Laval théologique et philosophique

Descartes et le paradigme galiléen

Daniel Garber

Volume 53, numéro 3, octobre 1997

Actes du colloque international Descartes

URI : https://id.erudit.org/iderudit/401112ar
DOI : https://doi.org/10.7202/401112ar

Aller au sommaire du numéro

Éditeur(s)

Faculté de philosophie, Université Laval

ISSN

0023-9054 (imprimé)
1703-8804 (numérique)

Laval Théologique et Philosophique, 53, 3 (octobre 1997) : 551-559

DESCARTES ET LE PARADIGME GALILÉEN

Daniel GARBER

RÉSUMÉ : *Pour peu qu'on considère son excellence en mathématiques et son intérêt pour les questions de physique, il est très surprenant que Descartes n'ait jamais été le physicien mathématicien qu'on aurait pu attendre et qu'il a voulu être. La question étant trop vaste pour un bref exposé, nous ne considérons ici que la réaction de Descartes à un seul programme dans le domaine de la physique mathématique, celui de Galilée, afin de voir pourquoi il lui était impossible non seulement de l'accepter, mais aussi d'y trouver une solution de remplacement.*

SUMMARY : *Given his excellence in mathematics and his interest in questions of physics, it is very surprising that Descartes never was the mathematical physicist one would have expected him to be and that he wished to be. Since the question is too vast for a brief account, we will confine ourselves here to Descartes's reaction to just one program in the field of mathematical physics, namely Galileo's, to see why it was impossible for Descartes not only to accept it, but also to find an alternative solution to it.*

Le XVII^e siècle est l'époque de l'invention de la physique mathématique, où des savants comme Galilée, Huygens et Newton apprenaient à appliquer les mathématiques aux problèmes physiques. Descartes semble avoir été bien placé pour participer à ce mouvement de pensée très important. Il était lui-même un mathématicien de la plus haute importance au XVII^e siècle, et sa *Géométrie* est une grande œuvre dans l'histoire des mathématiques. Descartes a beaucoup écrit sur des questions de physique, et sa vision mécaniste du monde influença ses contemporains, peut-être davantage même que sa métaphysique.

Aussi est-il très surprenant que Descartes n'ait jamais semblé combiner ces deux domaines, le domaine de la physique et le domaine des mathématiques. À la différence de la physique de Galilée, la physique de Descartes est presque entièrement qualitative. Certes on trouve quelques arguments mathématiques dans la *Dioptrique*, et dans les *Météores*, autour de questions comme celles de la réflexion, de la réfraction et de l'arc-en-ciel, relevant des mathématiques mixtes, disait-on au XVII^e siècle. On trouve en outre des raisonnements mathématiques dans les écrits de jeunesse de

Descartes, dans les notes écrites pour Isaac Beeckman. Toutefois, dans le *Monde*, dans les *Principes*, on ne trouve pas même un calcul, une équation, ou une démonstration géométrique. Comme l'a écrit Alexandre Koyré :

> Le fait est connu. La physique de Descartes, telle que nous la présentent les *Principes*, ne contient plus de lois mathématiquement exprimables. Elle est, en fait, aussi peu mathématique que celle d'Aristote[1].

On peut lire la physique de Descartes comme un roman de la nature, ainsi que Descartes l'a expliqué à la Princesse Élisabeth ; il y a des diagrammes élégants, de belles images, mais rien de tel que des arguments vraiment mathématiques. Ainsi, dans les *Principes de la philosophie*, Descartes démontre comment les planètes tournent autour du soleil dans un grand tourbillon. Il ne fournit cependant pas une trajectoire exacte, comme Kepler ou Newton, par exemple, l'ont fait (cf. *Pr. Phil.* III, *passim*[2]). De même, dans les *Principes*, Descartes a donné une explication du comportement des aimants, mais sans aucune discussion quantitative de la force d'attraction (*Pr. Phil.* IV, §139 et suiv.). La physique des *Principes* n'est donnée qu'en mots seulement.

La question est : pourquoi ? Pourquoi Descartes n'était-il pas le physicien mathématicien que nous espérons, et qu'il a la prétention d'être ? Cette question est trop vaste pour un bref exposé comme celui-ci. Je me concentrerai ici sur un seul programme dans le domaine de la physique mathématique, celui de Galilée, où l'on trouve un traitement mathématique du mouvement des corps pesants, de la chute des corps pesants, des plans inclinés, des pendules, etc. Je voudrais examiner la réaction de Descartes à ce programme, voir pourquoi il lui était impossible de l'accepter, et pourquoi il lui était impossible de formuler un programme alternatif face à la physique galiléenne des corps pesants.

PHYSICO-MATHEMATICI PAUCISSIMI : LA PHYSIQUE MATHÉMATIQUE ET LE PARADIGME GALILÉEN

Dans son journal, Isaac Beeckman note avec satisfaction que Descartes l'a trouvé extraordinaire dans sa capacité de joindre les mathématiques avec la physique. Le passage du journal est intitulé « *Physico-mathematici paucissimi* » (AT X, 52). Mais que veut dire au juste ici « *physico-mathematici* » ?

Il est bien connu que la philosophie naturelle aristotélicienne entretenait une relation ambiguë avec les mathématiques. Rigoureusement parlant, pour l'aristotélicien orthodoxe, les mathématiques n'ont pas leur place en philosophie naturelle (la physique) ; les mathématiques sont concernées par des abstractions, et point par la vraie nature des choses et leurs vraies causes, qui est le sujet de la physique. D'autre part

1. Alexandre KOYRÉ, *Études galiléennes*, Paris, Hermann, 1939, II-46.

2. Pour les références aux *Principes de la philosophie*, nous abrégeons le titre comme ceci : *Pr. Phil.*, indiquant ensuite la partie et le numéro de la section. Les autres références pour Descartes sont données suivant l'édition Adam-Tannery, *Œuvres de Descartes* (nouvelle présentation par P. Costabel et B. Rochot, Paris, Vrin, CNRS, 1964-1974), désormais AT, suivi du tome et de la page.

cependant, il y avait la grande tradition des mathématiques mixtes, l'astronomie, l'optique, la musique, toutes disciplines où l'on se sert de méthodes mathématiques à propos de questions touchant des choses appartenant au monde physique. Pour la plupart néanmoins, une différence subsiste entre le traitement physique d'une question, et le traitement de la même question par les mathématiques mixtes. En astronomie, par exemple, le mathématicien s'intéresse seulement aux mouvements apparents des planètes et des astres, alors que le philosophe de la nature s'intéresse à la vraie nature de la matière céleste, les vraies causes du mouvement des corps célestes, etc. Tandis que l'astronome mathématicien s'intéresse uniquement à sauver les apparences, le physicien s'intéresse, lui, à la vraie histoire.

Le terme « physico-mathématique » était bien répandu au début du XVII^e siècle[3]. Parfois il semble signifier une œuvre de mathématiques mixtes dans le sens traditionnel[4]. Souvent il semble désigner une œuvre qui inclut des discussions de questions de mathématiques mixtes, ainsi que des discussions (toutes séparées) de questions physiques. Ainsi, par exemple, un livre pourra commencer avec un traitement mathématique d'astronomie, et finir avec une discussion des causes du mouvement des planètes[5]. Mais la signification la plus intéressante qu'on lui découvre, c'est la tentative d'étendre les méthodes utilisées dans les mathématiques mixtes à des questions plus souvent discutées en physique. Il me semble que c'est cela que Beeckman et Descartes veulent dire par « physico-mathématique ».

Quoique plusieurs aient essayé de combiner les mathématiques et la physique à cette époque, le programme d'une importance spéciale pour le siècle reste celui de Galilée. Dans le travail de Galilée, on trouve une application très sophistiquée des méthodes mathématiques aux problèmes physiques des corps pesants. Par des expériences diverses, Galilée a démontré que pour un corps en chute, la distance de la chute est en raison du carré du temps. En outre, il a étendu ces investigations à d'autres questions, au comportement de balles sur des plans inclinés, au comportement de pendules, etc. Plus impressionnantes pour ses contemporains étaient ses études sur le mouvement des projectiles. Combinant un mouvement horizontal uniforme avec une accélération verticale uniforme, Galilée a démontré que le projectile se meut en une trajectoire parabolique[6]. Dans ces études, Galilée proposait un paradigme très puissant pour comprendre comment on peut appliquer les mathématiques à la physique, un modèle pour la nouvelle physique mathématique. C'est cela que j'appelle « le paradigme galiléen[7] ». Le paradigme galiléen s'intéresse au domaine de la physique des

3. Sur cette question, et sur la place des mathématiques dans la pensée aristotélicienne à cette époque, voir Peter DEAR, *Discipline and Experience : the Mathematical Way in the Scientific Revolution*, Chicago, University of Chicago Press, 1995, chapitre 6.

4. Isaac Barrow semblait utiliser le terme en ce sens ; voir DEAR, *op. cit.*, p. 178-179 ; 223-224.

5. Voir DEAR, *op. cit.*, p. 173.

6. Galileo GALILEI, *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno a due nuove scienze*, dans *Opere di Galileo Galilei*, A. Favaro, éd., Florence, Barbera, 1890-1909, vol. VIII, p. 197 et suiv., 272 et suiv.

7. J'entends le mot « paradigme » en sa signification kuhnienne ; voir Thomas KUHN, *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press, 1962[1], 1970[2]. Les paradigmes kuhniens sont définis dans les termes suivants : ce sont des « *accepted examples of actual scientific practice — examples which include law, theory, application, and instrumentation together —* [*that*] *provide models from which*

corps pesants, des corps qui ont une « tendance naturelle » à tomber vers le centre de la terre. Il se sert de quelques lois (la loi de la chute des corps, ainsi que la soi-disant loi d'inertie), fondées sur l'expérience et l'observation, pour donner des descriptions mathématiques du comportement des corps pesants dans une variété des situations.

Ce que j'appelle le paradigme galiléen contenait quantité d'éléments de plusieurs traditions antérieures, de la tradition d'Archimède, par exemple, de la tradition pseudo-aristotélicienne des *Mechanica* également, et de nombreuses traces des traditions du XVI^e siècle en mécanique[8]. Mais au début du XVII^e siècle, c'était Galilée qui personnifiait l'esprit nouveau des sciences. Aussi le paradigme galiléen exerça-t-il une influence considérable au XVII^e siècle. Encore que beaucoup de savants aient eu l'idée générale d'appliquer les mathématiques à la physique, il appartint à Galilée de démontrer d'une façon très concrète où cela pouvait se faire. Nous reviendrons plus loin à la question générale d'une physique mathématique, mais non sans avoir examiné de plus près, au préalable, le programme galiléen.

Particulièrement important parmi les partisans de Galilée était le Père Marin Mersenne, le grand ami de Descartes. Dès sa première prise de contact avec Galilée et ses idées au milieu des années 1620, Mersenne fut profondément marqué par le programme galiléen[9]. Même s'il n'était pas toujours d'accord avec Galilée, Mersenne publia des éditions françaises de ses œuvres, et discuta des idées de Galilée dans ses propres livres, par exemple dans l'*Harmonie universelle* (Paris, 1636-1637). Le paradigme galiléen pour l'étude des corps pesants est du reste évident dans la physique de Mersenne, comme l'attestent les *Cogitata Physico Mathematica* (Paris, 1644), et le *Novarum observationum Tomus III* (Paris, 1647).

La chose n'est guère connue, mais Descartes aussi participait au programme galiléen pour la physique mathématique. Il n'était pas enthousiaste comme Mersenne, certes. Il n'empêche que lorsque Mersenne interroge Descartes en termes galiléens, Descartes répond dans les mêmes termes. Dans la correspondance entre Descartes et Mersenne (Descartes à Mersenne, 13 juillet 1638), on peut lire, par exemple, un « examen de la question de sçavoir si un corps pese plus ou moins, estant proche du centre de la terre qu'en estant esloigné » (AT II, 222 et suiv.). Dans cet essai, Descartes se sert de la supposition galiléenne qu'un corps pesant a toujours une tendance à tomber vers le centre de la terre, avec le même degré d'accélération[10]. Dans une

spring particular coherent traditions of scientific research » (p. 10). La notion de paradigme est complexe et comporte nombre de difficultés, les critiques de cette notion étant abondantes dans la littérature relative à la philosophie des sciences. Mais je pense que l'idée d'un paradigme galiléen demeure fort éclairante dans le contexte limité qui est le nôtre à présent.

8. Sur les sources de la pensée de Galilée, importantes pour ses contemporains aussi, voir William A. WALLACE, *Prelude to Galileo*, Dordrecht, Reidel, 1981 ; et ID., *Galileo and His Sources*, Princeton, Princeton University Press, 1984.

9. Voir Robert LENOBLE, *Mersenne, ou la naissance du mécanisme*, Paris, Vrin, 1943[1], 1971[2], p. 39, 357-360, 391 et suiv.

10. Alan Gabbey a objecté que cette discussion n'appartient pas à la tradition galiléenne, mais à la tradition géostatique de Guido Ubaldo et Benedetti, très différente de celle de Galilée. À parler strictement, c'est vrai ; voir Guido UBALDO DEL MONTE, *Mechanicorum liber* (Pesaro, 1577), dans Stillman Drake and I.E. Drabkin, éd. et trad., *Mechanics in Sixteenth-Century Italy*, Madison, University of Wisconsin Press, 1969,

autre lettre écrite à Huygens mais destinée à Mersenne (lettre du 18 ou 19 février 1643), il cite Galilée afin d'expliquer pourquoi l'eau qui sort d'un tuyau tombe en une trajectoire parabolique (AT III, 624 ; diagramme, p. 621).

Mersenne a trouvé la physique galiléenne de Descartes tellement impressionnante qu'il a publié dans ses livres de grands extraits des lettres de Descartes[11]. Il est à peine exagéré de dire que Descartes est un collaborateur de ces écrits de Mersenne. En ce sens, on peut même voir ces œuvres de Mersenne comme faisant partie des publications anonymes de Descartes, la physique mathématique qu'il n'a jamais publiée. Descartes apparaît ainsi comme un membre du cercle des physiciens mathématiques qui travaillaient en France et en Italie à l'époque.

Mais on ne saurait oublier, en contrepartie, que ce travail devait rester anonyme, Descartes ne voulant pas s'attribuer le mérite de ces exercices en mode galiléen. Lorsque Mersenne lui demanda la permission de publier les extraits de ses lettres, Descartes acquiesça, mais « pourvû que mon nom n'y soit point mis [...] » (AT II, 271-272 ; III, 613). Non pas, à coup sûr, que Descartes ait eu d'aucune manière honte de son travail, mais il ne désirait pas être associé au programme galiléen. Aussi Mersenne se contentera-t-il d'attribuer ces textes à quelque « *clarissimus vir* ».

Bref, Descartes était content de jouer le jeu galiléen avec Mersenne, et même de publier ses résultats. Il faisait cependant exprès de ne pas associer son nom au programme galiléen pour une physique mathématique des corps pesants. Pourquoi donc ?

DESCARTES ET LA PHYSIQUE GALILÉENNE DES CORPS PESANTS

Pour répondre à cette question, il faut revenir au paradigme galiléen. Fondamentale au paradigme galiléen est la supposition que les corps pesants ont une tendance naturelle à tomber vers le centre de la terre. En outre, Galilée suppose que dans sa chute, l'accélération d'un corps est uniforme. Une fois ces suppositions faites, il devient possible de résoudre beaucoup de problèmes selon les méthodes sophistiquées caractéristiques du paradigme galiléen.

On dit souvent que pour Descartes, l'application des mathématiques à la physique est une conséquence directe du fait que l'essence du corps est l'étendue géométrique. Mais assez ironiquement, *c'est cette identification de la matière et de l'étendue* qui force Descartes à rejeter les suppositions galiléennes. Parce qu'ils ne contiennent rien sauf l'étendue géométrique, les corps ne peuvent avoir de tendances in-

p. 265, 268-269, 271 et suiv. Voir aussi Giovanni Battista BENEDETTI, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber* (Turin, 1585), dans DRAKE and DRABKIN, *Mechanics*, p. 170, 176-177. Mais il y a tout lieu de croire que Mersenne et ses amis voyaient ces questions comme une partie intégrante du grand programme galiléen de la physique mathématique, et qu'ils ne distinguaient pas les questions géostatiques des autres questions de la théorie mathématique du mouvement.

11. Voir AT X, 582-599, où Adam et Tannery donnent un compte rendu détaillé des relations entre la correspondance Descartes-Mersenne et les *Cogitata* de Mersenne. Pour la relation entre la lettre du 13 juillet 1638 et les *Cogitata*, voir p. 595-596. Il faut noter que ce qui est indiqué là comme le « t. III » (*i.e.* AT III) est en fait le « t. II » (*i.e.* AT II).

nées. Plus particulièrement, les corps ne peuvent pas avoir en eux-mêmes une tendance à tomber vers le centre de la terre — ou vers un autre lieu, n'importe lequel. Considérés en eux-mêmes, quand ils se meuvent, les corps restent en mouvement, et quand ils se reposent, ils restent en repos, mais ils n'ont pas de tendances à se mouvoir d'un côté ou d'un autre. Pour Descartes, la gravité s'explique par l'interaction entre un corps et le tourbillon de la matière subtile autour de la terre. Rigoureusement parlant, les corps sont poussés vers le centre de la terre par des chocs avec des petits corpuscules de matière subtile dans le tourbillon.

Et donc, d'après Descartes, les suppositions concernant les corps pesants qui sont liées au paradigme galiléen sont fausses. En eux-mêmes, les corps ne tombent pas vers le centre de la terre. On peut supposer qu'ils se comportent comme cela, qu'ils ont une tendance à tomber vers le centre de la terre, et que quand ils tombent, ils accélèrent uniformément. Mais ces suppositions sont fausses. Et parce que Descartes croit que la cause de la gravité ce sont les chocs entre un soi-disant corps pesant et les corpuscules du tourbillon de matière subtile, les lois galiléennes de la chute des corps sont à ses yeux fausses. Descartes écrit à Mersenne le 11 mars 1640 :

> La matiere subtile pousse au premier moment le cors qui descend, & luy donne un degré de vitesse ; puis au second moment elle pousse un peu moins, & luy donne encore presque un degré de vitesse, & ainsi des autres ; ce qui fait *fere rationem duplicatam*, au commencement que les cors descendent. Mais cette proportion se perd entierement, lors qu'ils ont descendu plusieurs toises, & la vitesse ne s'augmente plus, ou presque plus (AT III, 37-38 ; cf. AT I, 221-222, 228, 231, 261, 304-305, 392 ; II, 355, 385, 386, 630 ; III, 9, 11, 164-165 ; IV, 687-688, 707-708).

Les corps en tombant n'accélèrent pas continuellement, comme l'implique la loi galiléenne. Au début de la chute, un corps accélère, et pour quelque temps, la loi galiléenne est juste. Mais quand la vitesse du corps approche la vitesse des corpuscules dans le tourbillon, il accélère de moins en moins, jusqu'à ce qu'il n'accélère plus du tout et se meuve avec une vitesse constante.

Descartes est content de travailler selon le paradigme galiléen, quand Mersenne le lui demande. Mais avant d'établir la vraie cause de la pesanteur, ce travail est seulement une sorte de jeu, pas vraiment de la physique, mais un exercice vide de mathématiques pures. Si nous *supposons* que des corps tombent en accord avec la loi galiléenne, alors nous pouvons inférer la trajectoire parabolique pour le mouvement d'un projectile, comme Descartes l'a d'ailleurs précisé :

> Or cela posé, il est tres aisé de conclure que le mouvement des cors ietez devroit suivre une ligne parabolique ; mais ses positions estant fausses, sa conclusion peut bien aussy estre fort esloignée de la verité (AT II, 387).

Pour jouer le jeu galiléen, par exemple dans sa discussion avec Mersenne au sujet de la pesanteur proche du centre de la terre, il faut faire des suppositions « pour faire plus commodement nostre calcul », même si on sait que ces suppositions sont fausses (AT II, 227). Le résultat est seulement aussi bon que les suppositions avec lesquelles on commence, et Descartes croit en fait que ces suppositions ne sont pas très bonnes.

Alexandre Koyré, un grand lecteur de Galilée et de Descartes, a écrit :

> La pensée, ou, si l'on préfère, l'attitude mentale de Galilée diffère sensiblement de celle de Descartes. Elle n'est pas purement mathématique ; elle est *physico-mathématique*. Galilée n'émet pas d'hypothèses sur les modes possibles du mouvement accéléré : ce qu'il cherche, c'est le mode réel, le mode dont use la nature[12].

Il me semble que la vérité est presque tout à fait à l'inverse, au moins du point de vue de Descartes. Descartes cherche une physique fondée sur une vraie compréhension de la nature telle qu'elle est, et une connaissance des vraies causes des phénomènes. D'après Descartes, la physique mathématique de Galilée est une fantaisie mathématique, fondée sur des suppositions arbitraires, un roman de la nature, pas moins fantaisiste du fait qu'il soit exprimé dans un langage mathématique. Descartes cherchait une vraie science physico-mathématique, autant physique que mathématique, une science mathématique du mouvement avec une connaissance des vraies causes des effets. Ce n'est que lorsqu'on comprendra les vraies causes de la pesanteur qu'on aura une vraie science du mouvement des corps pesants.

UN PARADIGME CARTÉSIEN POUR UNE PHYSIQUE MATHÉMATIQUE ?

Jusqu'à présent, je m'en suis tenu à la réaction de Descartes au paradigme galiléen pour la physique des corps pesants, et aux raisons pour lesquelles Descartes l'a rejeté. Cependant, alors que Descartes rejetait le programme de Galilée, pourquoi n'y a-t-il pas substitué son propre programme ? Une raison possible est que la physique des corps pesants n'était pas très importante pour Descartes, pas aussi centrale pour lui que pour Galilée. Il n'empêche que le comportement des corps dans les tourbillons de matière subtile était pour lui bien central, et le comportement des corps pesants n'est qu'un cas spécial de cela pour Descartes. Même si les tourbillons et le mouvement des corps dans les tourbillons occupent une place notable dans les *Principes*, la discussion y est cependant tout à fait qualitative.

Il est sûr que Descartes s'efforçait de faire une théorie mathématique des corps pesants et de ses comportements dans les tourbillons. On peut voir le commencement d'une physique des corps pesants dans les écrits de jeunesse de Descartes, dans les notes liées à son apprentissage avec Beeckman en 1618 et 1619 (AT X, 41-78). Dans ces notes, Descartes discute, par exemple, le problème de la chute des corps, problème central, encore une fois, du paradigme galiléen, et il fait la même supposition que Galilée a faite, que des corps tombants accélèrent uniformément (AT X, 58-61, 75-78 ; voir aussi AT X, 219-220). Le traitement n'est sans doute pas très bon, le jeune Descartes ayant même versé dans le paralogisme, mais il n'est pas plus mauvais que les tentatives du jeune Galilée. Plus tard, après la découverte de sa théorie de la pesanteur, Descartes semble approcher la question d'une loi mathématique de la chute des corps avec des suppositions différentes. Au début de 1631, travaillant sur le *Monde*, Descartes écrit à Mersenne : « Je pense que je pourrois bien maintenant déterminer à quelle proportion s'augmente la vitesse d'une pierre qui descend, non

12. KOYRÉ, *op. cit.*, II-74.

point *in vacuo*, mais *in hoc vero aere* » (AT I, 231). Ce texte laisse entrevoir que Descartes s'efforce de comprendre les lois des corps pesants tels qu'ils se comportent dans ce monde réel, quand ils se meuvent vers le centre de la terre à cause des chocs avec des corpuscules de la matière subtile. Parmi des notes des années 1630 que Leibniz a copiées, un texte au moins contient un traitement explicite de cette question (AT XI, 629-631)[13].

Mais pourquoi Descartes n'a-t-il pas publié ses pensées au sujet des corps pesants dans ses livres ? Pourquoi n'a-t-il pas réussi à remplacer le paradigme galiléen par un autre programme vraiment cartésien pour la physique mathématique des corps pesants ? On a tendance à voir ici quelque manque d'imagination profonde, une incapacité de voir quelque chose que Galilée comprenait : comment on peut utiliser les mathématiques dans une théorie physique. Paul Tannery, par exemple, écrit à propos de Descartes : « [...] il lui manque le sentiment des conditions de l'application des mathématiques à des questions autres que celles des nombres, des formes et des grandeurs géométriques, sentiment que Galilée possédait, au contraire, au plus haut degré[14] ». Mais cette opinion n'est pas juste. Comme nous l'avons vu, dans sa correspondance avec Mersenne, Descartes s'avère un participant à la physique galiléenne de son époque, même s'il préférait ne pas le faire en son nom propre ; la physique galiléenne était un jeu qu'il pouvait jouer, mais qu'il a rejeté. Il semble y avoir eu d'autres raisons pour l'absence d'une physique mathématique dans les écrits publiés de Descartes.

Une de ces raisons est bien entendu la complexité du problème de la pesanteur chez Descartes. D'après la conception cartésienne de la pesanteur, avons-nous vu, un corps pesant tombe parce qu'il est poussé vers le centre de la terre à cause des chocs entre le corps et les petits corpuscules dans le tourbillon autour de la terre. Or il est évident que le calcul nécessaire pour comprendre la loi mathématique à laquelle obéit un corps tombant est très, très complexe[15].

Le calcul en question est vraiment complexe, et sa complexité est un problème sérieux pour Descartes, un véritable obstacle à une physique mathématique. Mais il y a un autre problème aussi, un problème un peu surprenant : le manque d'expériences. Dans la partie VI du *Discours de la méthode*, Descartes se plaint qu'il ne peut pas finir sa science sans avoir fait au préalable beaucoup d'expériences très chères et très difficiles. Et il semble même que ce manque d'expériences était un des obstacles les

13. On se doute bien que ce texte a été conservé parce qu'il contient une discussion sur la façon dont un esprit peut causer le mouvement d'un corps, et non pas parce que Descartes discute la question de la chute des corps. Mais on doit se demander alors combien d'autres tentatives de résoudre ce problème se trouvaient dans les cahiers maintenant perdus de Descartes.

14. Paul TANNERY, dans C. Adam et G. Milhaud, éd., *Descartes : Correspondance*, Paris, Alcan/Presses Universitaires de France, t. III, p. 83, note. Voir aussi Emily GROSHOLZ, *Cartesian Method and the Problem of Reduction*, Oxford, Oxford University Press, 1991, chapitre 5 ; Stephen GAUKROGER, « Descartes's Project for a Mathematical Physics », dans Gaukroger, éd., *Descartes : Philosophy, Mathematics, and Physics*, Sussex, Harvester, 1980 ; KOYRÉ, *op. cit.*, II-45 et suiv.

15. Pour une explication analogue du fait que Descartes n'a pas publié ses pensées mécaniques, voir Alan GABBEY, « Descartes's Physics and Descartes's Mechanics : Chicken and Egg ? », dans Stephen Voss, éd., *Essays in the Philosophy and Science of René Descartes*, Oxford, Oxford University Press, 1993, p. 311-323.

plus importants contre la construction d'une physique mathématique des corps pesants, une vraie théorie rivale de la théorie galiléenne. Dans une lettre du 11 mars 1640, Descartes écrit :

> Je ne puis determiner la vitesse dont chaque cors pesant descend au commencement, car c'est une question purement de fait, & cela dépend de la vitesse de la Matiere subtile [...] (AT III, 36).

Comme Descartes le note dans sa lettre à Mersenne du 13 juillet 1638, une question de fait « ne sçauroit estre determinée par les hommes, qu'en tant qu'ils en peuvent faire quelque experience » (AT II, 224). Mais la vitesse de la matière subtile (et la variation de vitesse à des distances différentes du centre de la terre) détermine la vitesse du corps au commencement de sa chute aussi bien que sa vitesse durant tous les moments subséquents. (On peut dire la même chose pour de grands tourbillons autour du soleil et des astres, qui déterminent le mouvement des planètes, des comètes, etc., d'après Descartes.) Puisque la vitesse de la matière subtile est « une question purement de fait », quelque chose qu'on peut apprendre seulement par l'expérience, il semble que la loi de la chute des corps doit être fondée sur des expériences aussi. Pas des expériences telles que celles que Galilée a utilisées pour établir ses lois de chute des corps, évidemment. Galilée a laissé tomber des balles, il les a laissé rouler sur des plans inclinés, il les a observées oscillant au bout d'un fil. Mais suivant Descartes, ces expériences montrent seulement le comportement d'un corps au commencement de sa chute, et donc ne sont pas représentatives de toute sa course en tombant. Pour établir les vraies lois de la chute des corps par l'expérience, Descartes a besoin d'expériences avec des corps tombant sur de grandes distances, lesquelles suffiront à révéler à l'observateur les vraies lois. Mais il était impossible pour Descartes d'obtenir de pareilles observations. Comme il le dit à Mersenne en sa lettre du 13 juillet 1638, « des experiences que se feront icy en nostre air, on ne peut connoistre ce qui en est beaucoup plus bas, vers le centre de la terre, ou beaucoup plus haut, au dela des nues [...] » (AT II, 224-225). Ce qui entrave une vraie physique mathématique des corps pesants pour Descartes, ce n'est pas un problème conceptuel, ni un problème relativement à son talent de mathématicien, mais c'est la possibilité pour lui d'appliquer les mathématiques à la physique. Le problème était, au moins en partie, d'ordre empirique, savoir la difficulté de faire les expériences nécessaires afin d'établir les vraies lois des corps tombants.

En dépit des efforts de Descartes pour le remplacer, le paradigme galiléen en physique mathématique des corps pesants est resté central en physique durant presque un demi-siècle après la mort de Descartes. Il s'est maintenu jusqu'aux travaux d'Isaac Newton, qui sut se servir des observations des mouvements de la lune et des planètes pour bâtir une théorie mathématique des corps pesants corrigeant les lois de Galilée, ce que Descartes s'était efforcé de faire, mais sans succès.