricelli] : est-ce vraiment le principe d'inertie? ».

n'affirment que la gravité est une force extérieure au corps, de sorte qu'on pourrait concevoir un corps sans gravité ; tout comme Galilée, ils disent que l'on peut neutraliser la gravité, c'est-à-dire trouver un dispositif tel qu'on puisse en faire abstraction : ils défendent bien un droit à s'abstraire de la gravité, mais, précisément, il s'agit d'un droit et non d'une effectivité.

Quant à Gassendi, le cas était plus que douteux, quasi désespéré tant il cumule les contradictions. Tout d'abord, comme le nota ultérieurement Koyré, la propension au mouvement, spontanée et inamissible, qu'il donne à ses atomes est inconciliable avec la conservation du mouvement rectiligne [98]. Ensuite, il estime que le mouvement circulaire des astres est naturel [99]. Enfin et peut-être surtout, contrairement à Galilée, il voit dans cette naturalité de quoi se débarrasser de l'objection centrifuge sans avoir besoin d'une plus ample discussion [100]. En fait, s'il fallait attribuer à quelque savant ce que Koyré attribue alors à Gassendi, c'est bien plutôt à Descartes qu'il faudrait revenir, puisque ce dernier débarrasse une fois pour toutes la physique de l'idée que la gravité serait une force interne au corps et inséparable de lui.

98. Un des passages les plus significatifs sur cette propension est le *Syntagma philosophicum*, sect. 1, lib. 3, cap. 7, *Opera Omnia* I, Stuttgart, Friedrich Fromman Verlag, 1964 (désormais citées OO), p. 273-279. La remarque de Koyré se trouve dans une discussion avec Bernard Rochot, dans *Pierre Gassendi. 1592-1655. Sa vie et son œuvre*, Paris, Albin Michel, 1955, p. 109-111. Pour des positions à peu près identiques à celle de Koyré, voir Westfall, *Force*, p. 102-103. A. Pav, « Gassendi's Statement of the Principle of Inertia », *Isis*, 57-1, n° 187, 1966. O. R. Bloch, La Philosophie de Gassendi. Nominalisme, matérialisme et métaphysique, La Haye, Martinus Nijhoff, 1971, chap. 7, p. 226-227, croit lever la contradiction en distinguant le niveau phénoménal des choses concrètes et le niveau fondamental des atomes qui seraient actifs, mais il s'agit à l'évidence d'une distinction *ad hoc*.

99. Voir par ex. *Syntagma philosophicum*, sect. 1, lib. 5, cap. 2, OO I, p. 344b-345a.

100. *Epistola prima de motu impresso a motore translato*, OO III, p. 507a. C.R. Palmerino, « Galileo's Theories of Free Fall and Projectile Motion as Interpreted by Pierre Gassendi », *The Reception of the Galilean Science of Motion in Seventeenth-Century Europe*, C.R. Palmerino et J.M.M.H. Thijssen (ed.), Kluwer Academic Publishers, Dortrecht-Boston-London, 2004, p. 150-153, commente ce passage et conclut, contre Koyré, que faire de la gravité une force extérieure est une condition nécessaire, mais pas suffisante, pour formuler le principe d'inertie.

Les correspondants de Mersenne

L'histoire de Koyré est donc idéalisée, mais elle nous a néanmoins peut-être mis sur la bonne piste : l'œuvre de Galilée a, sinon institué la science du mouvement *a nihilo*, du moins instauré les normes à respecter dans un programme de recherche qui s'impose pour ainsi dire dans l'Europe savante des années 1640. Il n'est en ce sens pas étonnant que Descartes lui-même se soit une fois au moins lu comme un héritier de Galilée et ait débarrassé ses lois de la nature de ce qui ne pouvait pas être intégré dans l'édifice anonyme des sciences. Dans une lettre adressée à Huygens en février 1643 (soit alors que Descartes travaille encore aux *Principia*, dont l'édition latine paraît en juillet 1644), il entreprend de montrer ce qu'on appelle usuellement la loi de Torricelli, c'est-à-dire que, un trou étant percé au fond d'un vase, l'eau qui en sort a une vitesse proportionnelle à la racine de la hauteur de l'eau, qu'on suppose constante. A cet effet, il commence par faire deux suppositions, dont la première est le principe de conservation du mouvement rectiligne uniforme :

> Je considère que la nature du mouvement est telle que, lorsqu'un corps a commencé à se mouvoir, cela suffit pour faire qu'il continue toujours après avec même vitesse et en même ligne droite, jusques à ce qu'il soit arrêté ou détourné par quelque autre cause [101].

Cette supposition se distingue formellement en deux points des lois des *Principes* : elle réunit en un seul énoncé deux énoncés qui étaient séparés – et qui devaient l'être pour que la physique particulière fonctionne ; Descartes s'abstient alors de les présenter comme des lois de la nature enracinées dans l'immuabilité de Dieu. Au cours de sa démonstration maintenant, Descartes utilise cette supposition de manière « presque » galiléenne, pour reprendre le titre d'un article consacré à cette lettre, c'est-à-dire en composant un mouvement rectiligne uniforme résultant de la pression de l'eau contenue dans le vase et un mouvement accéléré ayant pour cause la gravité de l'eau,

101. AT III, p. 619 ou p. 807. On peut désormais lire ce texte avec des annotations dans *The Correspondence of René Descartes. 1643*, T. Verbeek, E.-J. Bos et J. van de Ven (ed.), Utrecht, Zeno Institute for Philosophy, 2004, p. 31.

autrement dit encore en faisant l'analogue dans ce cas-là de ce que faisait Galilée quand il analysait la trajectoire d'un projectile [102].

L'articulation de la formulation cartésienne et de la pratique galiléenne est également attestée dans une lettre de Mersenne, qui, pour tout dire, met aussi Gassendi au nombre des dignes successeurs de Galilée [103]. A en juger par les documents rassemblés par les éditeurs de la correspondance de Mersenne, il est frappant qu'un principe totalement opposé à la doctrine aristotélicienne du mouvement ait été immédiatement accepté comme allant de soi. Ainsi n'y a-t-il, à ma connaissance, que deux voix pour s'y opposer dans cette correspondance. La première apparaît dans une situation conflictuelle : en 1643, deux savants non identifiés prennent Descartes pour juge et lui demandent de les départager sur trois difficultés relatives au mouvement des missiles. La troisième difficulté est de savoir « si l'impression par laquelle on jette un missile périrait peu à peu, quoique l'air n'empêchant en aucune façon le missile et que la terre ne l'attirât point à soi » : pour le premier savant, l'impression ou le mouvement fait partie des qualités qui ne périssent pas « comme celle par laquelle la pierre va vers le centre, et le cœur bat » ; pour le second, « elle ne peut périr, quoiqu'elle soit *minimae entitatis*, pour parler avec les philosophes, si quelque contraire n'ôte cette impression » [104].

L'autre voix est celle de Roberval, qui soutient que ce qui a une fois commencé de se mouvoir peut s'arrêter spontanément, alors

102. A. Nardi, « Poids et vitesse, Descartes "presque" galiléen, 18 février 1643 », *Revue d'Histoire des Sciences*, 39-1, 1986. Sur cette lettre, voir aussi M. Blay, « La loi d'écoulement de Torricelli et sa réception au XVII[e] siècle », dans *L'Œuvre de Torricelli : science galiléenne et nouvelle géométrie*, F. De Gandt (éd.), Publications de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Nice, 1987.

103. Mersenne à Torricelli, 26 août 1646, TWB XIV, p. 419 : « (…) *nostrum illud axioma non recipiat, quum post magnum Galilaeum, Cartesius, Gassendus, etc. illud ambabus ulnis amplectantur* ».

104. A Descartes, TWB XII, p. 133. Descartes à Mersenne, 26 avr. 1643, AT III, p. 649, tranche en faveur du second, en précisant, *ibid.*, p. 653, que la preuve de ce principe est métaphysique : « Dieu, qui est auteur de toutes choses, étant tout parfait et immuable, il me semble répugner qu'aucune chose simple qui existe, et qui par conséquent dont Dieu est l'auteur, ait en soi le principe de sa destruction ».

même qu'il n'est pas empêché [105]. C'est fondamentalement au nom de l'expérience commune que Roberval s'oppose à l'idée que la conservation pourrait être un principe : cela est constant, les corps s'arrêtent [106]. Ce n'est pas qu'il considère, comme le premier des protagonistes qu'on vient d'évoquer, que le mouvement fait partie des qualités périssables. C'est que, ici comme ailleurs, il récuse tout engagement ontologique à propos de principes discutables parce qu'ils ne sont pas établis directement par les sens ou par la raison [107]. En l'occurrence, affirmer la conservation du mouvement, c'est, quoiqu'on en ait, l'assimiler à une substance ; cependant, dans l'hypothèse où il s'agirait d'un mode, il placerait le corps dans un état de violence tel que celui-ci chercherait à s'en débarrasser pour revenir dans son état naturel de repos [108].

105. Outre l'échange de Roberval avec Huygens évoqué plus bas, la position de Roberval est attestée dans Descartes à Mersenne, 4 mars 1641, TWB X, p. 533 : « (…) [Pour Roberval], *quod semel motum est, sponte postea cessat moveri, etsi non impediatur* ». Mersenne à Torricelli, 26 août 1646, TWB XIV, p. 419 : « (…) *dicam primo me satis admirari non posse, quod noster Robervallus tanti vir ingenii, et judicii, fere solus negat, motum semel impressum numquam desiturum, si tollantur omnia impedimenta, vellemque te ad illum scribere, ut suas rationes, aut fundamenta, vel demonstrationem, si quam habet, promeret* ».

106. Roberval à Torricelli, janv. 1646, TWB XIV, p. 17 : « *Motu quidem recto concedimus, at motu aequabili; unde hoc? Equidem in omnibus omnino mobilibus projectis experientia constantissime huic assertationi repugnat* ». Si on explique cet arrêt par la résistance de l'air, ajoute-t-il, alors il ne faut pas prétendre, comme le fait Galilée, être utile aux artilleurs : « *Quod si quis dixerit nos aerem minime considerare, cur ergo tabulae inde constructae? Cur nova illa norma dirigendis tormentis bellicis accomodata?* ». La résistance de l'air avait été évoquée dans les *Discorsi,* EN VIII, p. 276-278. Dans sa réponse à Roberval, 7 juil. 1646, TWB XIV, p. 346-347, Torricelli répond très généralement que les objections de Roberval contre les fondements de la doctrine du mouvement sont fortes, mais pas nouvelles pour autant, et revendique comme il le fait souvent le droit à la spéculation en mécanique.

107. Pour d'autres exemples de cette attitude épistémologique, voir, à propos de la gravité, Roberval et Etienne Pascal à Fermat, 16 août 1636, dans P. Fermat, *Œuvres*, C. Henry et P. Tannery (éd.), 4 vol., Paris, Gauthier-Villars, 1891-1912, tome II, p. 36-41 ; à propos de la lumière, le libelle publié par M. Mersenne, *Optique et catoptrique*, Paris, Langlois, 1651, livre II, prop. 4, p. 89-92.

108. Roberval à Torricelli, janv. 1646, TWB XIV, p. 17 : « (…) *esto, quod medium daretur perfecte liquidum, et permeabile, quod tamen merum figmentum est : quis unquam ostendit fore, ut tunc impetus violentus nihil detrimenti patiatur, sed idem perpetuo mansurus sit? Id quidem verum futurum esse apparet, si impetus ille sit substantia quaedam, quae perire, sive*

Nous avons mentionné ces voix, mais nous les croyons isolées : on ne trouve pas dans les années 1630 ou 1640 de controverses sur la conservation du mouvement comme on en trouve sur l'existence du vide ou la division de la matière. Cette unanimité a sans doute une explication pragmatique : la solution d'un certain nombre de problèmes mécaniques et cosmologiques en passait par un principe de conservation du mouvement rectiligne uniforme [109]. Elle peut nous mener à notre thèse : les énoncés de Galilée et de Descartes ont été reçus dans un contexte tel que, malgré leur différence, ils ont été articulés l'un à l'autre.

Le tribunal de l'histoire

Le tribunal de l'histoire, qui chérit les grands hommes, a retenu les noms de Huygens et de Newton. Sans entrer dans le détail de leurs physiques respectives, on remarquera que tous deux articulent les formules cartésiennes et la pratique galiléenne, plus exactement voient dans les premières de quoi fonder la seconde. Huygens s'initie à la nouvelle science de Galilée et de Descartes vers 1646 [110]. Dans les traités déductifs de mécanique qu'il commence à rédiger une dizaine d'années plus tard, il fait de la conservation du mouvement rectiligne uniforme une de ces hypothèses que l'on avance initialement, sans qu'il soit nécessaire de les justifier : ainsi en est-il, par exemple, pour le *De Motu corporum ex percussione* (1656), le *De Motu corporum ex mutuo impulsu hypothesis* (1669) ou l'*Horologium*

annihilari non possit : at si ille sit tantum modus aliquis substantiae eandem in statu violento constituens, nondum constat num ipsa se ab ejusmodi violentia sensim liberare possit, ac tandem in pristinum statum quietis redire ».

109. On sait cependant que Meyerson explique cette unanimité, et tout aussi bien l'acharnement à donner des démonstrations *a priori* du principe d'inertie, par le caractère « plausible » de ce dernier ; voir *Identité et réalité*, p. 114-164, et en particulier p. 154 et p. 161-162.

110. Dans le compte rendu de la *Vie de Descartes* de Baillet, SHS X, p. 403, Huygens déclare avoir lu les *Principia philosophiae* à 15 ou 16 ans. Sa lettre à Constantijn Huygens du 3 septembre 1646, SHS I, p. 18-19, indique que c'est l'ouvrage de C. Lobkowitz, *Sublimium ingeniorum crux*, Leuwen, P. van der Hayden, 1644, qui lui fait découvrir le débat sur la loi galiléenne de la chute des corps, et donc, vraisemblablement, l'hypothèse qu'un mouvement se conserve en ligne droite.

oscillatorium (1673) [111]. Comme il le rappellera à Roberval, il n'y a pas à discuter des principes [112]; lorsque cependant il se trouve mis à demeure de justifier le principe de conservation du mouvement rectiligne uniforme, il précise que Galilée, Descartes « et bien d'autres » l'ont adopté [113].

Pas plus que Huygens, Newton ne s'embarrasse des distinctions de l'historien. C'est à Galilée qu'il attribue la découverte de ce qui est dans les *Principia mathematica* le premier « axiome ou loi du mouvement »; il lui fait crédit d'avoir été le premier à découvrir, entre autres grâce à cette loi du mouvement, que le mouvement des projectiles se fait selon une trajectoire parabolique [114]. Mais, outre que les similitudes de vocabulaire entre les énoncés de la loi newtonienne et de la loi cartésienne de conservation sont frappantes, les manuscrits antérieurs aux *Principia mathematica* montrent que la première s'inspire de la seconde : Newton a commencé par recopier les deux lois cartésiennes, puis peu de temps après, les a subsumées

111. *De Motu corporum ex percussione*, hyp. 1, SHS XVI, p. 31 et, dans les manuscrits attenants, SHS XVI, p. 105, p. 140. *De Motu corporum ex mutuo impulsu hypothesis*, hyp. 1, SHS VI, p. 336. *Horologium oscillatorium*, II, hyp. 1, SHS XVIII, p. 125.

112. *Responsa ad objectiones Robervalli contra demonstrationes nostras de motu pendulorum*, SHS XVIII, p. 452-453 : « (…) *si hoc [principium] non admittat jam non habeo quod dicam contra negantem principia nisi hoc idem a Torricello, Cartesio multisque aliis statui, vulgoque ab omnibus concedi. Principiorum vero ratio dari non solet, sed in geometria evidentia esse oportet in physicis experientiae convenientia. Tolle mihi omnia impedimenta et videbis an non duraturus sit corporis motus* ». Voir également SHS XVIII, p. 456 : « A quoi je n'ai rien à dire sinon que ce principe me semble, aussi bien qu'à tous les autres qui l'ont suivi, fort convenable à la nature et que l'expérience même, en tant qu'on a moyen de la faire, le confirme. Ne pouvant au reste empêcher que l'auteur des objections n'aie des opinions toutes différentes en ce qui regarde le mouvement (…). Ainsi n'étant pas d'accord entre nous des principes, il serait inutile de répondre aux objections qui naissent de cette diversité ».

113. Outre les textes cités à la note précédente, voir SHS XVI, p. 105 : « (…) *quod praeter Cartesium Galileus quoque et alii dicere* ». SHS XVI, p. 140 : « (…) *quod praeter Cartesium, Galileus quoque et alii multi dixerunt* ». SHS XVIII, p. 456 : « (…) ce principe de Galilée (lequel pourtant M. Descartes et bien d'autres ont suivi depuis) ».

114. *Principia mathematica*, Axiomata, corr. vi, scholium, tome I, p. 64 : « *Per leges duas primas & corollaria duo prima* Galilaeus *invenit descensum gravium esse in duplicata ratione temporis, & motum projectilium fieri in parabola* ».

sous un seul énoncé, ce qui suppose que l'état qui se conserve est celui de mouvement rectiligne uniforme [115]. Tout comme Huygens donc, Newton, parce qu'il avait lu Galilée, a vu dans les lois cartésiennes un des fondements d'une science du mouvement qui n'était pas ce que Descartes avait primitivement visé à travers elles. Pour reprendre une image célèbre, ce n'est pas seulement qu'on répare le bateau en pleine mer, c'est qu'on le construit de bric et de broc, ou même avec des planches à moitié pourries. Ou encore, *mutatis mutandis*, la science du présent étant le fruit de la science du passé, elle est aussi le fruit de ses égarements, de ses passions, de ses erreurs, voire de ses crimes [116].

115. Herivel, *The Background to Newton's Principia. A Study of Newton's Dynamical Researches in the Years 1664-1684*, Oxford University Press, 1965, p. 141 : « *1. If a quantity once move it will never rest unlesse hindered by some externall cause. 2. A quantity will always move in the same streight line (not changing the determination nor celerity of its motion) unlesse some externalle cause divert it* ». *Ibid.*, p. 153 : « *Every thing doth naturally persevere in that state in which it is unlesse it bee interrupted by some externall cause, hence axiome 1 st and 2 nd* ». Qu'il y ait là un emprunt de Newton à Descartes est établi par Cohen, « "Quantum in se est" ». A. Koyré, *Études newtoniennes,* Paris, Gallimard, 1968, p. 94-103. Herivel, *The Background*, p. 42-53. La conceptualisation de ces premiers manuscrits diffère de la conceptualisation des *Principia*. Jusqu'en 1684 au moins, Newton attribue la persistance du mouvement rectiligne uniforme ou du repos à une force, appelée « force d'inertie », « innée » ou « interne ». La force innée qui est l'objet de la troisième définition des *Principia* n'est pas seulement une force de persistance dans un état inertiel, mais aussi une force de résistance au changement de mouvement, et à ce titre elle se manifeste seulement quand une autre force est imprimée au corps en question. Deux points restent alors à déterminer : d'une part ce qu'est cette force potentielle quand elle ne s'exerce pas, d'autre part comment l'évaluer quantitativement (Herivel, *The Background*, p. 25-30 pour le commentaire conceptuel, p. 93-108 pour la datation des manuscrits, et p. 315-320 pour les premiers manuscrits où le concept de force d'inertie se modifie). Sur le rôle que pourrait avoir joué, dans la genèse des concepts newtoniens, l'analyse cartésienne de la force de mouvement et de la force de repos, voir Gabbey, « Force and Inertia », p. 273-279.

116. Ce passage des *Considérations inactuelles* est utilisé par Fichant, « L'idée d'une histoire des sciences », p. 111, contre la séparation trop radicale qu'avait instituée Bachelard entre la science périmée et la science sanctionnée. Sur ce point, voir également Canguilhem, « L'objet de l'histoire des sciences », p. 14, et surtout « Qu'est-ce qu'une idéologie scientifique », p. 44-45.

ÉPILOGUE : GALILÉE, DESCARTES, ET NOUS

A ce point, le lecteur un tant soit peu spéculatif sent vraisemblablement le doute naître en lui. Depuis le début de cette étude, nous avons fait comme si *le* principe d'inertie se trouvait effectivement chez Huygens ou Newton. Le travail de contextualisation qui a été effectué dans le cas de Galilée puis dans le cas de Descartes en prenant comme point de référence une idée commune du principe d'inertie qui se trouverait dans les œuvres de Huygens et de Newton ne pourrait-il cependant pas être effectué dans le cas de ces derniers en prenant encore un autre point de référence ? Et puis, sommes-nous vraiment prêts à dire que les principes qu'on trouve chez Huygens et chez Newton sont les mêmes, puisque l'un et l'autre sont inscrits, on s'en doute, dans deux structures conceptuelles distinctes ? Mais encore : si nous faisons une place, fût-elle minime, à cette espèce de doutes, y a-t-il encore lieu de parler, comme nous le faisons couramment, *du* principe d'inertie – il faudrait plus rigoureusement dire qu'il y a un principe d'inertie chez Newton, qui n'est pas celui qu'on trouve chez Huygens et Leibniz, et pas non plus celui qu'on trouve chez d'Alembert ou chez Lagrange ; et, derechef, que le principe d'inertie qu'on trouve dans le discours préliminaire de la seconde édition du *Traité de dynamique* (1758) n'est pas celui d'un *Mémoire* présenté à l'Académie des Sciences en 1769.

Le problème n'est pas neuf. Sans rapport avec l'histoire, mais contre une vision idéaliste des lois physiques, Hanson l'avait formulé en termes wittgensteiniens. Se demander ce qu'est *le* principe d'inertie est aussi vain que se demander quel est *l*'usage d'une corde : ce qu'on appelle « le principe d'inertie » n'existe pas en tant que proposition isolée et singulière, mais en tant que famille de propositions identiques par leur formulation et pourtant distinctes par leur contexte d'usage [117]. Il y a là aussi une transposition, à propos d'un petit objet et sur un mode mineur, des analyses qui avaient conduit Feyerabend et Kuhn à remarquer que les différences entre des concepts de part et d'autre d'une Révolution Scientifique

117. N.R. Hanson, *An Enquiry into the Conceptual Foundations of Science*, Cambridge University Press, 1958, p. 93 et p. 98. Peut-être n'aurais-je pas fait attention à ce passage s'il n'avait pas été cité dans Gabbey, « Force and inertia », p. 289-290.

peuvent être si radicales qu'il faut les dire « incommensurables »[118]. On pourrait objecter à ce rapprochement que, pour Feyerabend et Kuhn, le problème était à la fois plus radical (une révolution scientifique sépare les concepts qu'ils considèrent) et plus précis (certains concepts ne peuvent être traduits d'un langage dans un autre). D'une part cependant c'est l'incommensurabilité qui détermine la révolution scientifique, et non le contraire ; d'autre part, l'incommensurabilité entre, par exemple, le concept de mouvement chez Aristote et le concept de mouvement chez Galilée est analogue à l'incommensurabilité entre le concept de force chez Descartes et le concept de force chez Newton : dans les deux cas, il y a une différence conceptuelle résultant de ce que la signification d'un concept est sensible au contexte dans lequel ce concept apparaît. Dans tous ces cas, le problème est donc bien celui du changement conceptuel dans les sciences : comment, en particulier, concilier la variabilité historique des concepts et la stabilité des sciences, voire leur progrès[119] ? L'ancienneté du problème ne l'a pas fait disparaître et on pourrait rétrospectivement présenter le contenu de la partie centrale de notre étude, consacrée à Descartes, comme la confrontation de trois positions épistémologiques sur la question de savoir si ce dernier avait le principe d'inertie : à une première position succède une position demi-savante, finalement guère plus tenable que la première ; la position qu'on se risquera à qualifier de savante est, on s'en doute, dans l'entre-deux.

118. Pour leurs positions initiales, voir Feyerabend, « Explanation, reduction and empirism », in *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, H. Feigl et G. Maxwell (ed.), Minneapolis, University of Minnesota Press, 1962, p. 56-59, p. 74-76, et Kuhn, *La Structure des révolutions*, p. 147-148, p. 157-158. Quelques références ultérieures seront données au fur et à mesure.

119. Le problème n'est pas propre à l'histoire des sciences, mais a son équivalent en histoire de la philosophie ; voir par exemple C. Panaccio, « La philosophie analytique et l'histoire de la philosophie », dans *Précis de philosophie analytique*, P. Engel (éd.), Paris, P.U.F., 2001 ; P. Engel, « Retour Aval », *Les Études philosophiques*, 4, 1999 ; A. de Libera, « Le relativisme historique : théorie des complexes-questions-réponses », *Les Études philosophiques*, 4, 1999. Il semble cependant plus net en histoire des sciences : étant donné que l'histoire des sciences est celle d'un progrès, on s'y trouve toujours à faire le partage entre une lecture contextuelle et une lecture actualisante des énoncés du passé.

La première position consiste à dire que Descartes a le principe d'inertie, tout simplement parce que nous trouvons dans son œuvre une formule claire et distincte de ce qui est, pour nous, le principe d'inertie. A y réfléchir un peu, les présupposés de cette position épistémologique sont les suivants :

– Considérer que les lois de la nature cartésiennes sont équivalentes au principe d'inertie newtonien parce qu'elles conduisent à la même prédiction empirique concernant le comportement d'un corps dans certaines conditions revient à négliger la possibilité que, dans d'autres conditions, les prédictions ne soient pas identiques. Or, étant donné les différences conceptuelles entre Descartes et Newton qu'on a relevées, cette possibilité est une probabilité.

– Soutenir cette position, c'est considérer que l'historique d'un principe physique consiste à restituer les différentes tentatives faites pour arriver, sinon à trouver un équivalent dans le langage humain d'un des commandements par lesquels Dieu a instauré l'ordre de la nature, du moins à forger la formulation apte à saisir une idéalité lovée au creux des choses. Une fois la formulation canonique atteinte, il ne se passe plus rien : l'histoire n'est que la révélation de l'éternité.

– Puisqu'il suffit d'être en présence de deux énoncés pour statuer sur l'identité éventuelle de leurs significations, le cœur de cette position est sans doute l'idée que la signification d'un énoncé est indépendante de son contexte. Ce faisant, on fait des significations des petits êtres qui, comme des poissons dans leurs bocaux, se tiennent tout entiers dans leurs énoncés; en même temps, on suppose qu'il est possible de les appréhender par simple vue, les énoncés sont transparents.

La caractérisation peu enthousiasmante qu'on vient de proposer de la première position – qu'on pourrait appeler « essentialiste » – conduit à se lancer, comme nous l'avons fait, dans l'exégèse des textes de Descartes pour déterminer de quoi ils parlent exactement. Une telle entreprise est solidaire d'une deuxième position épistémologique, qu'il est possible de caractériser à son tour.

Cette deuxième position, qu'on appellera ici « nominaliste », repose sur l'idée que des principes différents par leurs contextes théoriques ne peuvent pas être considérés comme identiques. Elle revient donc peu ou prou à faire de chaque œuvre une totalité close,

sans connexion avec d'autres œuvres, ni finalement avec les choses du monde – on pourrait seulement égrener indéfiniment les énoncés scientifiques du passé, toujours différents les uns des autres, et puis constater : « dans tel passage, Galilée a dit ceci, et dans tel autre passage, il a dit cela », ou « si on prend en compte le corpus cartésien, telle est la signification de cet énoncé ». Cette position est plus subtile et plus savante que la première, mais elle est également intenable :

– Elle passe à côté de deux caractéristiques indéniables de la physique, quelque difficile que soit leur description épistémologique circonstanciée : la physique porte sur les choses du monde et son histoire est celle d'un progrès, à tout le moins en ce sens élémentaire que Descartes et Newton nous disent quelque chose du monde tel qu'il est et que Newton dit plus de choses que Descartes ou les dit mieux [120].

– Malgré les apparences, la position nominaliste ne laisse guère de place à l'histoire. Une fois entré dans une totalité close, de quelque ordre qu'elle soit, on ne voit pas bien comment en sortir ; on sait que ce fut une objection récurrente contre toutes sortes de structures : épistèmè chez Foucault, paradigme chez Kuhn, structure sociale chez Bourdieu.

– Enfin, la position nominaliste repose sur une théorie radicalement contextuelle de la signification, que l'histoire de n'importe quel concept scientifique suffit à réfuter. Kuhn et Feyerabend avaient eux-mêmes été amenés à souligner que l'incommensurabilité, définie précisément comme l'impossibilité de traduire un terme d'un langage dans un autre langage, est moins menaçante qu'ils n'avaient bien voulu initialement le dire : elle n'interdit ni la compréhension d'une théorie ni la confrontation rationnelle entre théories [121]. C'est un processus de ce genre que nous avons vu à l'œuvre : les œuvres de Galilée et de Descartes ne sont pas des systèmes clos de significations, des sentiers ont bifurqué d'une œuvre à l'autre et nous ont

120. Pour une réhabilitation de la notion « naïve » de progrès scientifique comme augmentation de connaissance, voir Bird, « What is Scientific Progress ? ».

121. Feyerabend, « Putnam on incommensurability », *The British Journal for the Philosophy of Science*, 1, 1987, p. 76 et p. 80-81. Kuhn, « Commensurability », p. 670-673.

menés jusqu'au moment où le principe d'inertie s'est stabilisé dans les œuvres de Newton et Huygens. On notera de surcroît qu'une théorie contextuelle de la signification est silencieuse sur une question décisive : quel contexte doit-on prendre en compte pour comprendre un énoncé donné ? Contre la position essentialiste, on accordera que la signification d'un énoncé dépend d'un certain contexte ; mais ensuite, comment délimiter celui-ci ? S'agit-il d'une proposition ? D'un paragraphe ? D'un ouvrage ? Des œuvres d'un auteur ? Des ouvrages écrits pendant une période donnée ? Du contenu d'une bibliothèque ? De la pensée de tous les temps ? Les historiens des idées supposent assez spontanément que l'unité matérielle d'un ouvrage ou la réalité individuelle d'un auteur tranchent la question – mais comment ne pas voir la part d'arbitraire qui accompagne cette supposition ?

Notre étude a montré, sur un cas tout à fait élémentaire, que la position nominaliste comme la position essentialiste constituent des écueils pour l'historien : écueils en ce sens que, s'il adopte l'une de ces positions dans sa radicalité tout en excluant l'autre, il s'interdit de comprendre l'histoire telle qu'elle se fait. L'historien a toutefois tant à faire pour accéder aux textes dont il s'occupe, parfois même matériellement, qu'il ne peut prendre la peine d'élaborer une théorie de sa pratique : aussi navigue-t-il souvent à vue, sans carte ni boussole – et, s'il se garde de ces écueils, plus ou moins dangereux selon les mers qu'il fréquente, c'est plutôt en raison de son expérience et de son tact que d'une théorie constituée. Celui qui cependant se demanderait parfois à quoi ressemblerait une théorie qui serait adéquate à sa pratique en viendra peut-être à considérer les thèses suivantes comme des *minima moralia* sur lesquels tous ceux qui pratiquent l'histoire des textes scientifiques pourraient s'accorder.

1) Un concept scientifique a une histoire, tout simplement parce que sa signification procède à la fois de son inscription dans une langue, de son articulation à un réseau conceptuel et de sa détermination dans des cas concrets exemplaires ; et, entre ces trois éléments, il y a toujours un certain jeu, qui maintient ouverte la possibilité d'une histoire. Il est indéniable que, dans certains domaines, la substitution d'une langue formelle aux langues naturelles tend à diminuer ce jeu. Néanmoins, les transformations qui affectent inévitablement ce domaine (autrement il n'y aurait plus

d'histoire) montrent que les choses ne cessent de jouer – les concepts sont exportés, les formules, employées abusivement, les résultats, transposés analogiquement, et parfois même rendus méconnaissables, etc. La constitution d'un concept scientifique, c'est en ce sens un processus de stabilisation, au terme duquel un tel jeu en vient à se réduire provisoirement, sans jamais toutefois disparaître.

2) Ce processus de stabilisation est un processus intersubjectif. On a longtemps pensé la spécificité de l'historicité des sciences à partir d'une notion de progrès excluant la confrontation intersubjective : si « la suite des hommes doit être considérée comme un seul homme qui subsiste toujours et qui apprend continuellement », chaque individu est tour à tour seul face à la nature et tous ensemble ne constituent qu'un seul sujet connaissant. En fait, d'autres phénomènes peuvent permettre de cerner la spécificité de l'historicité des sciences : ainsi en est-il des découvertes simultanées et des querelles de priorité, des phénomènes de redécouverte ou de relecture, de la prématurité d'un résultat et de sa formulation par ce qu'on appellera, non sans provocation, un « précurseur »[122]. Or, ce qui caractérise tous ces phénomènes, c'est de renvoyer à une science qui n'est pas seulement conçue, mais reçue et partagée. Supposons par exemple que, toutes choses égales par ailleurs, la première loi des *Principia mathematica* soit présente dans un fragment de Straton de Lampsaque, personne n'y aurait vu un énoncé digne de mémoire,

122. Bachelard, Canguilhem, « L'objet de l'histoire des sciences » (1966), dans *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, Vrin, 1968, p. 20-23, ayant fait de l'élimination des précurseurs la pierre de touche de l'épistémologie bachelardienne, une sorte d'anathème a été jeté sur le terme « précurseur ». On accordera qu'il faut se garder de la tendance à projeter sur les origines ce qui n'a été acquis qu'ultérieurement et que le contenu cognitif de la proposition que A fut le précurseur de B est souvent à peu près nul. Néanmoins, la notion de précurseur ne peut être dite « intrinsèquement contradictoire » (*ibid.*, p. 21) qu'à supposer le savoir d'un temps à la fois cohérent et incompatible avec le savoir des autres temps. Ce qui est au moins problématique et peut-être faux. Le cas de Mendel amena d'ailleurs Canguilhem, « Sur l'histoire des sciences », p. 108-109, à affiner ses catégories : Mendel ayant effectivement prouvé des résultats sans que ceux-ci soient reçus, Canguilhem suggère d'en parler comme de prématurés ou d'enfants mort-nés. Sur la notion de prématurité en histoire des sciences, voir le recueil d'études rassemblés dans E.B. Hook (éd.), *Prematurity in Science Discovery. On Resistance and Neglect,* Berkeley-Los Angeles-London, University of California Press, 2000.

sans doute aurait-il été immédiatement oublié : il n'y avait pas de corpus textuel ou, plus généralement, d'espace de savoir où loger un tel énoncé. Ce qui est une expérience de pensée dans le cas de cette loi ne l'est pas toujours : il existe un certain nombre de précurseurs effectifs en science, si on entend par là des individus qui ont énoncé et prouvé correctement certains résultats, sans que ceux-ci aient été immédiatement intégrés à l'édifice anonyme des sciences. L'existence de précurseurs, comme, du moins le pensons-nous, des autres phénomènes historiques que nous avons mentionnés, indique que la stabilisation d'un énoncé scientifique suppose sa réception, qu'il s'agit d'un processus non seulement historique, mais intersubjectif.

Trois précisions sont ici nécessaires. En premier lieu, entre dire ce processus « intersubjectif » et le dire « social », il y a un pas que rien ne permet de franchir sinon un état de confusion terminologique ou intellectuelle avancé : on peut soutenir que les idéalités, loin d'être des essences qu'un sujet contemplerait dans un moment d'extase, procèdent d'une construction intersubjective, sans pour autant en faire le produit de déterminations sociales. En deuxième lieu, dire ce processus « intersubjectif », ce n'est pas nier qu'il nous apprenne quelque chose de la nature : l'expérience de pensée mettant en scène Straton de Lampsaque vise à suggérer que, dans une configuration donnée du savoir, apprendre quelque chose de la nature est une condition nécessaire, mais pas pour autant suffisante. En troisième et dernier lieu, l'intersubjectivité dont il est question ne réunit pas toujours des individus proches les uns des autres dans leur historicité concrète (c'est d'ailleurs une des raisons pour lesquelles cette intersubjectivité n'a rien d'une détermination sociale) : lorsque Newton lit Descartes ou Galilée, il constitue avec eux une communauté intersubjective qui n'est pas déterminée par les lieux et les temps où ont vécu les trois individus désignés par les noms « Galilée », « Descartes » et « Newton ».

3) Récapitulant les raisons pour lesquelles nous avons renvoyé dos à dos les positions nominaliste et essentialiste, nous dirons qu'un historien des sciences attend deux choses d'une théorie de la signification : elle doit expliquer que la signification d'un énoncé soit sensible à des contextes spécifiques (de la section d'un ouvrage à un corpus constitué par les œuvres de différents auteurs) sans pour autant être totalement dépendante d'eux, et, conséquemment,

permettre des variations historiques aussi bien que des processus de stabilisation. Il ne nous appartient pas de construire une théorie de la signification de ce genre, ni d'ailleurs de déterminer s'il ne doit pas s'agir plutôt d'une théorie de la référence[123]. On remarquera cependant en guise de conclusion qu'elle n'a aucune raison d'être différente d'une théorie de la signification propre à décrire l'acquisition et la transformation des significations du langage ordinaire : le fonctionnement du langage ordinaire, tout aussi bien que celui du langage de la physique, suppose l'acquisition de concepts que l'expérience des choses comme le commerce des hommes viennent transformer.

BIBLIOGRAPHIE

Sources

BALIANI G. B., *De Motu naturalium gravium solidorum et liquidorum* (1638, 1646), Giovanna Baroncelli (ed.), Firenze, Giunti, 1998.

BEECKMAN I., *Journal tenu par Isaac Beeckman de 1604 à 1634,* Cornélis de Waard (éd.), 4 vol., La Haye, Martinus Nijhoff, 1939-1953. Abrégé JB.

BENEDETTI G.B., *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, Taurini, 1585.

CAVALIERI B., *Lo Speccio Ustorio, overo trattato delle settioni conice,* Bologna, Clemente Ferroni, 1632.

COPERNIC N., *Des Révolutions des orbes célestes* (1543), trad. fr. par A. Koyré, Paris, Alcan, 1934.

CORDEMOY G. de, *Six Discours sur la distinction et l'union du corps et de l'âme* (1666), *Œuvres philosophiques*, P. Clair et F. Girval (éd.), Paris, P.U.F., 1968.

D'ALEMBERT J. LE ROND, *Traité de dynamique* (1743), 2e éd., Paris, David, 1758 ; réimp. Paris, Gabbay, 1990.

123. P. Kitcher soutient que le problème ne peut être posé correctement à moins de l'être en termes de référence, et propose conséquemment une théorie de la référence sensible au contexte et historiquement déterminée (« Implications of Incommensurability », in *Proceedings in the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association (1982)*, University of Chicago Press, 1982, p. 520-521). Kuhn argumente contre la réduction du problème du changement conceptuel à un problème de référence et avance quelques remarques visant à l'élaboration d'une théorie de la signification propre à rendre compte du changement conceptuel (« Commensurability, Comparability, Communicability », in *ibid.*, p. 679-681).

DESCARTES R., *Œuvres de Descartes*, C. Adam et P. Tannery (éd.), nouv. prés. par B. Rochot et P. Costabel, 11 vol. Paris, Vrin, 1964-1974.
– *The Correspondence of René Descartes. 1643*, T. Verbeek, E.-J. Bos et J. van de Ven (ed.), Utrecht, Zeno Institute for Philosophy, 2004.
FERMAT P., *Œuvres de Fermat*, C. Henry et P. Tannery (éd.), 4 vol., Paris, Gauthier-Villars, 1891-1912.
GALILEI G., *Le Opere di Galileo Galilei*, Edizione Nazionale, A. Favaro e I. Del Lungo (ed.), 20 tomes en 21 vol., Firenze, Barbèra, 1890-1909 ; réimpr. 1929-1939, 1964-1968.
GASSENDI P., *Opera Omnia*, 6 vol., Lyon, 1658 ; repr. Stuttgart, Friedrich Fromman Verlag, 1964.
HUYGENS C., *Œuvres complètes de Christian Huygens*, Société hollandaise des sciences, 22 vol., La Haye, 1888-1950.
LOBKOWITZ C., *Sublimium ingeniorum crux*, Leuwen, P. van der Hayden, 1644.
MALEBRANCHE N., *De la Recherche de la vérité* (1674)*, Œuvres,* G. Rodis-Lewis (éd.), 2 vol., Paris, Gallimard, 1979 et 1992.
MERSENNE M., *Correspondance du P. Marin Mersenne, religieux minime*, P. Tannery, C. de Waard, et A. Beaulieu (éd.), 17 vol., Paris, Éditions du CNRS, 1932-1988.
– *Optique et catoptrique*, Paris, Langlois, 1651.
NEWTON I., *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1686, 1703, 1715), I. B. Cohen et A. Koyré (ed.), 2 vol., Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1972.
RÉGIS P.-S., *Système de philosophie concernant la logique, la physique et la morale* (1690), 3 vol., Amsterdam, Huguetan, 1691 ; repr. New York-London, Johnson Reprint Corporation, 1970.
ROHAULT J., *Traité de physique* (1671), 4e éd., 2 vol., Lyon, Claude Galbit, 1681.
TORRICELLI E., *Opera di Evangelista Torricelli*, G. Loria et G. Vassura (ed.), 3 vol., Faenza, Montanari, 1919.

Littérature secondaire

BACHELARD G., « L'Actualité de l'histoire des sciences » (1951), dans *L'Engagement rationaliste*, Paris, P.U.F., 1972, p. 137-152.
– *L'Activité rationaliste de la physique contemporaine*, Paris, P.U.F, 1951.
BACHELARD S., « Épistémologie et histoire des sciences », dans *Rapport du XIIe congrès international d'histoire des sciences*, Paris, Blanchard 1971, tome I-A, p. 39-51.

BALIBAR E., « Science et vérité dans la philosophie de Georges Canguilhem », dans *Georges Canguilhem, philosophe, historien des sciences. Actes du colloque (6-7-8 décembre 1990)*, Paris, Albin Michel, 1993, p. 58-76.

BIRD A., « What is Scientific Progress ? », à paraître *Noûs*, 2007, et disponible à l'adresse :
http : //homepages.ed.ac.uk/ajbird/research/research.html.

BLAY M., « La loi d'écoulement de Torricelli et sa réception au XVII e siècle », dans *L'Œuvre de Torricelli : science galiléenne et nouvelle géométrie*, F. De Gandt (éd.), Nice, Publications de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Nice, 1987, p. 79-110.

BLOCH O.-R., *La Philosophie de Gassendi. Nominalisme, matérialisme et métaphysique*, La Haye, Martinus Nijhoff, 1971.

BUCCIANTINI M., *Galileo e Keplero*, Torino, Einaudi, 2003.

CANGUILHEM G., « Galilée : la signification de l'œuvre et la leçon de l'homme » (1964), dans *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, Vrin, 1968, p. 37-50.

– « Le rôle de l'épistémologie dans l'historiographie des sciences contemporaine » (1976), dans *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie*, Paris, Vrin, 1993, p. 10-29.

– « L'objet de l'histoire des sciences » (1966), dans *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, Vrin, 1968, p. 9-23.

– « Qu'est-ce qu'une idéologie scientifique ? » (1969), dans *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie*, Paris, Vrin, 1993, p. 33-45.

– « Sur l'histoire des sciences de la vie depuis Darwin » (1971), dans *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie*, Paris, Vrin, 1993, p. 101-119.

– *La Formation du concept de réflexe au XVII e et XVIII e siècles*, Paris, P.U.F., 1955.

CASSIRER E., *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, 2 vol., Berlin, B. Cassirer, 1906-1907.

CAVEING M., « Qu'est-ce qu'un artefact en histoire des sciences », dans *Hommage à Jean-Toussaint Desanti*, Mauvezin, T.E.R., 1991, p. 111-142.

CHALMERS A., et NICHOLAS R., « Galileo and the Dissipative Effects of a Rotating Earth », *Studies in the History of Science*, 14, 1983, p. 315-340.

CLAVELIN M. « Le copernicianisme padouan de Galilée », in *Tribute to Galileo in Padua. Atti delle celebrazioni galileiane (1592-1992),* Trieste, Lint, 1995, p. 149-166.

– *La Philosophie naturelle de Galilée,* 1 re éd., 1968 ; 2 e éd., Paris, Albin Michel, 1996.

COFFA J. A., « Galileo's concept of inertia », *Physis*, 10, 1968, p. 262-281.

COHEN I. B., « "Quantum in se est" : Newton's Concept of Inertia in Relation to Descartes and Lucretius », *Notes and Records of the Royal Society of London*, 19, 1964, p. 131-155.

COSTABEL P., « Essai critique sur quelques concepts de la mécanique cartésienne » (1967), repris dans *Démarches originales de Descartes savant*, Paris, Vrin, 1982, p. 141-158.

DAMEROW P., FREUDENTHAL G., MCLAUGHLIN P., et RENN J., *Exploring the Limits of Preclassical Mechanics*, New York-Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, 1992.

DE BUZON F., et CARRAUD V., *Descartes et les* Principia II, Paris, P.U.F., 1994.

DES CHENE D., *Natural Philosophy in Late Aristotelian and Cartesian Thought*, Ithaca-London, Cornell University Press, 1996.

DRABKIN I. E., et DRAKE, S., 1969, *Mechanics in Sixteenth-Century Italy. Selections from Tartaglia, Benedetti, Guido Ubaldo and Galileo*, Madison-Milwaukee-London, The University of Wisconsin Press.

DRAKE S., « Galileo Gleanings XVII », *Physis*, 10, 1968, p. 282-298.

ENGEL P., « Retour Aval », *Les Études philosophiques*, 4, 1999, p. 453-463.

FESTA E., et ROUX S., « La moindre petite force peut mouvoir un corps sur un plan horizontal. L'émergence d'un principe mécanique et son devenir cosmologique », *Galileiana*, 3, 2006.

FEYERABEND P., « Explanation, reduction and empirism », in *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, H. Feigl et G. Maxwell (ed.), vol. 3, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1962, p. 29-97.

– « Putnam on incommensurability », *The British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 38, n° 1, 1987, p. 75-81.

FICHANT M., « L'idée d'une histoire des sciences », dans *Sur l'Histoire des sciences*, Paris, Maspero, 1968, p. 96-139.

– « Cassirer et les commencements de la science classique » (1990), dans *Science et métaphysique dans Descartes et Leibniz*, Paris, P.U.F, 1998, p. 373-402.

FINACCHIARO M., « Physico-mathematical Reasoning : Galileo on the Extruding Power of Terrestrial Rotation », *Synthese*, 134, 2003, p. 217-244.

FOUCAULT M., *L'Ordre du discours. Leçon inaugurale du Collège de France*, Paris, Gallimard, 1971.

GABBEY A., « Force and Inertia in the Seventeenth Century : Descartes and Newton », in *Descartes : Philosophy, Mathematics and Physics*, S. Gaukroger (ed.), Brighton, The Harvester Press/Barnes and Noble Books, 1980, p. 230-319.

GARBER D., *Descartes' Metaphysical Physics*, Chicago, Chicago University Press, 1992.

GOLDSTEIN C., *Un Théorème de Fermat et ses lecteurs*, Saint-Denis, Presses universitaires de Vincennes, 1995.

GUEROULT M., « Métaphysique et physique de la force chez Descartes et chez Malebranche », *Revue de métaphysique et de morale*, 59, 1954, p. 1-37 et p. 113-134.

HANSON N. R., *Patterns of Discovery : An Enquiry into the Conceptual Foundations of Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1958.

HERIVEL J., *The Background to Newton's Principia. A Study of Newton's Dynamical Researches in the Years 1664-1684*, Oxford, Oxford University Press, 1965.

HOOK E. B., (ed.), *Prematurity in Science Discovery. On Resistance and Neglect,* Berkeley-Los Angeles-London, University of California Press, 2000.

HUDSON R. G., « Discoveries, When and By Whom ? », *British Journal for the Philosophy of Science*, 52, 2001, p. 75-93.

KITCHER P., « Implications of Incommensurability », *in Proceedings in the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association (1982)*, Chicago, Chicago University Press, 1982, vol. 2, p. 689-703.

– « Theories, Theorists and Theoretical Changes », *Philosophical review*, vol. 87, n° 4, 1978, p. 519-547.

KOYRÉ A., *Chute des corps et mouvement de la Terre de Kepler à Newton*, trad. fr. par J. Tallec, Paris, Vrin, 1973.

– *Études galiléennes,* Paris, Hermann, 1966.

– *Études newtoniennes,* Paris, Gallimard, 1968.

KUHN T. S., « Commensurability, Comparability, Communicability », *in Proceedings in the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association (1982)*, Chicago, Chicago University Press, 1982, vol. 2., p. 669-688.

– « En repensant aux paradigmes », dans *La Tension essentielle. Tradition et changement dans les sciences,* trad. fr. par M. Biezunski, P. Jacob, A. Lyotard-May et G. Voyal, Paris, Gallimard, 1990.

– « La structure historique de la découverte scientifique » (1962), dans *La Tension essentielle. Tradition et changement dans les sciences,* trad. fr. par M. Biezunski, P. Jacob, A. Lyotard-May et G. Voyal, Paris, Gallimard, 1990, p. 231-243.

– *La Structure des révolutions scientifiques* (1962, 1970), trad. fr. par L. Meyer, Paris, Flammarion, 1983.

LASSWITZ K., *Geschichte der Atomistik vom Mittelalter bis Newton*, 2 vol., Hambourg/Leipzig, L. Voss, 1890 ; réimp. Hildesheim, G. Olms, 1963, 1984.

LERNER M.-P., *Le Monde des sphères,* 2 vol., Paris, Les Belles Lettres, 1996-1997.

LIBERA A. DE, « Le relativisme historique : théorie des complexes-questions-réponses », *Les Études philosophiques*, 4, 1999, p. 479-490.

MACH E., *La Mécanique. Exposé historique et critique de son développement*, trad. fr. par E. Bertrand, Paris, A. Hermann, 1904.

MCLAUGHLIN P., « Force, determination and impact », *Descartes' natural Philosophy*, S. Gaukroger, J. Schuster et J. Sutton (ed.), London-New York, Routledge, 2000, p. 81-112.

MCMULLIN E., *Newton on Matter and Activity*, Notre Dame-London, Notre Dame University Press, 1978.

MEYERSON E., *Identité et réalité* (1907), 5 e éd., Paris, Vrin, 1951.

MOSCOVICI S., *L'Expérience du mouvement. Jean Baptiste Baliani disciple et critique de Galilée*, Paris, Hermann, 1967.

NARDI A., « Poids et vitesse, Descartes « presque » galiléen, 18 février 1643 », *Revue d'Histoire des Sciences*, 39-1, 1986, p. 3-16.

PAINLEVÉ P. « Les axiomes de la mécanique et le principe de la causalité », *Bulletin de la Société française de philosophie*, tome V, 5 e année, p. 27-50.

PALMERINO C. R., « Galileo's Theories of Free Fall and Projectile Motion as Interpreted by Pierre Gassendi », in *The Reception of the Galilean Science of Motion in Seventeenth-Century Europe*, C. R. Palmerino et J. M. M. H. Thijssen (eds.), Dortrecht-Boston-London, Kluwer Academic Publishers, 2004, p. 137-164.

PANACCIO C., « La philosophie analytique et l'histoire de la philosophie », *Cahiers d'épistémologie*, 255, 1999, et dans *Précis de philosophie analytique*, P. Engel (éd.), Paris, P. U.F., 2001, p. 325-344.

PAV P. A., « Gassendi's Statement of the Principle of Inertia », *Isis*, vol. 57-1, n ° 187, 1966, p. 24-34.

– *Pierre Gassendi. 1592-1655. Sa vie et son œuvre*, Paris, Albin Michel, 1955.

ROSENBERGER F., *Die Geschichte der Physik in Grundzügen mit synchronistischen Tabellen der Mathematik, der Chemie und beschreibenden Naturwissenschaften sowie der allgemeinen Geschichte*, 3 vol. en 2 t., Braunschweig, F. Viewieg, 1882-1890 ; réimp. Hildesheim, G. Olms, 1965.

ROUX S., *La Philosophie mécanique (1630-1690)*, thèse de doctorat non publiée, Paris, EHESS, 1996.

SABRA A. I., *Theories of Light from Descartes to Newton*, London, Oldbourne, 1967.

SÉRIS J.-P., *Machine et communication*, Paris, Vrin, 1987.

TANNERY P., « Galilée et les principes de la dynamique », *Revue générale des sciences*, 13, 1901, p. 330-338.

WESTFALL R., *Force in Newton Physics. The Science of Dynamics in the 17th Century*, London-New York, MacDonald-Elsevier, 1971.

WOHLWILL E., « Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes », *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft*, 1883, bd. 14, p. 365-410, et 1884, bd. 15, p. 70-135 puis p. 337-387.