

L'ORGANISATION DÉDUCTIVE DE LA SCIENCE DU MOUVEMENT DESCARTES - GALILÉE - HUYGENS

Michel Blay

De la science du mouvement on peut dire qu'elle a deux commencements. L'un avec la publication par Galilée en 1638 des *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* où se trouve formulée, via le processus de la géométrisation, la loi de chute des graves ; l'autre avec la rédaction entre 1629 et 1633 du *Monde ou Traité de la lumière* de René Descartes où pour la première fois est exprimé à l'adresse de la science du mouvement une exigence que l'on peut dire axiomatique.

De ces deux commencements donc, l'un portant sur la géométrisation et l'autre sur l'organisation déductive, Christiaan Huygens, avant que Newton ne publie en 1687 ses *Philosophiae naturalis principia mathematica*, saura dès 1673 dans son *Horologium oscillatorium* construire une science à la fois géométrisée et déductive de la chute des graves.

Comment de Descartes à Huygens en passant par Galilée une première organisation déductive de la science du mouvement s'est-elle constituée ?

Tout d'abord nous étudierons comment les trois lois ou règles cartésiennes du mouvement s'inscrivent dans le *Monde ou Traité de la lumière*. Nous considérerons ensuite, sans revenir sur la genèse bien connue des travaux galiléens relatifs à la chute des graves, l'élaboration de Huygens intégrant les résultats de Descartes et de Galilée.

1 Les lois du mouvement dans le *Monde* de Descartes

Dans une lettre adressée au Père Marin Mersenne en date du 22 juillet 1633, Descartes annonce que son *Traité*, celui qu'il aime à dénommer "mon Monde"¹ est "presque achevé":

Mon traité est presque achevé, mais il me reste encore à le corriger et à le décrire ; et pour ce qu'il ne m'y faut plus rien chercher de nouveau, j'ai tant de peine à y travailler que si je ne vous avais promis, il y a plus de trois ans², de vous l'envoyer dans la fin de cette année, je ne crois pas que j'en puisse de longtemps venir à bout; mais je veux tâcher de tenir ma promesse.³

La promesse ne sera pas tenue. En effet, la seconde condamnation de Galilée, prononcée après une série d'interrogatoires le 22 juin 1633 et reçue à genoux par ce dernier dans la grande salle du couvent de Santa Maria Sopra Minerva, conduit Descartes à renoncer tant à publier son ouvrage qu'à en transmettre une copie à Mersenne. Il s'en explique dans une lettre adressée au Minime à la fin du mois de novembre 1633:

En effet je m'étais proposé de vous envoyer mon Monde pour ces étrennes et il n'y a pas plus de quinze jours que j'étais encore tout résolu de vous en envoyer au moins une partie, si le tout ne pouvait être transcrit en ce temps-là ; mais je vous dirai que m'étant fait enquérir ces jours à Leyde et à Amsterdam, si le *Système du Monde*⁴ de Galilée n'y était point, à cause qu'il me semblait avoir appris qu'il avait été imprimé en Italie l'année passée, on m'a mandé qu'il était vrai qu'il avait été imprimé, mais que tous les exemplaires en avaient été brûlés à Rome au même temps et lui condamné à quelque amende: ce qui m'a si fort étonné, que je me suis quasi résolu à brûler tous mes papiers, ou du moins de ne les laisser voir à personne. Car je ne me suis pu imaginer que lui qui est Italien, et même bien voulu du Pape, ainsi que j'entends, ait pu être criminalisé pour autre chose, sinon qu'il aura sans doute voulu établir le mouvement de la Terre, lequel je sais bien avoir été autrefois censuré par quelques Cardinaux mais je pensais avoir oui dire que depuis on ne laissait pas de l'enseigner publiquement, même dans

¹ L'expression "mon Monde" apparaît pour la première fois sous la plume de Descartes dans une lettre adressée au Père Mersenne le 4 novembre 1630, (*Œuvres de Descartes*, édité par Ch. Adam et P. Tannery, 12 vol. plus un suppl., Paris (1896-1913), rééd. Vrin-CNRS (1964-1974) I, 176. Par la suite on utilisera l'abréviation AT. Voir également la lettre adressée à Mersenne le 25 novembre 1630, AT, I, 179.

² Dans une lettre adressée à Mersenne le 25 novembre 1630, Descartes avait déjà indiqué: "[...] mais aussi sera-t-il plus long que je ne pensais, et contiendra quasi une physique toute entière; en sorte que je prétends qu'elle (la *Dioptrique* à cette date) me servira pour me dégager de la promesse que je vous ai faite d'avoir achevé mon Monde dans trois ans [...]", AT, I, 179.

³ AT, I, 268.

⁴ Il s'agit bien évidemment du *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo Tolemaico e Copernicano*, Florence (1632).

Rome; et je confesse que s'il est faux, tous les fondements de ma Philosophie le sont aussi, car il se démontre par eux évidemment. Et il est tellement lié avec toutes les parties de mon Traité, que je ne l'en saurais détacher, sans rendre le reste tout défectueux. Mais comme je ne voudrais pour rien au monde qu'il sortît de moi un discours, où il se trouvât le moindre mot qui fut désapprouvé de l'Eglise, aussi aimé-je mieux le supprimer, que de le faire paraître estropié.⁵

En renonçant à publier "son Monde", Descartes, comme il le précise quelques mois plus tard, en février 1634, dans une lettre adressée à Mersenne, perdait presque tout son "travail de quatre ans".⁶ On peut faire remonter en effet à l'année 1629 les premiers travaux cartésiens qui aboutiront à la rédaction du *Monde*, mais aussi à celle de deux des trois *Essais* qui seront publiés en 1637 à la suite du *Discours de la Méthode*: la *Dioptrique* et les *Météores*.⁷

Il faudra attendre la publication en 1644 des *Principia philosophiae* pour que l'exposé intégral de la philosophie cartésienne soit donné aux lecteurs sous une forme systématique. Un sommaire du *Monde* a néanmoins été inclus par Descartes dans la cinquième partie du *Discours de la Méthode*.

Après la mort du philosophe paraît en 1664, d'après une copie, chez le libraire parisien Jacques Le Gras, un petit in-8 intitulé: *Le Monde de Mr. Descartes ou le Traité de la Lumière, et des autres principaux objets des Sens. Avec un Discours du Mouvement local, et un autre des Fièvres composez selon les principes du même Auteur*. Le premier traité comporte 260 pages; les deux Discours placés à la suite, qui ne sont ni l'un ni l'autre de Descartes, en comportent seulement 31.

Treize ans plus tard, en 1677, Clerselier, l'éditeur de la Correspondance de Descartes,⁸ fait paraître à Paris, chez Michel Bobin et Nicolas Le Gras, une nouvelle version de l'ouvrage, cette fois selon l'original: *L'Homme de René Descartes, et la Formation du Fœtus, avec les Remarques de Louis de la Forge. A quoy l'on a ajouté Le Monde, ou Traité de la Lumière, du mesme Autheur*. Cet ouvrage in-4 de 511 pages est ainsi composé: *Epistre et Préface*, non paginées, 66 pages; *L'Homme* p. 1-98. *La Description du Corps Humain* (ou *Formation du fœtus*) p. 99-154; *Remarques de Louis de la Forge* p. 155-368. *Version de la préface de Monsieur Schuyt* p. 369-404;⁹

⁵ AT, I, 270-271. Voir également les lettres adressées à Mersenne en date de février et avril 1634, AT, I, 281-282, 285 et 288.

⁶ AT, I, 281.

⁷ Le 8 juin 1637 est achevé d'imprimer à Leyde chez Jean Maire un ouvrage anonyme dont l'auteur est Descartes, *Discours de la Méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences, plus la Dioptrique, les Météores et la Géométrie qui sont des Essais de cette Méthode*.

⁸ *Lettres de Mr. Descartes* en trois volumes, in 4, Paris, Charles Ango (1657, 1659, 1667).

⁹ Cette préface appartient à l'édition latine du *Traité de l'homme* donné par Schuyt: *Renatus Descartes De Homine, figuris et latinitate donatus a Florentio Schuyt, Inclytae Sylvae Ducis Senatore, et ibidem Philosophiae Professore*, Leyde (1662).

Le Monde p. 405-511; auxquelles il faut ajouter 8 pages de Table des matières;¹⁰ [c'est l'édition de 1677 après modernisation de l'orthographe et de la ponctuation, que nous citerons par la suite].

C'est dans le chapitre VII de cet ouvrage que Descartes met en ordre, pour la première fois, les lois et les règles de la science du mouvement. Il y précise corrélativement les statuts respectifs des mouvements rectilignes et curvilignes en rompant définitivement avec la tradition séculaire de la primauté du mouvement curviligne uniforme, mouvement parfait et naturel réglant le cours des astres.

L'immutabilité divine, la permanence de l'action de Dieu, sert de fondement pour Descartes à ce que l'on pourrait appeler, en termes modernes, des lois ou des principes généraux de conservation. Dans cette perspective les règles cartésiennes expriment à l'intérieur de ces principes généraux de conservation, les transformations pouvant intervenir dans les mouvements des différentes parties de la matière. L'énoncé des trois règles cartésiennes ordonne alors la science du mouvement et en fixe l'armature déductive. Elles annoncent, par leur contenu et par leur style, les trois "Hypothèses" de Huygens présentées dans son *Horologium oscillatorium* de 1673 tout comme les trois "lois ou axiomes du mouvement" de Newton formulées dans ses *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* de 1687.

Dans sa première règle, Descartes énonce "que chaque partie de la matière, en particulier, continue toujours d'être en même état, pendant que la rencontre des autres ne la contraint point de changer. C'est-à-dire: si elle a quelque grosseur, elle ne deviendra jamais plus petite, sinon que les autres la divisent; si elle est ronde ou carrée, elle ne changera jamais cette figure sans que les autres l'y contraignent; si elle est arrêtée en quelque lieu, elle n'en partira jamais que les autres ne l'en chassent; et si elle a une fois commencé à se mouvoir, elle continuera toujours avec une égale force jusques à ce que les autres l'arrêtent ou la retardent".¹¹

Cette première règle qui correspond à la première loi donnée dans la deuxième partie des *Principia philosophiae*, soumise au principe général de conservation, porte à la fois sur la "grosseur des parties" ainsi que sur le mouvement, sans précision concernant sa rectilinéarité. En outre le mouvement, au même titre que le repos, est, comme chez Galilée, un état. Cette nouvelle approche marque une rupture décisive avec les conceptions scolastiques du mouvement, rupture soulignée par Descartes: "Et moi (Descartes)

¹⁰ Dans le manuscrit de Descartes, le *Monde* précédait le *Traité de l'homme*. Clerselier le déclarait dans la préface de l'édition de 1664. Il indique en outre que le *Traité de l'homme* "a pour titre chapitre 18". La fin du chapitre XV et les chapitres XVI et XVII, qui formaient la liaison, sont donc perdus.

¹¹ AT, XI, 38. Sur les règles cartésiennes voir en particulier A. Gabbey, "Force and Inertia in Seventeenth Century Dynamics", *Studies in History and Philosophy of Science*, (1971), 1-68 et "Force and Inertia in the Seventeenth Century: Descartes and Newton" in *Descartes. Philosophy, Mathematics and Physics*, Stephen Gaukroger (ed.), The Harvester Press Limited (1980), 230-320; Daniel Garber, *Descartes' Metaphysical Physics*, Chicago University Press (1992).

je conçois que le repos est aussi bien une qualité qui doit être attribuée à la matière pendant qu'elle demeure en une place, comme le mouvement en est une qui lui est attribuée, pendant qu'elle en change".¹²

La seconde règle proposée par Descartes concerne la transmission du mouvement: "Je suppose pour seconde Règle: que quand un corps en pousse un autre, il ne saurait lui donner aucun mouvement, qu'il n'en perde en même temps autant du sien; ni lui en ôter, que le sien ne s'augmente d'autant. Cette Règle jointe avec la précédente, se rapporte fort bien à toutes les expériences, dans lesquelles nous voyons qu'un corps commence ou cesse de se mouvoir, parce qu'il est poussé ou arrêté par quelque autre".¹³

Comme la précédente, cette seconde règle qui stipule que lorsque deux corps se rencontrent il y a échange de mouvement, est assujettie au principe général de conservation associé à l'immutabilité divine; la quantité totale du mouvement, qui n'est pas explicitement définie, reste la même dans le choc. Cette règle correspond à la troisième loi de la deuxième partie des *Principia philosophiae*. Elle est cependant prolongée dans ce livre par sept Règles portant sur l'analyse quasi exhaustive des modalités de rencontre des corps: grandeur, détermination, vitesse.¹⁴

Descartes énonce maintenant sa troisième règle: "J'ajouterai pour la troisième: que lorsqu'un corps se meut, encore que son mouvement se fasse le plus souvent en ligne courbe et qu'il ne s'en puisse jamais faire aucun, qui ne soit en quelque façon circulaire, ainsi qu'il a été dit ci-dessus, toutefois chacune de ses parties en particulier tend toujours à continuer le sien en ligne droite. Et ainsi leur action, c'est-à-dire l'inclination qu'elles ont à se mouvoir, est différente de leur mouvement".¹⁵

Cette troisième règle, combinée avec la première, donne la loi de l'inertie et, conjointement, introduit la notion cartésienne centrale d'inclination ou de tendance à se mouvoir. Dans les *Principia philosophiae* c'est la combinaison de la loi 1 avec la loi 2 qui correspond à l'énoncé de la loi d'inertie et à l'introduction conjointe de l'inclination ou de la tendance à se mouvoir (l'inertie au sens moderne utilisée ci-dessus ne doit pas être confondue avec le concept cartésien d'inertie qui apparaît dans les lettres à de Beaune du 30 avril 1639¹⁶ et au Marquis de Newcastle de mars ou avril 1648¹⁷).

¹² AT, XI, 40. Sur les critiques adressées par Descartes aux conceptions scolastiques du mouvement, voir en particulier V. Carraud et F. de Buzon, *Descartes et les Principia. Corps et mouvements*, collection Philosophies, Paris, PUF, (1994), 80. En outre, sur le statut cartésien du repos et du mouvement, on peut consulter Daniel Garber, "Descartes' Physics", in *The Cambridge Companion to Descartes*, John Cottingham (ed.), Cambridge University Press (1992), 303-310.

¹³ AT, XI, 41.

¹⁴ Pour une présentation de ces Règles on peut consulter F. de Buzon et V. Carraud, *op. cit.* in n. 12; P. Costabel, "Essai critique sur quelques concepts de la mécanique cartésienne" dans *Démarches originales de Descartes savant*, Paris, Vrin, (1982); Daniel Garber, *op. cit.* in n. 11, chap. 7 et 8.

¹⁵ AT, XI, 43-44.

¹⁶ AT, II, 543.

¹⁷ AT, V, 136.

On peut noter que Descartes dans le *Monde* (règles 1 et 3) comme dans les *Principia philosophiae* (lois 1 et 2) introduit séparément la notion d'inertie et celle de mouvement en ligne droite. Il associe cependant dans une seule phrase ces deux notions dans une lettre adressée à Huygens en date du 18 ou 19 février 1643: "Sur quoi 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 une même vitesse et en même ligne droite, jusqu'à ce qu'il soit arrêté ou détourné par quelqu'autre cause".¹⁸

Ce principe de l'inertie n'a pu être formulé dans toute son ampleur par Galilée car ce dernier ne parvint pas à concevoir un corps physique sans gravité (voir *infra* note 26); Galilée reste donc attaché à une certaine circularité du mouvement inertiel et n'envisage le mouvement rectiligne et uniforme que lorsqu'un corps est sur un plan horizontal ou, comme dans la quatrième journée des *Discorsi*, par approximation mathématique.¹⁹

La notion très cartésienne d'inclination ou de tendance à se mouvoir, qui doit être dépouillée de toute connotation psychologique, exprime ce qui reste d'un mouvement lorsque ce dernier est empêché; elle joue de ce fait un rôle essentiel dans l'économie pléniste de la physique cartésienne et, en particulier, dans l'analyse du mouvement circulaire en introduisant, si l'on peut dire, une dimension "dynamique" dans la mécanique cartésienne dans le sens ou, par exemple, Christiaan Huygens y fait référence au début de son *De vi centrifuga* en écrivant: "gravitas est conatus descendendi" ("la gravité est la tendance à choir").²⁰

Revenons au texte cartésien du *Monde*: "Par exemple, si l'on fait tourner une roue sur son essieu, encore que toutes ses parties aillent en rond parce qu'étant jointes l'une à l'autre elles ne sauraient aller autrement, toutefois leur inclination est d'aller droit, ainsi qu'il paraît clairement si par hasard quelqu'une se détache des autres: car aussitôt qu'elle est en liberté, son mouvement cesse d'être circulaire et se continue en ligne droite".²¹ Ainsi, lorsqu'une partie de la roue se détache, elle s'échappe, comme l'imposent les Règles 1 et 3, en prenant, suivant la tangente au cercle, un mouvement rectiligne.

Dans l'exemple suivant, celui de la fronde, l'analyse de la situation physique se précise dans un sens introduisant une dimension "dynamique", puisque Descartes dégage non seulement l'idée de l'échappement rectiligne suivant la tangente, mais aussi celle d'une tension radiale exercée par la pierre en rotation: "De même, quand on fait tourner une pierre dans une fronde, non seulement elle va tout droit aussitôt qu'elle en est sortie, mais

¹⁸ AT, III, 619.

¹⁹ Voir Maurice Clavelin, *La Philosophie Naturelle de Galilée*, Paris, Armand Colin (1968) rééd. Albin Michel (1996).

²⁰ *Œuvres complètes de Christiaan Huygens*, 22 vol. La Haye, Société hollandaise des Sciences (1888-1950), XVI, 254. Ce texte rédigé en 1659 qui donne l'évaluation quantitative de la force centrifuge a été publié pour la première fois en 1703 dans les *Opuscula Posthuma* rassemblés par les deux exécuteurs testamentaires de Huygens, De Volder et Fulerius.

²¹ AT, XI, 44.

de plus, pendant tout le temps qu'elle y est, elle presse le milieu de la fronde, et fait tendre la corde; montrant évidemment par là qu'elle a toujours inclination d'aller en droite ligne et qu'elle ne va en rond que par contrainte".²²

La tension de la corde dans la direction radiale résulte donc, pour Descartes, de l'empêchement qu'a la pierre, dans la fronde, de pouvoir continuer son mouvement en ligne droite. Ce faisant le mouvement en ligne droite devient un mouvement, comme il le dit, "entièrement simple" et le mouvement circulaire, seul mouvement à la fois simple continu et perpétuel pour les scolastiques, perd sa splendide primauté.

Deux raisons principalement justifient aux yeux de Descartes son attachement à la simplicité du mouvement rectiligne:

Premièrement, le changement de direction continu qui affecte le mouvement d'un corps décrivant une trajectoire curviligne impose de connaître au moins deux positions successives de la trajectoire (ou, comme l'écrit Descartes "[...] deux de ses instants ou plutôt deux de ses parties, et le rapport qui est entre elles") décrite par le mobile pour en déterminer localement seulement ses caractéristiques; en revanche dans le cas du mouvement rectiligne et uniforme, si la position, la vitesse et la direction du mobile sont connues en un point de la trajectoire, celle-ci est entièrement connue. Descartes fait preuve dans ces quelques paragraphes du *Monde* d'une remarquable compréhension des problèmes relatifs à la mathématisation des mouvements curvilignes, compréhension qui transparait également dans certains de ses écrits consacrés au concept de courbure.²³

Deuxièmement, le nouveau statut du mouvement rectiligne s'éclaire aussi par son enracinement métaphysique en ce sens que ce mouvement, suivant Descartes, est une conséquence des lois générales de conservation associées à l'immutabilité divine, alors que le mouvement circulaire n'est qu'une conséquence de l'entrave exercée sur le mouvement rectiligne. Le mouvement circulaire, ou, plus exactement, ce qui en résulte, ce que Huygens appellera la "vis centrifuga" (la force centrifuge dont il donnera l'expression quantitative) doit donc être expliquée à partir du mouvement rectiligne en tant que ce dernier est empêché et que, en conséquence, s'impose le recours à la notion d'inclination: "Donc, suivant cette Règle, il faut dire que Dieu seul est l'Auteur de tous les mouvements qui sont au monde, en tant qu'ils sont, et en tant qu'ils sont droits; mais que ce sont les diverses dispositions de la matière qui les rendent irréguliers et courbés. Ainsi que les théologiens nous apprennent que Dieu est aussi l'auteur de toutes nos actions, en tant qu'elles sont, et en tant qu'elles ont quelque bonté, mais que ce sont les diverses dispositions de nos volontés qui les peuvent rendre vicieuses".²⁴

²² AT, XI, 44.

²³ Voir en particulier Pierre Costabel, "La courbure et son apparition chez Descartes" dans *Démarches originales de Descartes savant*, Paris, Vrin, (1982), 159-166.

²⁴ AT, XI, 46-47.

L'exigence cartésienne, que l'on peut dire axiomatique, adressée à la science du mouvement conduit à une première mise en ordre de ce champ du savoir. Il appartient maintenant à Huygens d'accomplir la tâche par laquelle l'ordre cartésien du mouvement et la géométrisation galiléenne de la chute des graves s'inséreront pleinement dans un même cadre théorique, à savoir celui de la science du mouvement.

2 L'effort déductif hugonien

Colbert au cours de l'année 1666, agissant au nom du roi Louis XIV, choisit les premiers membres et élèves destinés à former l'Académie Royale des Sciences. Cette création avait été précédée par celle de la Royal Society de Londres. Cette dernière prit en effet sa forme définitive dès 1660, puis fut reconnue par deux chartes octroyées par le roi Charles II d'Angleterre en 1662 et 1663. C'est donc le 22 décembre 1666 que se tint, à la bibliothèque du roi, siège de l'Académie, la première séance officielle.

Christiaan Huygens avait été appelé pour jouer dans cette nouvelle institution un rôle moteur. Son action ne fut sans doute pas exactement à la hauteur des espoirs placés en lui, espoirs concrétisés par un logement rue de Vivienne et par un traitement supérieur à celui de tous les autres académiciens. Cependant, sa présence, ses compétences très diverses et sa grande activité contribuèrent à faire de Paris l'un des principaux pôles de la recherche scientifique du dernier quart du XVII^e siècle et à préparer la réussite scientifique française du XVIII^e siècle.

C'est au cours de cette période parisienne de 1666 à 1681, marquée seulement par deux séjours de convalescence aux Pays-Bas de septembre 1670 à juin 1671 et de juillet 1676 à juin 1678, que Huygens va trouver le temps d'élaborer ses œuvres les plus marquantes. Il met définitivement au point l'horloge à pendule et fait paraître à Paris en 1673, avec une dédicace au roi Louis XIV, son *Horologium oscillatorium*. Deux ans plus tard il invente les montres à ressort spiral réglant, C'est également à Paris que les questions relatives à la théorie de la lumière retiennent son attention. Il dégage en 1677 son principe des ondes enveloppes et rédige la plus grande partie de son *Traité de la lumière* qu'il publiera seulement en 1690 à Leyde.

La matière de l'*Horologium oscillatorium* est divisée en cinq parties qui reprennent sous une forme ordonnée l'ensemble des recherches relatives à la science du mouvement, développé antérieurement par lui-même ou par les contemporains. Il n'y manque que l'étude du phénomène du choc sur lequel Huygens s'est exprimé précédemment. Dès 1652 il s'est interrogé avec raison sur le bien fondé des lois cartésiennes du choc et, en 1656-1657, rédige sa propre théorie du choc élastique dans laquelle il fait un usage systématique du principe de relativité. Ce n'est cependant

qu'une dizaine d'années plus tard, en 1669, que Huygens adresse à la Royal Society de Londres, qui avait lancé un concours sur les lois du mouvement, un mémoire en latin rassemblant ses principaux résultats. Il est publié en français dans le *Journal des sçavans* de la même année sous le titre: "Règles du mouvement dans la rencontre des corps". Une édition définitive de son travail n'est cependant donnée que de façon posthume dans les *Opuscula posthuma* de 1703.

Si la première des cinq parties de l'*Horologium* porte sur la construction d'une horloge mettant en pratique les résultats hugoniens, la deuxième partie est consacrée à la chute des corps pesants et au mouvement cycloïdal. Cette partie constitue une refonte bien ordonnée de ses résultats antérieurs, s'appuyant sur les procédures classiques de la géométrie en évitant le recours aux indivisibles ou aux sommes infinies. Par l'effort déductif qu'elle déploie, la réorganisation hugonienne de la science du mouvement marque un étape décisive constituant un véritable aboutissement des recherches de Galilée et de Descartes.

Dans cette deuxième partie de l'*Horologium* consacrée à l'étude de la chute des graves, la réorganisation déductive hugonienne repose tout d'abord sur l'introduction de trois principes ou "Hypothèses". En termes modernes, il s'agit du principe de l'inertie ou de la conservation du mouvement rectiligne uniforme ("Hypothèse" I) et de celui de la composition des vitesses ou de l'indépendance des mouvements ("Hypothèses" II et III):

Hypothèses

I

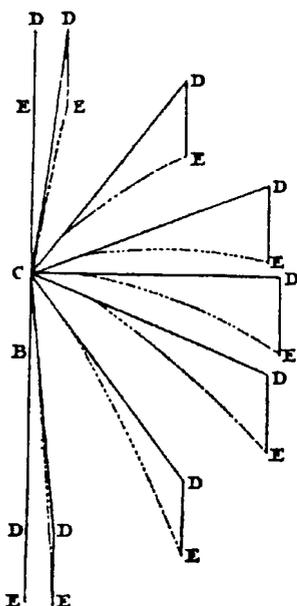
Si la gravité n'existait pas et qu'aucune résistance d'air ne s'opposait au mouvement des corps, chacun d'eux continuerait son mouvement avec une vitesse uniforme en suivant une ligne droite.

II

Mais maintenant il arrive par l'action de la gravité, de quelque cause qu'elle provienne, que les corps se meuvent d'un mouvement composé de leur mouvement uniforme dans une direction quelconque et de celui de haut en bas qui est dû à la gravité.

III

On peut considérer ces deux mouvements séparément et l'un n'est pas empêché par l'autre.



Supposons qu'un corps pesant C, partant du repos, parcoure en un certain temps F, grâce à la force de la gravité, un espace CB. Supposons de plus que le même corps pesant ait reçu d'ailleurs un mouvement par lequel, s'il n'y avait aucune gravité, il parcourrait dans le même temps F d'un mouvement uniforme la ligne droite CD. La force de la gravité s'y ajoutant le corps pesant ne parviendra donc pas de C en D dans le dit temps F mais en un certain point E situé verticalement au-dessous de D de telle sorte que l'espace DE est toujours égal à l'espace CB ; en effet, de cette façon le mouvement uniforme et celui qui provient de la gravité auront chacun leur part, l'un n'empêchant pas l'autre. Quant à la ligne que le corps parcourt de ce mouvement composé lorsque la direction du mouvement uniforme n'est pas verticale mais

oblique, la nature apparaîtra par nos considérations ultérieures. Mais lorsque le mouvement uniforme CD a lieu de haut en bas suivant une verticale, il est clair que la ligne CD est augmentée d'une droite DE par l'effet de la gravité. De même, lorsque le mouvement uniforme CD est dirigé de bas en haut, il est évident que la même longueur CD est diminuée de la longueur DE de sorte qu'après le temps F le corps se trouve toujours au point E. Que si, dans l'un et l'autre cas, nous considérons séparément les deux mouvements en admettant, comme nous l'avons dit, que l'un n'est nullement empêché par l'autre, il nous sera possible d'en déduire la cause et les lois de l'accélération des corps pesants”²⁵.

La première “Hypothèse”, le principe de l'inertie, n'a pu être, comme nous l'avons déjà indiqué, formulée dans toute son ampleur par Galilée car le savant italien ne parvint pas à concevoir un corps physique sans gravité. Il donne cependant de ce principe, mais en le comprenant seulement comme une approximation mathématique, une formulation très satisfaisante, d'abord dans la troisième journée des *Discorsi*, puis au début de la quatrième journée, avant de traiter du mouvement des projectiles:

— Dans la troisième journée:

Il faut remarquer en outre qu'un degré de vitesse quelconque, une fois communiqué à un mobile, s'imprime en lui de façon indélébile du seul fait de sa

²⁵ *Op. cit.* n. 20, XVIII, 124.

nature, et pourvu que soient supprimées les causes extérieures d'accélération et de ralentissement, ce qui n'a lieu que sur le plan horizontal.²⁶

— Dans la quatrième journée:

J'imagine qu'un mobile a été lancé sur un plan horizontal d'où l'on a écarté tout obstacle; il est déjà certain, d'après ce qu'on a dit ailleurs plus longuement, que son mouvement se poursuivra uniformément et éternellement sur ce même plan, pourvu qu'on le prolonge à l'infini. Supposons en revanche qu'il soit limité et situé à une certaine hauteur: le mobile que j'imagine doué de gravité, ajoutera à son précédent mouvement uniforme et indélébile la tendance vers le bas que lui confère sa gravité: le résultat sera ce mouvement composé d'un mouvement horizontal uniforme et d'un mouvement naturellement accéléré vers le bas que j'appelle projection. Nous démontrerons maintenant quelques-unes de ses propriétés.²⁷

Le principe de la conservation du mouvement rectiligne uniforme figure, par contre, comme nous l'avons déjà dit, dans le *Monde* et les *Principia Philosophiae* (seconde partie) de René Descartes.

La situation est très différente pour le principe de composition des mouvements. Galilée, contrairement à la situation évoquée dans le cas du principe de l'inertie, donne de ce principe, avec toute sa portée, un énoncé très clair dès les premières lignes de la quatrième journée des *Discorsi*:

Dans la recherche que j'aborde à présent, je m'efforcerai de mettre en lumière et d'établir sur de fermes démonstrations certaines des conséquences particulièrement importantes et dignes d'être connues, qu'entraîne pour un mobile le fait d'être animé d'un double mouvement, à savoir un mouvement uniforme et un mouvement naturellement accéléré: car de ce genre paraît bien être le mouvement que nous attribuons aux projectiles [...]

[...] le mobile que j'imagine doué de gravité, parvenu à l'extrémité du plan et continuant sa course, ajoutera à son précédent mouvement uniforme et indélébile la tendance vers le bas que lui confère sa gravité: le résultat sera ce mouvement composé d'un mouvement horizontal uniforme et d'un mouvement naturellement accéléré vers le bas que j'appelle projection. Nous démontrerons maintenant quelques unes de ses propriétés dont voici la première:

Théorème I - Proposition I

Un projectile qu'entraîne un mouvement composé d'un mouvement horizontal uniforme et d'un mouvement naturellement accéléré vers le bas, décrit au cours de son déplacement une trajectoire semi-parabolique.²⁸

²⁶ Galilée, *Opere*, VIII, troisième journée, traduction Maurice Clavelin, *Discours concernant deux sciences nouvelles*, Paris, Colin, (1970), 243.

²⁷ *Ibid.*, quatrième journée, 268.

²⁸ *Ibid.*, 268-269.

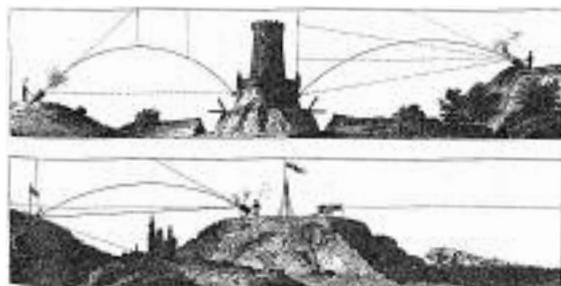
On doit finalement à Huygens d'avoir parfaitement saisi le rôle de ces principes dans l'organisation d'une science déductive du mouvement des graves, science dont il retrouve ensuite, sur la base de démonstrations ne faisant appel qu'aux seules ressources de la géométrie euclidienne, les principaux résultats.

Ce qui apparaît essentiel dans le travail hugonien c'est d'avoir dégagé, mis en pleine clarté, les principes à partir desquels la reconstruction de la science du mouvement est rendue possible. Par cette démarche qui prolonge et dépasse ici Galilée et Descartes, il annonce les *Principia* de Newton et fixe les grandes lignes qui vont permettre, entre les mains de Newton, à la mécanique rationnelle de prendre véritablement son envol.

Dans la suite de la deuxième partie de l'*Horologium* Huygens, en remarquant que "tout ce qui a été démontré jusqu'à présent, s'applique aux corps graves descendant ou montant le long de plans inclinés tout aussi bien qu'à ceux qui se meuvent suivant la verticale [...]";²⁹ ouvre la voie pour la démonstration classique des résultats sur les trajectoires curvilignes et, plus précisément, sur ceux relatifs à l'isochronisme des chutes dans la cycloïde renversée. Ce faisant la Proposition XXV donne le résultat décisif:

Dans une cycloïde à axe vertical et dont le sommet se trouve en bas, les temps de descente dans lesquels un mobile, partant du repos d'un point quelconque de la courbe, atteint le point le plus bas, sont égaux entre eux, et ont au temps de la chute verticale le long de l'axe entier de la cycloïde une raison égale à celle de la demi-circonférence d'un cercle à son diamètre".³⁰

La théorie du mouvement des graves vient de naître à l'existence mathématique, en ce sens que ses principes ont été dégagés, la théorie a été développée pas à pas, la clarté règne dans les démonstrations, la voie est ouverte pour le travail newtonien.



²⁹ *Op. cit.*, n. 20, XVIII, 140.

³⁰ *Ibid.*, 184.