

« Si on ignore le mouvement, on ignore nécessairement aussi la nature »

[Aristote, *La Physique*, Livre III, 200b 14]

*Dans la première moitié du XVII<sup>e</sup> siècle, la physique aristotélicienne, vieille de quelque deux mille ans, semble vouée à disparaître sous le poids grandissant des découvertes inexplicables et accumulées depuis la fin du Moyen Âge. Néanmoins, pour pouvoir la renverser intégralement, il importe de lui substituer une science du mouvement cohérente, un autre système du monde capable d'apporter une explication aux phénomènes observés. C'est précisément cette tâche ambitieuse que s'impose de remplir un philosophe et mathématicien de génie : René Descartes.*

Il ne fait aucun doute que le XVII<sup>e</sup> siècle a marqué à jamais l'histoire des sciences par la révolution scientifique dont il a été le terrain. Les acteurs de cette extraordinaire transformation ne se sont pas contentés de détruire la physique d'Aristote : conscients que celle-ci était à bout de souffle, aux limites de ses capacités d'expliquer les phénomènes qui nous entourent et de répondre aux attentes d'une société de plus en plus désireuse de dominer son environnement, ils ont fondé une nouvelle science du mouvement, un nouveau système du monde. Cependant, pour voir le jour, cette physique a dû être nécessairement accompagnée d'une profonde rupture conceptuelle avec la tradition aristotélicienne. Et cette rupture n'a été

réalisable qu'en adoptant une nouvelle approche de la nature, en s'appuyant sur la méthode expérimentale et en recourant à un langage approprié – celui des mathématiques – afin d'énoncer les lois décrivant les phénomènes naturels.

C'est donc dans ce contexte que nous nous plongerons au cours de cet article consacré à la mécanique cartésienne. Néanmoins, avant d'entrer dans le vif du sujet, il nous sera utile de présenter rapidement les points essentiels de la doctrine aristotélicienne afin de saisir toute l'importance du bouleversement intellectuel que le XVII<sup>e</sup> siècle nous a laissés en héritage et dont Descartes fut l'un des principaux instigateurs.

## La physique aristotélicienne

Aristote, né à Stagire en Macédoine au IV<sup>e</sup> siècle avant J.-C., développe sa philosophie essentiellement à Athènes. Sa doctrine est profondément marquée par l'influence de la tradition philosophique grecque – les physiciens ioniens (Thalès, Anaximandre et Anaximène) aussi bien que les Éléates (Parménide et Zénon d'Élée) par l'intermédiaire de son maître, Platon [Kahn (1991)]. Elle forme ainsi une synthèse de la pensée grecque, extraordinaire de par l'ampleur du domaine qu'elle traite – du ciel jusqu'aux êtres vivants. Et seul un génie de la trempe d'Aristote peut aboutir à un système si profondément cohérent, au point d'imposer son autorité sur la pensée occidentale jusqu'aux portes du XVII<sup>e</sup> siècle.

Selon cette doctrine, le cosmos est un système clos et hiérarchisé [Koyré (1966), p. 17-24 ; Crubellier et Pellegrin (2002), p. 235-360]. Il se divise en deux régions fondamentalement différentes : le monde céleste (supralunaire) et le monde terrestre (sublunaire). Tous deux se distinguent mutuellement par leur nature et les principes qui les gouvernent. En somme, deux mondes, deux physiques !

La région supralunaire est parfaite, ce qui implique son immuabilité et l'incorruptibilité des corps qui la constituent. Tout changement altérerait en effet son état de perfection. Ce système, borné par la sphère des étoiles fixes, est géocentrique. La Terre occupe le centre du cosmos, autour duquel planètes, lune et soleil opèrent leur révolution selon le modèle des sphères homocentriques hérité d'Eudoxe (voir Figure 1), un contemporain de Platon [Verdet (1991), p. 41-48].

A l'inverse, le monde terrestre se caractérise par le changement, et les éléments composant les corps terrestres par leur corruptibilité. Ceux-ci sont dotés de qualités – gravité, légèreté, dureté, etc. – qui font partie de leur nature et qui sont les causes des phénomènes impliquant ces corps. La physique terrestre est basée sur une expérience faite quotidiennement : les corps pesants tombent comme une pierre, tandis que les corps légers s'élèvent comme le feu. Ces mouvements sont qualifiés par Aristote de « naturel », car c'est dans la nature des corps

lourds de tomber et des corps légers de s'élever. Pour l'un et l'autre, c'est vers leur « lieu naturel » qu'ils se dirigent. Par conséquent, la physique dans le monde sublunaire repose sur l'existence de lieux privilégiés.

Le mouvement naturel est l'acte, le *processus* par lequel le corps *est en devenir*, par lequel il s'exprime et grâce auquel le corps peut être lorsqu'il a rejoint son lieu naturel. L'importance de la distinction conceptuelle entre un corps en mouvement et un corps occupant son lieu naturel nécessite l'introduction par Aristote des notions de « puissance » et d'« acte ». Une pierre qui tombe n'est pas une pierre au sens strict, mais une pierre « en puissance » – elle peut *devenir* pierre. Ainsi dans sa chute, elle se réalise à mesure qu'elle s'approche du sol, son lieu naturel. Une fois celui-ci atteint, la pierre est pierre « en acte ».

Ainsi chaque corps, dès lors qu'il gagne son lieu naturel, ne le quitte plus et se maintient dans son *état de repos*. Ayant rejoint son lieu naturel dans lequel il est

désormais en acte, il n'a en effet aucune raison de s'en écarter, à moins que ne s'en charge une cause extérieure en lui imprimant un « mouvement violent ». En somme, Aristote distingue deux types de mouvement – naturel et violent – opérant de façon diamétralement opposée. Il s'ensuit nécessairement que leur combinaison est impossible. En effet, le corps mû ne peut simultanément s'approcher et s'éloigner de son lieu naturel ; dans le cas contraire, ils se gêneraient (voir Encart 1).

Le mouvement est un processus qui affecte le mobile ; c'est grâce à lui que ce dernier peut exprimer sa nature, s'actualiser. Ainsi le mouvement est dans le corps ; il lui appartient et n'est aucunement en relation avec ce qui se passe autour de lui, ni avec la source de son mouvement ni avec les autres corps – autrement dit, le mouvement selon Aristote n'est pas relatif mais *absolu*. Dès lors, une pierre lâchée du haut du mât d'un bateau voguant sur la mer ne tombe pas au pied de ce mât, mais en arrière de celui-ci.

Dans sa chute, la pierre ne s'approprie aucunement le mouvement du bateau duquel elle est lâchée ; elle tombe tout droit vers son lieu naturel pendant que l'embarcation continue sa progression sur les flots. Par conséquent, en suivant le même raisonnement, il s'ensuit naturellement que la Terre doit être immobile. En effet, si tel n'était pas le cas, toute personne lâchant

une pierre ne la verrait pas tomber à leur pied, mais un peu plus loin. De même, les nuages et les oiseaux ne pourraient se déplacer selon la direction du vent ou selon leur désir, mais seraient éjectés dans la direction opposée au sens de la rotation terrestre. Or, ce n'est pas ce que nous observons, ce qui démontre, selon les aristotéliens, que la Terre ne peut être qu'immobile.

Ce rapide exposé de la physique aristotélienne nous a permis de soulever un point fondamental : *mouvement et repos* s'opposent comme la lumière et les ténèbres. Le premier est un *processus* au cours duquel le corps *est en puissance* ; le deuxième est un *état*, dans lequel le corps *est en acte*. Autrement dit, le repos est une sorte d'équilibre car c'est l'état dans lequel se trouve un corps lorsqu'il occupe son lieu naturel. Le mouvement, quant à lui, rompt cet équilibre (mouvement violent) ou tente de le rétablir (mouvement naturel). Ce point est particulièrement important à saisir pour apprécier l'importance de la rupture conceptuelle que René Descartes formalise sous forme de *lois de la nature* dans son ouvrage majeur : les *Principia Philosophiae*.

### Effondrement de l'édifice aristotélien

A la Renaissance, l'édifice aristotélien tombe en ruine. Trop nombreux sont les désaccords entre les observations et les arguments théoriques. Si la doctrine du Stagirite fait encore parler d'elle, si l'on s'en réfère encore, c'est parce qu'aucun autre système ne semble être prêt à prendre sa place. En somme, la Renaissance est une période de transition entre l'ancien et le nouveau monde, « une époque où l'on peut croire que tout est possible » [Koyré (1973)].

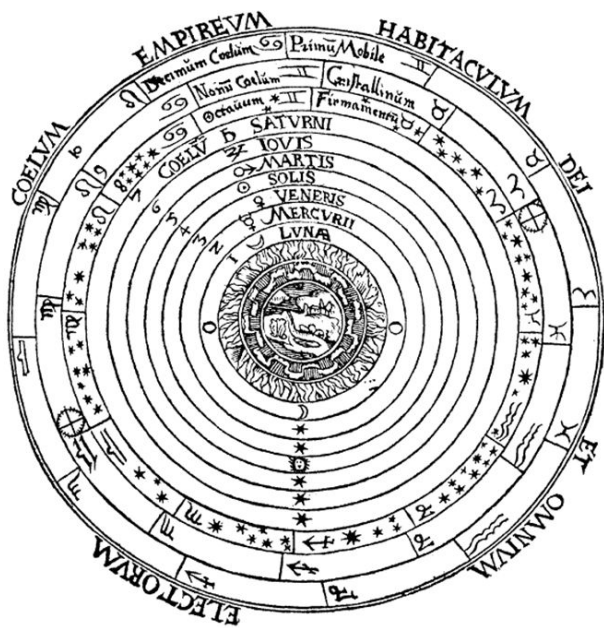


Figure 1 : Représentation du système de sphères célestes (d'après Peter Apiani, *Cosmographia*, Anvers, 1539)

Mais en 1543 paraît le *De revolutionibus orbium caelestium* de Nicolas Copernic (1473-1543) [trad. fr. in Copernic (1970)]. En plaçant non plus la Terre mais le Soleil au centre de l'univers, l'astronome polonais sème le germe de la révolution du XVII<sup>e</sup> siècle. En réalité, ce n'est qu'à partir de Kepler que son système héliocentrique est pleinement exploité. En effet, Copernic maintient une argumentation largement aristotélicienne. Selon lui, le mouvement de la Terre fait partie de son mouvement naturel. D'autre part, tous les corps terrestres, même s'ils ne sont pas en contact avec la Terre, lui sont physiquement reliés. Ainsi cela expliquerait pourquoi nuages et oiseaux ne seraient pas affectés par le déplacement de la Terre de l'occident vers l'orient. Cependant, cette argumentation est – à juste titre – trop faible pour convaincre les partisans du système traditionnel car, si ces corps étaient animés d'un mouvement naturel vers la droite, comment pourrait-on les déplacer vers la gauche ?

En somme, on voit apparaître ici que le problème scientifique dont il est question ne peut être résolu qu'en l'accompagnant d'une rupture ontologique radicale avec les conceptions traditionnelles du mouvement. Comme nous allons le voir, l'œuvre de Descartes apparaît fondamentale. Il semble légitime de penser que sans elle, Newton n'aurait probablement pas été à même d'élaborer sa vision du monde dont nous sommes toujours les héritiers.

### Du lycée La Flèche au Monde

C'est le 31 mars 1596 que René Descartes voit le jour dans la petite ville de La Haye en Touraine.

Il entre au collège La Flèche peu de temps après sa création par des jésuites en 1603. Bien que ceux-ci soient ouverts aux nouvelles découvertes faites par Galilée (en particulier les satellites de Jupiter), il y reçoit néanmoins l'enseignement de la doctrine aristotélicienne tel que prodigué à la fin du Moyen Âge [Chevalier (1942), p. 24-56].

Très tôt, Descartes s'intéresse aux mathématiques et obtient dès 1619 des résultats remarquables dans ce domaine. La méthode rigoureuse de démonstration pratiquée par les mathématiciens, dépourvue de toute l'obscurité qui encombre la philosophie scolastique, le fascine et – ainsi qu'il l'écrivit le 26 mars 1619 à Isaac Beeckman – lui inspire l'idée de fonder une « science nouvelle » :

« [...] une science toute nouvelle, qui permette de résoudre en général toutes les questions qu'on peut se proposer en n'importe quel genre de quantité, continue ou discontinue, chacune suivant sa nature. [...] Quel projet ambitieux, c'est à peine croyable ! Mais dans le chaos obscur de cette science j'ai aperçu je ne sais quelle lumière, grâce à laquelle les plus épaisses ténèbres pourront se dissiper ». [Lettre de Descartes à Isaac Beeckman, 26 mars 1619 ; A. T., vol. X, p. 156-158 ; trad. fr. in Shea (1997), p. 542].<sup>1</sup>

Au cours des années suivantes, Descartes entreprend donc d'appliquer à la physique la méthode mathématique. Pour lui, la domination séculaire de l'édifice aristotélicien lui semble définitivement révolue. Il ne s'agit donc plus de lui adresser quelque critique, d'en souligner les erreurs, les contradictions – comme le fera encore plus tard Galilée dans son *Dialogue* [Galilée

(1632)] – mais, pour reprendre la formule d'Alexandre Koyré, de « construire, ou de reconstruire, le monde et de le faire en procédant *a priori*, en descendant aux effets des causes, et non en remontant aux causes des effets » [Koyré (1966), p. 318]. Ainsi il rejette rapidement le réalisme des qualités de la scolastique et tente de les expliquer par des principes premiers reposant sur une nouvelle métaphysique. Il y parvient en construisant sa nouvelle physique fondée sur deux notions : étendue et mouvement. Dès 1629, il entame la rédaction d'une œuvre dans laquelle il expose cette nouvelle physique, comme en témoigne une lettre du 13 novembre envoyée au Père Marin Mersenne (1588-1648) :

« [...] depuis le tans que je vous avois escrit il y a un mois, je n'ay rien fait du tout qu'en tracer l'argumant, et au lieu d'expliquer un Phaenome seulesant, je me suis resolu d'expliquer tous les Phaenomenes de la nature, c'est à dire toute la Physique. Et le dessein que j'ay me contente plus qu'aucun autre que j'aye jamais eû, car je pense avoir trouvé un moyen pour exposer toutes mes pensees en sorte qu'elles satisferont a quelques uns & que les autres n'auront pas occasion d'y contredire. » [Lettre de Descartes à Mersenne, 13 novembre 1629 ; A. T., vol. I, p. 70].

Cette œuvre est ce qu'il appellera souvent son *Monde* ou encore la *fable du monde* [Blay (1998), p. 324-326]. Et même s'il y est question d'un monde imaginaire, lointain, auquel Dieu a imposé ses lois, on ne peut pas s'y tromper : c'est bel et bien le nôtre que Descartes décrit. Cette façon de présenter les choses lui est propre et souligne une approche radicalement différente de celle de

<sup>1</sup> Afin d'alléger les notes, nous indiquons par A. T., suivi du numéro de volume, les références aux œuvres et à la correspondance de Descartes édités par Adam et Tannery (1897-1910).

### Encart 1 : Doctrine aristotélicienne et théorie de l'*impetus*

La doctrine aristotélicienne considère deux types de mouvement (*naturel* et *violent*). Ils sont antagonistes et ne peuvent donc se combiner. Par conséquent, le boulet projeté brutalement par une cause extérieure – la déflagration dans le canon – se meut de façon rectiligne (voir Figure 2). Selon Aristote, le mouvement violent se maintient par le rôle moteur que l'air jouerait. Mais en même temps, la résistance du milieu sur le corps pesant freine sa progression jusqu'à en annuler la vitesse de déplacement au point *p* ; c'est alors que le boulet entame la phase de chute libre, c'est-à-dire son mouvement *naturel*.

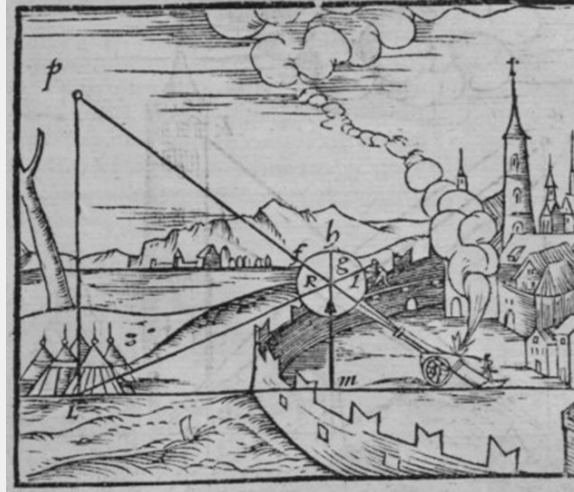


Figure 2 : Représentation de la trajectoire d'un boulet de canon en s'inspirant de la tradition aristotélicienne (d'après Daniele Santbech, *Problemata Astronomica et Geometrica*, 1561, p. 239)

Cependant, dès le XIV<sup>e</sup> siècle, l'idée que l'air peut jouer un rôle moteur dans le mouvement violent (l'ascension du projectile) est peu à peu contestée, notamment par Jean Buridan qui lui oppose le concept d'*impetus* (l'élan, l'impulsion). Selon cette théorie (voir Figure 3), c'est l'*impetus* communiqué au boulet par le canon qui joue le rôle de puissance motrice, et le propulse selon une droite. Mais petit à petit, l'*impetus* s'amenuise jusqu'à disparaître complètement, laissant le mobile sans moteur, entraînant ainsi un fléchissement de la trajectoire avant la chute libre verticale et absolument rectiligne.

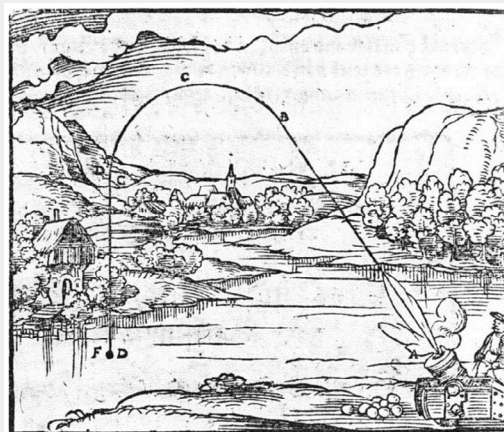


Figure 3 : Illustration de la théorie de l'*impetus* (d'après Walther Hermann Ryff, 1582)

L'avantage de la trajectoire ainsi décrite par la théorie de l'*impetus* est d'être plus réaliste en ne présentant pas l'angle étrange auquel la doctrine aristotélicienne nous laissait croire. De plus, c'est un pas remarquable dans la direction du concept d'inertie, dans la mesure où l'on peut voir dans l'*impetus* une sorte de *quantité de mouvement*. Notons que cette théorie connut un succès durable ; Galilée lui-même y souscrivit dans sa jeunesse, avant de montrer la nature parabolique de ces trajectoires et de dévoiler les principes physiques sous-jacents [Thuillier (1988)].

Galilée. Alors que le savant florentin, dans toute son œuvre, a pour dessein de comprendre la nature telle qu'elle est, pour Descartes, il s'agit au contraire d'expliquer le monde comme il doit être et, par conséquent, d'énoncer les lois auxquelles la nature ne peut que se plier [Koyré (1966), p. 138-139].

Cependant, il apprend la seconde condamnation de Galilée en 1633, suite à la publication du *Dialogue* un an plus tôt. Inquiet de subir le même jugement, il met un terme à la rédaction de son *Monde* et perd, par la même occasion, quatre ans de travail [Blay (1998), p. 320-322]. Cette œuvre ne sera finalement publiée pour la première fois qu'en 1664, à titre posthume. Il reprend néanmoins le travail et, en 1644, expose sa science du mouvement dans ses *Principia philosophiæ*<sup>2</sup> [A. T., vol. VIII]. Le style est plus clair, le texte mieux ordonné, plus pédagogique. Cette fois-ci, en préférant le latin au français, il s'adresse non plus à l'honnête homme cultivé mais aux écoles, aux universités, au monde savant [Koyré (1966), p. 333]. C'est par le biais de cet ouvrage que la mécanique cartésienne rayonnera sur l'Europe entière dans la seconde moitié du XVII<sup>e</sup> siècle.

## Matière et mouvement

Dans le contexte de la chute de la physique ancienne, Descartes doit définir les bases métaphysiques sûres et nécessaires à la construction d'une philosophie nouvelle. Dans sa préface de la version française des *Principia Philosophiæ*, on peut lire ceci :

« *il est nécessaire qu'elle [la connaissance] soit déduite des premières causes, en sorte que, pour estudier à l'acquérir, ce qui se nomme proprement philosopher, il faut commencer par la recherche de ces premières causes, c'est à dire des Principes ; & que ces Principes doivent avoir deux conditions : l'une, qu'ils soient si clairs & si évidens que l'esprit humain ne puisse douter de leur vérité, lorsqu'il s'applique avec attention à les considerer ; l'autre, que ce soit d'eux que dépende la connoissance des autres choses, en sorte qu'ils puissent estre connus sans elles, mais non pas réciproquement elles sans eux ; & qu'après cela il faut tascher de déduire tellement de ces principes la connoissance des choses qui en dépendent, qu'il n'y ait rien, en toute la suite des deductions qu'on en fait, qui ne soit tres-manifeste.* » [A. T., vol. IX, p. 2]

Son approche se veut donc logique, axiomatique dans la mesure où il a pour dessein de révéler des principes premiers – des axiomes – qu'il considère comme certains et à partir desquels il élabore sa science du mouvement.

Depuis sa jeunesse, Descartes consacre une grande partie de son activité à la géométrie, et son intérêt pour cette branche des mathématiques n'est pas sans conséquences sur ses conceptions physiques de la nature. En réalité, il considère la physique comme une manière de « *cultiver une autre sorte de Géométrie, qui se propose pour questions l'explication des phainomenes de la nature* » et, ainsi qu'il l'écrit à son ami le P. Mersenne en 1638, insiste sur le fait que « *toute [sa] Physique n'est autre que Géométrie* » [A. T., vol. II, p. 268]. Cette subordination

de la physique à la géométrie lui permet d'éliminer toutes les qualités que les aristotéliens attribuaient à la matière – gravité, légèreté, etc. – pour ne garder que la seule d'ordre géométrique, à savoir son extension en longueur, largeur et profondeur :

« [...] nous sçaurons que la nature de la matiere, ou du corps pris en general, ne consiste point en ce qu'il est une chose dure, ou pesante, ou colorée, ou qui touche nos sens de quelque autre façon, mais seulement en ce qu'il est une substance estenduë en longueur, largeur & profondeur » [A. T., vol. IX, seconde partie, art. 4, p. 65].

Toute autre qualité doit être expliquée mécaniquement, c'est-à-dire par la taille, la forme, l'arrangement et le mouvement de ces substances géométriques agissant sur nos organes sensoriels.

D'autre part, la seule qualité de la matière étant son extension, il lui paraît inconcevable qu'une région de l'espace, aussi petit soit-elle, puisse être dépourvue de matière, car si tel était le cas, le vide partagerait la même qualité (l'extension) que la matière. Il en déduit, en toute logique, que le vide ne peut exister. En somme, la matière cartésienne s'identifie à son étendue, de sorte qu'on peut parler tout simplement de *matière-étendue*.

Dans la physique aristotélienne, nous l'avons vu, mouvement et repos sont diamétralement opposés : le premier est un processus, le deuxième un état. Descartes rompt radicalement avec cette conception du mouvement. Le mouvement n'est plus un processus maintenu par une cause – les

<sup>2</sup> Trois ans plus tard paraît une version française sous le titre *Les principes de la philosophie*, rédigée par l'Abbé Picot et probablement révisée – du moins en partie – par Descartes lui-même, contenant des ajouts, plusieurs imprécisions et négligences par rapport à la version latine. Par conséquent, elles ne peuvent être considérées comme strictement équivalentes, au désavantage de la version française [cf. Avertissement, A. T., vol. IX, p. VII-XVIII; Herivel (1988), p. 470]. Néanmoins, c'est à celle-ci que nous ferons référence.

## Encart 2 : Galilée et le concept d'inertie

En 1632, Galilée publie son *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, le fameux ouvrage qui lui vaudra l'année suivante une seconde condamnation de l'Église. Les deux systèmes qui s'affrontent en cette première moitié du 17<sup>e</sup> siècle sont celui d'Aristote et le système héliocentrique auquel Galilée souscrit. Suivant l'approche typiquement platonicienne, il utilise le débat d'idées – le *dialogue* – pour susciter en chacun – y compris les défenseurs des conceptions traditionnelles – l'éveil de la vérité. Ce dialogue met en scène trois personnages : Simplicio, partisan des objections aristotéliennes au nouveau système du monde ; Salviati, représentant Galilée lui-même ; et Sagredo, honnête homme cultivé et ouvert aux idées nouvelles.

Au cours de la deuxième journée réunissant nos trois acteurs, Salviati invite Simplicio à une expérience de pensée consistant à imaginer le comportement d'une bille roulant sur un plan incliné parfaitement lisse. Après avoir convenablement décrit le mouvement accéléré de la bille, Salviati questionne son interlocuteur sur la façon avec laquelle elle devrait se mouvoir sur le plan, disposé cette fois-ci à l'horizontale. L'aristotélien, avec l'aide de Salviati, arrive naturellement à la conclusion que si rien n'arrête le mouvement de la bille sur ce plan, celui-ci se maintiendra à jamais :

**Salviati** : « Si donc l'on supposait cet espace [le plan horizontal] sans fin, le mouvement sur cet espace serait également sans fin, c'est-à-dire perpétuel ? »

**Simplicio** : « Il me semble que oui, pourvu que le mobile soit d'un matériau qui puisse durer. » [Galilée (1632), p. 268]

À ce stade, nous pourrions nous laisser convaincre que Galilée a correctement saisi le mouvement inertiel. Mais la suite nous prouve – dans une certaine mesure – le contraire. En effet, sur le plan incliné, la bille accélère ou décélère selon que son mouvement est dirigé vers le bas ou vers le haut du plan. Corollairement, pour observer le mouvement perpétuel du mobile, celui-ci devrait reposer sur une surface qui ne monte ni ne descend. Par conséquent, comme le soutient Salviati : « pour qu'une surface ne monte ni ne descende, il faudrait qu'en toutes ses parties, elle se situe à égale distance du centre [de la Terre] » [Galilée (1632), p. 268]. Ainsi la forme géométrique que tracerait un corps en mouvement inertiel sur Terre ne serait pas une *droite*, mais un *cercle* : « Sur le plan horizontal, jamais il [le mobile] n'atteindra naturellement la moindre vitesse, puisque jamais il ne se mettra en mouvement. Or le mouvement sur une horizontale qui ne descend ni ne monte est un mouvement circulaire autour du centre ; [...] une fois acquis, il se perpétuera avec une vitesse uniforme » [Galilée (1632), p. 120].

La raison de son échec à établir correctement le principe d'inertie est double. D'une part, il ne fait jamais abstraction de la pesanteur. Et pour cause : sa physique, que l'on nomme parfois *physique de la pesanteur* est basée sur cette notion – sa fameuse étude de la chute des corps illustre bien ce point. Or, le principe d'inertie ne peut être établi qu'en se libérant de ce *fait*. D'autre part, malgré le caractère novateur de sa démarche et de sa pensée, Galilée reste toujours sous l'emprise des philosophes grecs – en particulier de Platon – et attribue ainsi une place privilégiée au cercle : « en dehors du repos et du mouvement circulaire, il n'y a pas d'autre mouvement qui puisse conserver l'ordre » [Galilée (1632), p. 124]. Notons par ailleurs qu'à aucun moment, il n'intègre dans son ouvrage les lois empiriques précédemment établies par Kepler, dont l'une affirme le caractère elliptique – et non circulaire – des orbites planétaires. Toutefois, les avancées majeures accomplies par le savant florentin sont telles qu'encore aujourd'hui subsiste la conviction chez certains – même parmi les plus éminents scientifiques – que Galilée est le premier à avoir parfaitement énoncé le principe d'inertie.

qualités du corps – et par lequel un corps rejoint son lieu naturel par un mouvement naturel ou s'en éloigne après impression d'un mouvement violent; il est un *état* au même titre que le repos :

« *que le mouvement & le repos ne sont rien que deux diverses façons dans le corps où ils se trouvent* » [A. T., vol. IX, seconde partie, art. 27, p. 77].

Cette rupture est profonde, fondamentale. Sans brûler trop rapidement les étapes de son raisonnement déductif, nous comprenons bien que désormais, le mouvement d'un corps peut per-

durer sans l'existence d'une cause ou d'un moteur. En attribuant la même valeur ontologique au repos et au mouvement, Descartes ouvre les portes de la science moderne dont l'élaboration trouvera sa forme définitive dans l'œuvre de Newton.

## Dieu et les lois de la nature

Dès 1630, Descartes conçoit Dieu comme le créateur des vérités éternelles et immuables. Ainsi dans la nature, ces vérités éternelles apparaissent comme des lois auxquelles cette nature ne peut qu'obéir et qui ne peuvent changer :

« [...] c'est Dieu qui a établi ces lois en la nature, ainsi qu'un Roy établist des lois en son Royaume. [...] On vous dira que si Dieu avoit établi ces vérités, il les pourroit changer comme un Roy fait ses lois ; a quoy il faut respondre qu'ouy, si sa volonté peut changer. – Mais je les comprends comme éternelles & immuables. – Et moy je juge le mesme de Dieu » [A. T., vol. I, p. 145-146].

Cette thèse métaphysique joue un rôle fondamental dans les *Principia*. C'est en effet en s'appuyant sur cet axiome de l'immutabilité divine qu'il énonce le principe de la conservation de la quantité de mouvement [Devilleirs (2001), p. 303-314] :

« Que Dieu est la première cause du mouvement, & qu'il en conserve tous-jours une égale quantité en l'univers. [...] puis qu'il a meu en plusieurs façons différentes les parties de la matière, lors qu'il les créees, & qu'il les maintient toutes en la mesme façon & avec les mesmes loix qu'il leur a fait observer en leur creation, il conserve incessamment en cette matière une égale quantité de mouvement » [A. T., vol. IX, seconde partie, art. 36, p. 84].

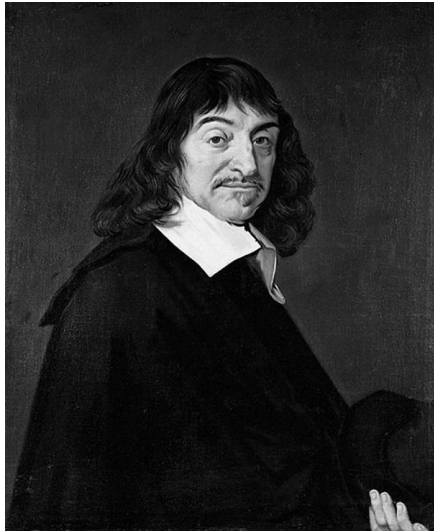


Figure 4 : René Descartes vers la fin de sa vie (1648)

Cette quantité de mouvement est donc définie par ce qui caractérise les deux pôles de sa philosophie mécanique – matière-étendue et mouvement –, à savoir le produit de l'extension d'un corps par sa vitesse :

« lors qu'une partie de la matière se meut deux fois plus vite qu'une autre, & que cette autre est deux fois plus grande que la première, nous devons penser qu'il y a tout autant de mouvement dans la plus petite que dans la plus grande. » [A. T., vol. IX, seconde partie, art. 36, p. 84]

C'est de ce principe de conservation du mouvement que découle la première loi de la nature :

**première loi de la nature** : « que chaque chose demeure en l'état qu'elle est, pendant que rien ne le change » [A. T., vol. IX, seconde partie, art. 37, p. 84].

Cette première loi, prise de manière générale, reflète l'immutabilité divine. Ainsi, par exemple, un corps garde sa forme tant qu'aucune cause extérieure ne la modifie. Dans le cas particulier du mouvement, elle constitue la première partie de ce qu'on appelle aujourd'hui le principe

*d'inertie* : tout corps en mouvement (ou au repos) a tendance à conserver son état de mouvement (ou de repos) et à résister à tout changement d'état.

Arrêtons-nous un instant sur cette loi et remontons quelques dizaines d'années en arrière jusqu'à Kepler (1571-1630), le premier savant à avoir fait appel à la notion d'*inertie*. L'*inertie* képlérienne représente la résistance interne au mouvement, résistance nécessairement présente dans tous les corps et sans laquelle ceux-ci se déplaceraient à une vitesse infinie. En ce sens, Kepler reste encore proche d'Aristote en remplaçant la nécessité d'une résistance exercée par le milieu sur un mobile par cette résistance interne [Koyré (1966), p. 186, note 2]. Mais le bouleversement philosophique qu'induit l'équivalence du mouvement et du repos implique nécessairement une transformation de la notion même d'*inertie*. Dès lors que le mouvement perd son statut de processus pour gagner celui d'état au même titre que le repos, le concept d'*inertie* prend une forme nouvelle : la résistance au changement de mouvement.

Mais quelle trajectoire suivent les corps lorsque rien ne perturbe leur mouvement ? A cette question, Descartes répond que la persistance du mouvement se fait de manière *rectiligne*, ce qu'il énonce explicitement dans sa deuxième loi de la nature :

**deuxième loi de la nature** : « que tout corps qui se meut, tend à continuer son mouvement en ligne droite » [A. T., vol. IX, seconde partie, art. 39, p. 85].

Il affirme ensuite que « Cette règle, comme la précédente [la première loi de la nature], dépend de ce que Dieu est immuable, & qu'il conserve le mouvement en la matière



Figure 5 : Frontispice du *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* de Galilée (1632)

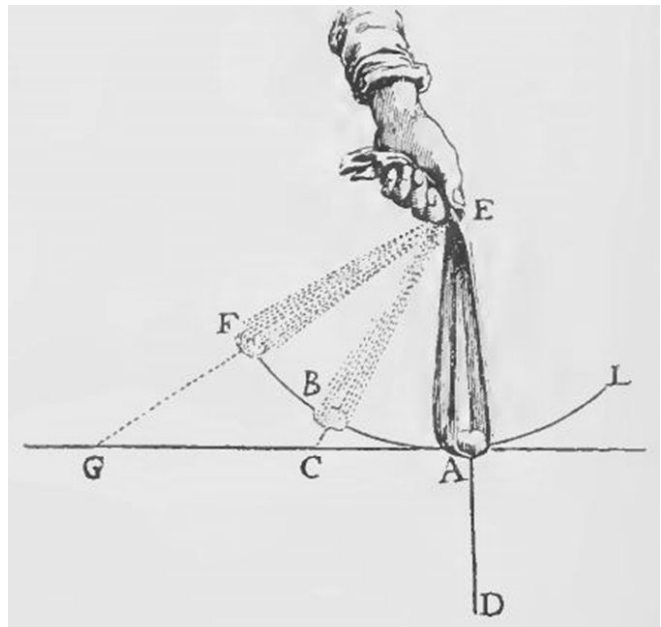


Figure 6 : Description de la trajectoire d'une pierre en rotation dans une fronde. Une fois lâchée en A, la pierre décrit non plus un cercle LABF, mais une droite ACG.

par une opération tres simple » [A. T., vol. IX, seconde partie, art. 39, p. 86]. Contrairement à Platon, Aristote, ou même Galilée, qui voyaient dans le cercle la forme la plus parfaite, Descartes conçoit la droite comme la forme la plus simple. Quant au cercle, comme toute courbe, il n'est jamais qu'une droite que l'on a courbée. De plus, le mouvement d'un corps selon une droite conserve la même direction. Il est donc plus simple qu'un mouvement circulaire dont la direction change en chaque point. Descartes illustre cette loi en prenant l'exemple d'une pierre qui, après avoir été soumise à un mouvement circulaire dans une fronde, sort de celle-ci de façon rectiligne et non en s'imprégnant du mouvement circulaire (voir Figure 6). Dans son *Monde*, il s'était même permis un jeu de mots en parlant de « mouvement droits » : rectiligne d'une part, et droit dans la

mesure où Dieu opère de façon juste :

« Donc suivant cette Règle, il faut dire que Dieu seul est l'Autheur de tous les mouvemens qui sont au monde, entant qu'ils sont, & entant qu'ils sont droits ; mais que ce sont les diverses dispositions de la matière, qui les rendent irreguliers & courbez. Ainsi que les Théologiens nous apprennent, que Dieu est aussi l'Autheur de toutes nos actions, entant qu'elles sont, & entant qu'elles ont quelque bonté ; mais que ce sont les diverses dispositions de nos volontez, qui les peuvent rendre vicieuses » [A. T., vol. XI, p. 46-47].<sup>3</sup>

S'il est vrai qu'Isaac Beeckman (1588-1637), mathématicien, physicien et philosophe néerlandais, l'un des plus importants collaborateurs et correspondants de Descartes, avait déjà formulé en 1613 une idée assez avan-

cée de ce principe<sup>4</sup>, notre savant français, en réalité, va beaucoup plus loin sur le chemin qui mène à la physique moderne. En effet, Beeckman croit encore à la persistance du mouvement circulaire [Koyré (1966), p. 108, note 2], tout comme Galilée, à qui on a souvent – et inexactement – attribué le principe d'inertie (voir Encart 2).

Nous avons vu que la quantité de mouvement est conservée dans l'univers, que tout corps ne peut être mû qu'au détriment d'un autre : ce qu'un corps gagne en mouvement est perdu par un autre en quantité égale. Alors que les deux premières lois décrivent le comportement d'un corps lorsqu'il ne subit aucune perturbation, Descartes formule encore une troisième loi régissant les chocs, la communication du mouvement entre les corps :

<sup>3</sup> Notons que Pierre Gassendi est le premier à avoir publié une formulation correcte du principe d'inertie, et ce, deux ans avant l'apparition des *Principia* de Descartes; Gassendi, P., *De Motu impresso a motore translato*, Paris : Louis de Heuqueville (1642). Cependant, on attribue la paternité de ce principe à Descartes en ayant connaissance de l'existence du *Monde*, livre non publié avant 1664 et dont la rédaction date de 1633

<sup>4</sup> « Ce qui est une fois mis en mouvement, demeure en mouvement éternellement. » [Journal de Beeckman, cité in A. T., vol. X, p. 60, note f].



**troisième loi de la nature** : « *si un corps qui se meut en rencontre un autre plus fort que soy, il ne perd rien de son mouvement, & s'il en rencontre un plus foible qu'il puisse mouvoir, il en perd autant qu'il luy en donne.* » [A. T., vol. IX, seconde partie, art. 40, p. 86.]

C'est ici que le bât blesse. Cet énoncé – encore empreint de l'idée aristotélicienne selon laquelle un corps ne quitte l'état de repos que lorsque la cause du mouvement excède la résistance à ce mouvement – est erronée. Il est la cause fondamentale des erreurs dont Descartes est victime lorsqu'il en déduit sept règles d'impact entre deux corps [A. T., vol. IX, seconde partie, art. 46-52, p. 89-93].<sup>5</sup> Ces règles sont pratiquement toutes fausses et incohérentes. L'incompatibilité la plus frappante apparaît entre les règles 4 et 5. Lorsqu'un corps B percute un corps C « plus fort » et au repos, il rebondit en conservant son mouvement initial (sa vitesse) tout en laissant C au repos (règle 4). A l'inverse, lorsque B est initialement au repos et C en mouvement, ce dernier entraîne B (le « plus faible ») après l'impact (règle 5). Ce résultat montre clairement ce qui fait défaut : un solide principe de *relativité* du mouvement. C'est d'ailleurs en intégrant correctement la relativité du mouvement que Christiaan Huygens (1629-1695) corrigera plus tard ces règles [Chareix (2003)].

Pour mieux comprendre cette question, il nous faut discuter de ce que Descartes entend par mouvement. Il fait remarquer

que selon l'usage commun, « *le mouvement n'est autre chose que l'action par laquelle un corps passe d'un lieu en un autre* » [A. T., vol. IX, seconde partie, art. 24, p. 75], et par là, suivant que l'on considère son lieu d'une manière ou d'une autre, « *une mesme chose en mesme temps change de lieu & n'en change point* ». <sup>6</sup> Cependant, Descartes rejette cette conception du mouvement et lui substitue une définition pour le moins étrange :

« *le mouvement selon la verité [...] est le transport d'une partie de la matiere, ou d'un corps, du voisinage de ceux qui le touchent immediatement, et que nous considerons comme en repos, dans le voisinage de quelques autres* » [A. T., vol. IX, seconde partie, art. 25, p. 76].

Ainsi il réduit le mouvement d'un corps à son déplacement par rapport à ceux qui lui sont adjacents. Il est curieux de constater que Descartes oppose donc le concept de lieu à celui de corps adjacents en tant que point de référence pour définir le mouvement – dans la mesure où ce dernier concept n'est guère fort différent de celui de lieu au sens aristotélicien, à savoir la surface entourant le corps [Koyré (1965), p. 80, note 3]. En réalité, cette curieuse conception du mouvement est une conséquence inéluctable de son désir de réduire la physique à la géométrie, d'une *géométrisation à outrance*, pour reprendre l'expression souvent utilisée par Koyré [Koyré (1965), p. 63 ; Koyré (1966) p. 341]. Ceci étant, dans ses *Principia*, prétextant une certaine commo-

dité, il fonde ses déductions sur la première conception du mouvement (selon l'usage commun), excepté lorsqu'il s'agit de parler du mouvement de la Terre. Nous verrons l'utilisation qu'il fait de cette définition dans notre prochain article.

Revenons-en aux règles de chocs entre corps. Descartes reconnaît que « *l'expérience peut sembler d'abord repugner [à ces] regles* » [A. T. vol. X, seconde partie, art. 53, p. 93]. En effet, la loi d'inertie affirme que le mouvement des corps n'est altéré que lorsque ceux-ci subissent une résistance. Or, du fait même que la matière-étendue interdit tout vide, les corps en mouvement doivent être soumis en permanence à une résistance de la part des nombreux corps qui leur sont adjacents. A ce problème, Descartes répond qu'il faut « *considerer comment tous les autres corps qui les environnent peuvent augmenter ou diminuer leur action* » [A. T., vol. IX, seconde partie, art. 53, p. 93], suivant qu'ils sont *durs* ou *liquides*. Or, répétons-le, la seule nature que Descartes attribue à la matière est son extension. Les autres qualités ne sont dues qu'aux impressions exercées par la matière sur nos organes sensoriels. Dès lors, pour discuter de la nature liquide ou solide des corps, il recourt à notre expérience à travers nos sens. Il fait remarquer que ceux-ci nous apprennent que ces deux types de corps se distinguent par le fait que les corps liquides n'exercent aucune résistance sur les mains qui les déplacent, contrairement aux corps durs. Cette constatation s'explique par le fait que les

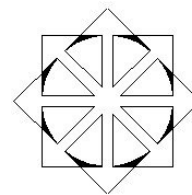
<sup>5</sup> Pour une étude détaillée de ces règles, cf. Blackwell (1966); Aiton (1972), p. 36-38 ; A. T., vol. IX, p. 327-330.

<sup>6</sup> A. T., vol. X, seconde partie, art. 13, p. 70. Il prend pour exemple un homme sur un bateau voguant sur les eaux. Cet homme est à la fois en mouvement par rapport aux terres, et au repos par rapport au bateau. Cette illustration du principe de relativité des mouvements a déjà été proposée quelques dizaines d'années plus tôt par Giordano Bruno (1548-1600) dans *Le banquet des cendres* ; Bruno, G., *La Cena de le ceneri (1584)*, trad. fr. Y. Hersant, Paris : Éditions de l'éclat (2006), p. 84-85. Dans cet œuvre géniale, Bruno s'appuie sur ce principe de relativité afin d'argumenter contre la prétendue nécessité d'une Terre au repos pour expliquer que nuages et oiseaux étaient solidaires de la Terre ; cf. Koyré, (1966), p. 173-174.

parties des premiers sont « *des-ja en action pour se mouvoir* », et donc enclines à laisser leur place aux mains en mouvement. Par contre, les parties des corps durs, « *tellement jointes les unes aux autres, qu'elles ne peuvent être séparées sans une force qui rompe cette liaison qui est entr'elles, [...] ne peuvent être chassées de leur place, sans quelque force qui vienne d'ailleurs, afin de causer en eux ce changement* » [A. T., vol. IX, seconde partie, art. 54, p. 94]. Autrement dit, elles sont au repos les unes par rapport aux autres, ce repos relatif lui paraissant être

par ailleurs le meilleur « ciment » pour joindre ces différentes parties constituant les corps durs [A. T., vol. IX, seconde partie, art. 55, p. 94].

Les fondements de sa physique étant établis, Descartes se consacre ensuite à l'étude des phénomènes observés dans la nature et à l'élaboration de son système du monde décrit par une théorie qu'on appelle parfois *théorie des tourbillons*. Ces questions feront l'objet de notre prochain article.



## Bibliographie

- Adam, C. et Tannery, P., *Cœuvres de Descartes*, 12 volumes, Paris : Léopold Cerf (1897-1910)
- Aiton, E. J., *The Vortex Theory of Planetary Motions*, London : MacDonald (1972)
- Aristote, *La Physique*, trad. fr. A. Stevens, 2<sup>e</sup> édition, Paris : Vrin (2008)
- Blackwell, R. J., *Descartes' Laws of Motion*, Isis, vol. 57, p. 220-234 (1966)
- Blay, M., *Les règles cartésiennes de la science du mouvement dans Le Monde ou traité de la lumière*, Revue d'histoire des sciences, vol. 51 (2-3), p. 319-346 (1998)
- Bruno, G., *Le Banquet des Cendres*, trad. fr. Y. Hersant, Paris : Éditions de l'éclat (2006)
- Chareix, F., *La découverte des lois du choc par Christiaan Huygens*, Revue d'histoire des sciences, vol. 56 (1), p. 15-58 (2003)
- Chevalier, J., *Descartes*, Paris: Plon (1942)
- Crubellier, M. et Pellegrin, P., *Aristote. Le philosophe et les savoirs*, Paris : Seuil (2002)
- Devillairs, L., *L'immutabilité divine comme fondement des lois de la nature chez Descartes et les éléments de la critique leibnizienne*, Revue d'histoire des sciences, vol. 54 (3), p. 303-324 (2001)
- Galilée, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, Florence : Batista Landini (1632), trad. fr. Fréreau, R. et De Gandt, F., *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, Paris : Seuil (1992)
- Herivel, J. W., *L'influence de Descartes sur Newton en dynamique*, Revue philosophique de Louvain, quatrième série, vol. 86 (72), p. 467-484 (1988)
- Kahn, C., *La Physique d'Aristote et la tradition grecque de la philosophie naturelle*, in *La physique d'Aristote et les conditions d'une science de la nature*, sous la dir. F. De Gandt et P. Souffrin, Paris : Vrin (1991), p. 41-52
- Koyré, A., *Newton and Descartes*, in *Newtonian Studies*, Chicago : The University of Chicago Press (1965), p. 53-200
- Koyré, A., *Études galiléennes*, Paris : Hermann (1966)
- Koyré, A., *L'apport scientifique de la Renaissance*, in *Études d'histoire de la pensée scientifique*, Paris : Gallimard (1973), p. 50-60.
- Copernic, *Des révolutions des orbés célestes*, introd., trad. fr. et notes d'A. Koyré, Paris : Blanchard (1970)
- Shea, W. R., *La science de Descartes*, Laval théologique et philosophique, vol. 53 (3), p. 531-547 (1997)
- Thuillier, P., *De l'art à la science : la découverte de la trajectoire parabolique*, in *D'Archimède à Einstein. Les faces cachées de l'invention scientifique*, Paris : Fayard (1988), p. 193-214
- Verdet, P., *Une histoire de l'astronomie*, Paris : Seuil (1990)