Philosophia Scientiæ

Travaux d'histoire et de philosophie des sciences

21-1 | 2017

Homage to Galileo Galilei 1564-2014

Les *De motu antiquiora* de Galileo Galilei : le lancement de la carrière du *filosofo-geometra*

Galileo Galilei's De motu antiquiora. The Launch of the Filosofo-Geometra's Career

Raymond Fredette

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/philosophiascientiae/1240>

DOI : 10.4000/philosophiascientiae.1240

ISSN : 1775-4283

Éditeur

Éditions Kimé

Édition imprimée

Date de publication : 15 février 2017

Pagination : 55-70

ISBN : 978-2-84174-801-3

ISSN : 1281-2463

Référence électronique

Raymond Fredette, « Les *De motu antiquiora* de Galileo Galilei : le lancement de la carrière du *filosofo-geometra* », *Philosophia Scientiæ* [En ligne], 21-1 | 2017, mis en ligne le 15 février 2019, consulté le 31 mars 2021. URL : <http://journals.openedition.org/philosophiascientiae/1240> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/philosophiascientiae.1240>

Tous droits réservés

Les *De motu antiquiora* de Galileo Galilei : le lancement de la carrière du *filosofo-geometra*

Raymond Fredette

Université du Québec à Montréal (Canada)

Résumé : Dans cet article, j'analyse avec passion le *De motu antiquiora* (également *De motu*) dans les *Edizione Nazionale* [Galilei 1890-1909, ci-après EN] par Galileo Galilei [ci-après Galilée] (1564-1642). Cette œuvre de jeunesse de Galilée a été écrite entre 1589 et 1592. Elle traite du mouvement de la chute des corps et rejette clairement la physique du mouvement d'Aristote et ses conceptualisations cosmologiques. Elle n'a jamais été composée comme une version finale et a été publiée seulement après la mort de Galilée. Le *De motu antiquiora* présente quelques incertitudes mathématiques typiques de cette période dont je vais discuter dans cette article.

Abstract: In this paper I passionately analyse the *De motu antiquiora* (hereafter *De motu*) of the *Edizione Nazionale* [Galilei 1890-1909, hereafter EN] by Galileo Galilei (1564-1642). This work by the young Galilean was written between 1589 and 1592. It deals with the motion of falling bodies and clearly rejects Aristotle's physics of motion and his cosmological conceptualizations. It was never composed as a final draft and was published only after his death. The *De motu antiquiora* presents a few mathematical uncertainties typical of that time which I discuss in this paper.

1 Introduction

En soumettant publiquement le présent texte, j'aimerais reproduire à mon compte ce qu'Henri-Irénée Marrou, le grand historien de la fin de la culture antique et spécialiste de saint Augustin, produisait chez moi durant ses cours. La fascination qu'on éprouve à coller au texte, à l'archive, au vestige fragile,

fugace, fragmentaire du passé, dans le but d'appuyer le récit, le nourrir comme de sa nécessité. Je me propose de rendre le récit impératif par sa référence toujours explicite à la trace factuelle, à la prétendue donnée. La donnée pure n'existe pas. Ce sont les aléas du hasard qui nous « donnent » un reste qui, lui, doit toujours faire l'objet d'un choix pour sa pertinence et qui par là est nécessairement l'objet d'une manipulation jamais neutre.

Je fais le pari que les gens que passionne la lecture de récits historiques veuillent peut-être me suivre pour voir comment on traite le passé-objet comme une cible et la connaissance historique comme une lampe de poche ou un rayon laser qui vise la cible sans jamais pouvoir savoir si la cible ne cache pas encore quelque chose à révéler et qu'on avait oublié. La vérité historique est de même nature que toute vérité : ce mot en grec se dit « ἀλήθεια » ; « aléthéia », le *a* est privatif. Léthé est la déesse de l'oubli. Le vrai est ce qui échappe à l'oubli. D'où l'idée que dire vrai c'est dévoiler, enlever le voile qui empêche de voir, révéler.

J'aimerais cependant éviter le récit mythique, c'est-à-dire la narration des événements comme si un journaliste-témoin-présent revenait nous parler après coup, suite à un voyage astral dans le passé. Les journalistes sont des professionnels habituellement très compétents, mais ce ne sont pas des historiens. Pour essayer d'éviter la mystification, je me propose de toujours tenir à bout de bras deux discours : d'une part, celui qui présente la prétendue donnée, qui est toujours fragmentaire, mais qui sert de fondement et de source et de base à l'interprétation des événements, et d'autre part, celui qui narre cette interprétation elle-même.

Je suis animé ici par l'idée que je me fais de ce que doit être l'activité scientifique. Cela me sert de modèle et c'est d'histoire des idées scientifiques dont il va être question. En écrivant l'histoire de cette façon, mon but est d'aller toujours au-devant de la critique, d'inviter l'introduction de nouvelles données fragmentaires ou de nouvelles perspectives sur elles. Pourquoi cela ? Tout simplement pour que se poursuive en pleine conscience inlassablement le travail inéluctablement provisoire et artisanal des beaux métiers de scientifique et d'historien, d'historienne. Sans autre détour, voici l'amorce de ce récit à double entrée !

Autour de 1590, Galilée écrit :

Nombreux ceux qui seront, après lecture de mes travaux, non pas à examiner avec attention si mes dires sont vrais, et changer d'avis, mais seulement à chercher soigneusement comment, à tort ou à raison, ils pourraient saper mes arguments. [EN, I, 412, 19-22]

Lorsqu'il consigne cette réflexion parmi d'autres dans un petit cahier qu'on retrouvera par hasard longtemps après sa mort, Galilée n'a pas encore trente ans. Et, s'il donne déjà à l'époque des signes de sa nature ambitieuse et fière, il ne peut quand même pas connaître à l'avance le destin qui l'attend. Nous, après coup, nous le savons. Que Galilée ait eu une telle réflexion est un fait.

Ce fait appartient au passé, à l'histoire ; en allemand, on dirait *Historie*. Mais ce fait aurait cependant très bien pu échapper à l'histoire, c'est-à-dire à la connaissance historique, *Geschichte*. Nous avons ici un même mot qui désigne deux réalités à ne jamais confondre : une réalité disparue, morte, un passé à jamais révolu, par définition hors d'accès en lui-même si ce n'est à travers des traces ; et une réalité actuelle, vivante, fruit de l'exercice du métier toujours à recommencer qui consiste à faire parler ces traces. Ce que vous allez lire est l'histoire parfois loufoque et invraisemblable, mais pourtant véridique et passionnante, d'une de ces traces : un manuscrit de jeunesse dans lequel Galilée a écrit qu'il s'attendait à rencontrer chez de nombreux lecteurs une résistance féroce à se ranger à son avis. Si cette réflexion témoigne de la conscience claire qu'il a déjà que ses idées vont soulever la controverse, on aurait tort de penser qu'il s'agit là d'une prémonition applicable à l'ensemble de sa carrière mouvementée. Cette réflexion est une note qu'on ne doit appliquer qu'aux travaux auxquels elle se réfère. Et ces travaux sont ceux qui contiennent ses premières tentatives de philosophe, de mathématicien, de physicien portant sur la question du mouvement. Comment, en vertu de quoi, des corps – disons un morceau de bois, un caillou, qui diffèrent par la pesanteur – se déplacent-ils dans des milieux différents comme l'air et l'eau ? Or, les *De motu antiquiora* (les *DMA* sous-entendu *scripta mea*, comme il les appellera), ses *Travaux plus anciens sur le mouvement*, de son vivant, Galilée ne les soumettra jamais à personne pour lecture.

2 Sur le manuscrit

En effet, ses premiers travaux sur le mouvement, Galilée ne les a jamais publiés. Et pour autant qu'on sache, il ne les a jamais laissés circuler. De plus, ils ne sont jamais mentionnés explicitement, ni dans les œuvres qu'il a publiées ou laissées circuler ni dans sa volumineuse correspondance. La note que j'ai citée ici est la seule et unique remarque explicite qu'on connaisse de Galilée à propos de ces premiers *De motu*. Et on la trouve parmi d'autres notes qu'il avait accumulées dans un cahier à part en vue d'apporter des révisions et des corrections importantes aux résultats de ses recherches alors en cours de rédaction. Et pourtant, aujourd'hui, on peut lire ces travaux de jeunesse en dynamique. En effet, avec grands soins, selon une disposition très particulière, il les a conservés dans ses papiers. Et jusqu'à ce que le manuscrit contenant l'autographe de ces travaux soit trouvé, par hasard longtemps après sa mort, lui qui avait eu un moment l'intention d'en publier les résultats, mais qui s'est ensuite abstenu de le faire, a été, vraisemblablement, toute sa vie, en silence, le seul à en connaître l'existence. Par contre, ne les ayant pas détruits, c'est pour ainsi dire lui-même qui les a livrés à l'histoire. Et quelle histoire !

Cette histoire est celle d'une vieille idée d'Aristote revisitée par Galilée, la notion de pesanteur. De fait, c'est le réexamen par le jeune Galilée de cette

vieille idée aristotélicienne qui va mettre en chantier et nourrir toute sa carrière de chercheur. À partir de 1585, date à laquelle il abandonne l'université de Pise où depuis cinq ans son père espérait faire de lui un médecin, jusqu'à sa mort en 1642, Galilée va passer plus de 50 ans, comme en tête-à-tête, avec l'idée de pesanteur, la *gravitas*. Et en 1632, dans son fameux *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, le *Dialogo* [EN VII 260.7–261.10], discutant avec l'aristotélicien Simplicio, voici ce qu'il va mettre dans la bouche de Salviati, son porte-parole. Nos deux compères tiennent une discussion de principe autour de « deux auteurs qui *ex professo* écrivent contre Copernic » :

SIMPLICIO : Mais l'auteur va faire une objection, comme vous le voyez ; il demande de quel principe dépend ce mouvement circulaire des lourds et des légers : est-ce d'un principe interne ou d'un principe externe ?

SALVIATI : Si l'on s'en tient à son problème, je dis que le principe qui fait tourner le boulet sur la concavité de la Lune est le même que celui qui maintient sa circulation pendant la descente ; je laisse ensuite à l'auteur le soin d'en faire un principe interne ou externe, à sa guise.

SIMPLICIO : L'auteur va prouver qu'il ne peut être ni interne ni externe.

SALVIATI : Je répondrai, moi, que le boulet sur la concavité n'avait pas de mouvement ; je serai donc dispensé d'avoir à expliquer comment il se fait qu'au cours de la descente, il reste toujours à la verticale du même point, puisqu'il n'y restera pas.

SIMPLICIO : Bien, mais, comme les lourds et les légers ne peuvent avoir aucun principe, ni interne ni externe, de mouvement circulaire, le globe terrestre n'aura pas non plus de mouvement circulaire : nous avons ainsi atteint le but.

SALVIATI : Je n'ai pas dit que la Terre n'a aucun principe, ni externe ni interne, de mouvement circulaire, mais je dis que je ne sais pas lequel des deux elle possède ; et ce n'est pas parce que je ne le sais pas que cela peut supprimer le principe. Mais cet auteur sait en vertu de quel principe d'autres corps du monde tournent – comme ils le font assurément –, alors je dis que ce qui fait mouvoir la Terre, c'est quelque chose de semblable à ce qui fait se mouvoir Mars, Jupiter et aussi, à ce qu'il croit, la sphère étoilée ; qu'il m'indique le moteur d'un de ces mobiles, et je m'engage à lui dire ce qui meut la Terre. Bien plus, je prends le même engagement s'il réussit à m'apprendre ce qui meut les parties de la Terre vers le bas.

SIMPLICIO : La cause de cet effet est bien connue, chacun sait que c'est la pesanteur [*gravità*].

SALVIATI : Vous vous trompez, signor Simplicio. Ce que vous devez dire, c'est que chacun sait qu'on l'appelle pesanteur. Mais

ce que je vous demande, ce n'est pas le nom, c'est l'essence de la chose : de cette essence, vous n'en savez pas plus que de l'essence de ce qui fait tourner les étoiles, si ce n'est le nom qu'on y a attaché et qui est devenu familier, banal, parce qu'on en a fait l'expérience fréquemment, mille fois par jour ; mais ce n'est pas cela qui nous fait mieux comprendre quel est le principe, ou la vertu, qui meut la pierre vers le bas, pas plus que nous ne savons ce qui la meut vers le haut quand elle s'est séparée du lanceur, ou ce qui meut la Lune en rond, sauf (comme je l'ai dit) le nom : nous lui avons donné comme nom propre et singulier le nom de *gravità*, alors que nous utilisions dans le second cas le terme plus générique de *virtù impressa* et dans le dernier cas le nom d'*intelligenza* ou d'*assistente* ou d'*informante* ; à l'infini des autres mouvements, nous donnons comme cause la *natura*. [EN VII, 260.7–261.10]

Fréreux & De Gand, dont je transcris la traduction, notent, avec à-propos, et précisent ici qu'à l'époque de cette discussion la tradition voulait que « les anges qu'on assignait à la conduite des planètes dans leur course étaient dits *assistants* ; *informant* est le principe moteur interne, comme l'âme dans les êtres animés » [Galilei 2000].

3 La méthode de travail de Galilée

Le succès prodigieux de la carrière de Galilée repose sur des méthodes de travail qu'il a pratiquées dès le départ.

C'est à Aristote que l'Occident doit la première codification des règles logiques de la pensée. Le Stagirite a donné à ce code le nom grec d'*Organon* qui veut dire L'Instrument. Et pour ce faire, Aristote a abondamment puisé dans ce qui, peut-être, est le plus beau cadeau que d'autres Grecs nous ont légué : les mathématiques. Il y avait là en effet pour lui comme une façon empirique de notre pensée à se pratiquer à être rationnelle, logique. Aujourd'hui la logique fait partie du domaine de la mathématique. À l'époque de Galilée, logique et géométrie, pour nommer la branche alors la plus importante de ce domaine, constituaient deux territoires que la philosophie tenait bien distincts.

En 1638, date de publication de ses *Discours concernant deux sciences nouvelles*, les *Discorsi*, Galilée a derrière lui 50 ans de pratique du métier de philosophe-géomètre. C'est l'association et l'intégration de la logique à la géométrie au sein du travail quotidien du philosophe de la nature qui permet à celui-ci « d'inventer », i.e., de détecter les défauts, tant logiques qu'empiriques, des arguments en cours sur une question, et ainsi de se mettre en piste pour en trouver de meilleurs. Sur la différence entre la logique et la géométrie en rapport à la philosophie naturelle, voici un passage clef des *Discorsi*. Aux personnages de Simplicio l'aristotélicien et de Salviati, porte-parole de Galilée, l'auteur, en fin pédagogue, ajoute le personnage de Sagredo,

qui, lui, représente l'honnête homme de l'époque à l'esprit curieux, libre et indépendant.

SALV. [...] Ainsi comprend-on que quand le support F s'approchera de l'extrémité D , il faudra nécessairement augmenter à l'infini la somme des moments des forces appliquées en E et en D si l'on désire équilibrer ou surmonter la résistance placée en F .

SAGR. Que dirons-nous, seigneur Simplicio ? Ne convient-il pas d'avouer que la géométrie est le plus puissant de tous les instruments pour aiguïser l'esprit et pour le mettre en mesure de raisonner et d'analyser de la meilleure façon ? Platon n'avait-il pas grandement raison quand il désirait que ses élèves eussent d'abord de solides bases mathématiques ? J'avais très bien compris d'où vient le pouvoir du levier, et comment selon qu'augmente ou diminue sa longueur, le moment de la force et de la résistance augmente ou diminue de son côté ; et pourtant, dans la solution du présent problème je me trompais, non pas un peu, mais du tout au tout.

SIMP. Vraiment je commence à comprendre que la logique, bien qu'elle soit d'excellent usage pour régler le raisonnement, ne possède nullement, pour ce qui est d'éveiller l'esprit à l'invention, l'acuité de la géométrie.

SAGR. Il me semble à moi que la logique nous apprend à reconnaître si les raisonnements et les démonstrations déjà élaborées et inventées procèdent de façon concluante ; mais qu'elle nous apprenne à inventer les raisonnements et les démonstrations concluantes, cela vraiment je ne le crois pas. Mieux vaudrait cependant que le seigneur Salviati nous fasse voir selon quelle proportion augmentent les moments des forces nécessaires pour surmonter la résistance du même cylindre de bois quand varient les points choisis pour la rupture. [EN VIII 175, 12–34]

Comme nous pouvons le constater, la science nouvelle est ici concernée par des problèmes d'ingénierie, ceux de résistance des matériaux ; l'autre science nouvelle est la science du mouvement de translation des corps dans l'espace. Voici un commentaire de Maurice Clavelin :

Un des passages des *Discorsi* qui montre le mieux ce que la géométrie, pour Galilée, apportait à la philosophie naturelle : un langage permettant de caractériser les faits physiques dans leur spécificité, et en même temps une science capable, par la richesse de ses propres propositions, d'« éveiller l'invention » du physicien en l'aidant à pressentir et à expliciter les relations susceptibles de conduire à l'intelligibilité des phénomènes naturels. [Galilei 1970, 111, note 61]

Or, il se trouve non moins de 8 passages du *Tractatus* des *DMA* en 23 chapitres qui illustrent sans équivoque la clarté de cette pratique dès le départ de la carrière, autour de la fin des années 1580 :

- = EN I 263, 25–31 : l'expérience ne fournit pas les causes des phénomènes ;
- = EN I 267, 2–16 : se tromper avec rigueur permet de se corriger ;
- = EN I 277–278. 32–5 : il y a des synergies du logique/mathématique/expérimental ;
- = EN I 289–290, 25–4 : réfuter Aristote permet de produire du nouveau ;
- = EN I 294, 26–33 : le vide révélerait la pesanteur vraie des choses ;
- = EN I 300–301, 14–10 : Archimède confirme notre apprenti dans son métier de physicien ;
- = EN I 314, 4–21 : on doit tester empiriquement la validité d'une assertion ;
- = EN I 325, 15–19 : un argument réfuté mérite l'examen de son contraire.

Voyons donc ces passages des *DMA* dans leur détail.

1/8

= EN I 263.25–31 : l'expérience ne fournit pas les causes des phénomènes.

Mais, afin que toujours nous utilisions des raisons davantage que des exemples (en effet nous cherchons à savoir les causes des effets, lesquelles ne sont pas rapportées par l'expérience), nous apporterons sous les yeux de tout le monde notre façon de penser, dont la confirmation fera s'écrouler l'opinion d'Aristote. Nous disons donc que, les mobiles de même espèce (que soient appelées de même espèce ces choses qui sont produites de la même matière, comme du plomb ou du bois, etc.), bien qu'ils diffèrent en grandeur, sont cependant mus avec la même rapidité, et une pierre plus grande ne descend pas plus rapidement qu'une plus petite.

Nous sommes ici au chapitre 8, celui qui contient l'exposé des résultats théoriques les plus importants de toute l'entreprise des *DMA* : on y trouve une première approximation de la loi de la chute. Le passage suivant également appartient au même chapitre.

2/8

= EN I 267.2–16 : se tromper avec rigueur permet de se corriger.

Il est ainsi donc évident comment, donné le rapport des mouvements des mobiles qui diffèrent seulement en pesanteur et non en grandeur, sont donnés aussi les rapports de ceux qui diffèrent selon n'importe quelle autre manière. Ainsi {1} donc, afin que nous trouvions ce rapport et, contre la façon de penser d'Aristote, que nous montrions que d'aucune manière les mobiles, même

s'ils sont d'une espèce différente, ne respectent le rapport de leurs pesanteurs, nous démontrerons des choses desquelles non seulement la réponse à cette question dépend, mais également à la question du rapport des mouvements des mêmes mobiles dans différents milieux ; et nous examinerons l'une et l'autre question simultanément.

Tout l'intérêt de ce passage se trouve dans la note marginale {1} qui lui est liée dans l'édition critique et que Favaro signale. Voici une transcription partielle de cette note avec mes commentaires.

{1} Le passage cité jusqu'à « et nous examinerons l'une et l'autre question simultanément », se trouve dans la marge du folio 72r du manuscrit Gal. 71 de la BNCF, la *Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze*, en remplacement cependant de près de trente-trois lignes de texte, dont les 16 premières se trouvent au folio 71v, et que Galilée avait d'abord rédigées. Les voici :

Afin donc que nous trouvions ce rapport, on doit en venir à la cause de la rapidité et de la lenteur du mouvement [...]. Nous disons que les mobiles entre eux respectent dans leurs mouvements le rapport qu'ont leurs pesanteurs : pourvu qu'ils soient pesés dans ce milieu dans lequel le mouvement doit avoir lieu. [...] en effet, deux corps pesants ne respectent pas le même rapport dans des milieux différents. Mais ici surgit une difficulté très grande : en effet nous voyons par l'expérience que de deux boules égales en grandeur, dont l'une est plus pesante du double de l'autre, envoyées depuis une tour, celle qui est plus pesante ne percute pas terre deux fois plus rapidement ; qui plus est, même qu'au début du mouvement la plus légère devance la plus pesante, et qu'à travers un certain espace elle est portée plus vite. Or ceci est une matière pressante ; et de la plus haute importance, laquelle, parce qu'elle dépend de certaines choses qui n'ont pas encore été expliquées, sera mise en réserve, jusque là où sera donnée la cause de l'augmentation de la rapidité du mouvement naturel : où il sera démontré, que c'est par accident que le mouvement naturel est plus lent au début ; et à partir de cela que c'est aussi par accident qu'il sera reconnu qu'un mobile deux fois plus pesant ne descend pas d'une tour deux fois plus rapidement ; et il sera ensuite expliqué également pourquoi un mobile plus léger est porté plus rapidement, au début du mouvement, qu'un plus pesant.

Relevons cette double affirmation étonnante selon laquelle, contrairement à ses prévisions théoriques, Galilée affirme avoir observé « non seulement qu'un mobile deux fois plus pesant ne descend pas d'une tour deux fois plus rapidement, mais qu'un mobile plus léger est porté plus rapidement, au début du mouvement, qu'un plus pesant¹ ».

1. Il faut lire l'article de Thomas B. Settle, « Galileo and early experimentation » [Settle 1983] pour comprendre quel sens donner au fait que Galilée va consacrer un

Le fait d'avoir accès à l'autographe des *Travaux plus anciens sur le mouvement* permet de voir notre jeune Galilée dans l'intimité même de son travail. Sans nous perdre trop dans les détails, examinons comment il réagit face à une situation fort embarrassante. Galilée ici a corrigé l'erreur d'Aristote en montrant que les corps chutent non pas en proportion de leurs pesanteurs absolues, mais de leurs pesanteurs spécifiques relatives. Il s'attend donc à ce que des corps de même matière tombent à des vitesses relativement égales et de surcroît uniformes. Or, ce n'est pas ce dont on fait l'expérience. Ces corps homogènes, c'est un fait, accélèrent en tombant. S'il fait tout à fait confiance à sa correction d'Aristote, il ne peut quand même pas penser à cette époque que la pesanteur ne soit pas pour quelque chose dans la chute. Vers quelles autres propriétés de la matière voulez-vous qu'il se tourne ? Il ne peut pas ne pas s'accrocher à cette propriété. Au-delà des innombrables propriétés dont les choses matérielles sont faites, s'il y en a une qui leur est commune à chacune, n'est-ce pas le fait que toutes sont plus ou moins pesantes ? Et ce n'est qu'à regret, longtemps plus tard, nous l'avons signalé ci-dessus, qu'il avouera qu'il ne sait pas ce que c'est vraiment que la pesanteur. Et il se contentera alors de faire confiance aux derniers résultats, tant ceux des expérimentations avec le plan incliné que ses démonstrations de la Troisième Journée des *Discorsi*.

Ce n'est pas tout, cependant. Non seulement les corps homogènes accélèrent en tombant, mais « [...] au début du mouvement la plus légère devance la plus pesante, à travers un certain espace elle est portée plus vite ».

Anna De Pace, à propos de l'affirmation du jeune Galilée, écrit [ma traduction] :

Ce qui rend perplexe sur la véracité de cette qualification, comme cela a été signalé à plusieurs reprises, c'est l'impossibilité d'observer ce que Galilée déclare pourtant avoir observé, à savoir que de deux corps en chute libre le plus léger précède durant un certain bout, le plus pesant. [De Pace 1990, 54]

Est-ce à dire que Galilée est un halluciné ou encore un menteur ? Faire de la science, c'est, entre autres choses, faire des expérimentations. Celles-ci, par définition, pour être valables, doivent pouvoir être répliquées par les collègues. La science, disait Gaston Bachelard, c'est l'union des travailleurs de la preuve. Thomas B. Settle a publié les résultats d'une réplification vraisemblable de ce que Galilée rapporte avoir observé par expérimentation [Settle 1983, 12–15]. On a photographié les débuts de chutes de lâchers simultanés de poids. Les 51 sujets recrutés tenant dans une main une boule de fer, dans l'autre une en bois.

chapitre tout entier à ces problèmes ; il s'agit de l'avant-dernier chapitre du livre II de son *Tractatus*, le chapitre 22 dans la traduction partielle anglaise de Drabkin [EN I, 333–338]. Il faut lire aussi *Galileo lettore di Girolamo Borri nel De Motu* [De Pace 1990, 3–69] pour un compte rendu d'une « littéraire » par opposition à celui d'une « scientifique » de certains aspects des problèmes en cause ; voir également la note 14 de ma communication de Liège en 1997 [Fredette 2001, 125–130].

[...] the significant finding was that in only 12 % of the drops did the heavy ball either precede or fall alongside, the light one. In 88 % of the trials [il y a eu 4 fois 51 lâchers] the light ball clearly preceded the heavy one [...]. [Settle 1983, 12–15]

Vouloir produire de la connaissance nouvelle, c'est très compliqué. Et il n'y a pas de « logique de la découverte scientifique », comme l'a montré Popper, il n'y a pas une recette à suivre. On le voit bien, Galilée ne trouve pas du premier coup la loi de la chute des corps. Mais il est cohérent. Sa critique d'Aristote le guide, mais il faut plus. Et c'est une grande sensibilité à ces écarts entre ses prédictions théoriques et les phénomènes qui vont guider sa recherche. Peu à peu, l'accélération dans la chute des corps va s'imposer à lui comme étant « naturelle ». Il n'y a rien là d'évident.

Il y a même là quelque chose de profondément incompréhensible pour Galilée. Aristote avait imaginé comme étant intrinsèque aux corps deux propriétés contraires, la pesanteur et la légèreté, expliquant qu'en l'absence d'obstacles à leur mouvement, lesdits corps tendent naturellement et au plus vite à joindre, soit vers le haut soit vers le bas, leur lieu naturel. Galilée renoue avec les Anciens et élimine la légèreté qui n'est plus que de la pesanteur moindre. Mais alors comment comprendre qu'un corps dont la pesanteur constante fait qu'il tombe ne tombe pas selon un mouvement uniforme, mais va en s'accélération ? Galilée ne le comprendra jamais. La loi d'attraction universelle des corps qui dit que les corps sont des masses qui tombent les unes sur les autres en raison directe de leur quantité de matière et en raison inverse du carré des distances qui les séparent, comme Isaac Newton va l'établir en 1687 dans ses *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, une telle loi aurait répugné profondément à Galilée, qui avait horreur des affirmations aux odeurs de forces occultes.

3/8.

= ENI 277.32–278. 5 : les synergies du logique/mathématique/expérimental.

[...] Ceci est la démonstration d'Aristote : celle-ci certes conclurait fort à propos et par nécessité, si les choses qu'il a tenues pour acquises, Aristote les avait démontrées, ou encore, si elles n'ont pas été démontrées, si elles eussent du moins été vraies ; mais il a été trompé en ceci, [entre les lignes, au-dessus du mot « trompé » Galilée ajoute le mot, *allucinatus* « induit en erreur »] que ces choses, qu'il a tenues pour acquises comme étant des axiomes bien connus, non seulement ne sont pas $\leq 278 \geq$ manifestes à la perception des sens, mais n'ont jamais été démontrées, et ne sont même pas démontrables, parce qu'elles sont entièrement fausses. En effet, il a supposé que les mouvements d'un même mobile dans différents milieux respectent entre eux, en rapidité, le rapport qu'ont les subtilités des milieux : ce qui certes est faux, ayant

été abondamment démontré ci-dessus. [Voir les démonstrations du chapitre 8, 267–270, 17–14]

Nous sommes ici au cœur de l'essentiel de la portée épistémologique de l'entreprise de Galilée. Notre jeune physicien est convaincu qu'Aristote a fait erreur sur le plan des *axiomata*. C'est cette conviction qui va le guider et le motiver tout au long d'une longue carrière de cinquante ans de recherche durant laquelle, ne l'oublions pas, il ne réussira jamais – et ce n'est que normal – à se sortir complètement de la formidable emprise exercée par le génial effort d'intelligibilité du monde que fut l'œuvre du Stagirite. Et la pratique de la rigueur des rapports entre les axiomes et les démonstrations qu'on peut en déduire, c'est de la géométrie euclidienne que Galilée la tient en premier lieu, bien davantage que de l'*Organon* aristotélicien. Et c'est, pourrions-nous dire, en laboratoire que Galilée met ses théorèmes à l'épreuve².

4/8.

= EN I 289.25-290.4 : réfuter Aristote permet de produire du nouveau.

Ceux qui sont venus avant Aristote n'ont pas considéré le pesant et le léger si ce n'est par comparaison à propos de corps moins pesants ou moins légers; et à mon avis, cela est tout à fait à bon droit : or Aristote, au livre IV du *De Caelo*, s'efforce de réfuter l'opinion des anciens et de confirmer la sienne qui lui est contraire. Or comme c'est cette opinion des anciens que nous allons suivre, nous examinerons tant les réfutations d'Aristote que ses confirmations, en en confirmant les réfutations, et en en réfutant les confirmations; et nous accomplirons cela lorsque nous aurons exposé l'opinion d'Aristote.

Voici une stratégie épistémologique simple qui témoigne de cet esprit nouveau de découverte qui marque l'avènement de la pensée scientifique moderne naissante à la Renaissance en Italie. Et constatons que cette épistémologie est bien en place aux *DMA*. Et que c'est Aristote mieux que tout autre qui renseigne Galilée sur les anciens. Constatons également que c'est avec grand soin, clarté et en détail qu'Aristote critique ses prédécesseurs. L'activité scientifique est communautaire, mais nécessite la liberté d'esprit. Galilée lit Aristote avec un tel esprit et développe un grand respect envers le Stagirite qui lui fait penser souvent que si ce dernier était là, il se rangerait à son avis contre les aristotéliciens de son époque. Et ici, dans la substance du contexte du passage cité, c'est du concept essentiel d'espace vide dont il s'agit.

5/8.

= EN I 294.26-33 : le vide révélerait la pesanteur vraie des choses. Thémistius, suivant l'opinion d'Aristote, en parlant du vide, au

2. À témoin, la numérisation du monumental manuscrit Gal. 72, BNCF : <http://www.imss.fi.it/ms72/INDEX.HTM>.

sujet du texte #74 du livre IV des *Physiques* 216a9–21, a écrit ceci : « C'est ainsi que puisque le vide cède uniformément, mais à la vérité il ne cède aucunement (puisque en effet il n'est rien, bien subtil homme celui qui se figure le vide céder), d'où il résulte que les différences des choses pesantes et des choses légères, c'est-à-dire les variations (*momenta*) des choses, sont supprimées, et, ce qui s'ensuit, c'est que la vitesse de toutes les choses mues arrive à être égale et sans discrimination. » Or combien ces paroles sont fausses sera bientôt connu, quand nous aurons mis en lumière de quelle manière c'est uniquement dans le vide que peuvent être données les vraies différences des pesanteurs et des mouvements, et qu'il n'est aucunement possible de les trouver dans le plein.

Il y a ici trois éléments fort intéressants.

Il y a tout d'abord la présence chez Thémistius du mot *momenta*. L'usage du mot *momentum* ici est évidemment, sous la plume du philosophe grec, directeur de l'université de Constantinople, ami de Julien l'Apostat au IV^e siècle, tout à fait traditionnel. Et Galilée n'a pas encore pris conscience du besoin du concept capital que sera celui de « moment » [Galluzzi 1979, 172, note 73], pour un long commentaire très pertinent qui demanderait des développements ici. J'y reviendrai. Il y a ensuite une affirmation d'Aristote en *Phys.* 216a 9–21, reprise par le commentaire de Thémistius, qui est déduite explicitement de l'argumentation, à savoir que dans l'hypothèse de leurs mouvements dans le vide tous les corps tomberaient à la même vitesse. Il y a enfin le désaccord de Galilée ici aux *DMA* avec une affirmation qu'il finira par faire sienne beaucoup plus tard. Il faut prendre ici la mesure du chemin à parcourir pour clarifier ce qui est en jeu. Je me contente de faire remarquer que l'acquisition aux *DMA* du concept de vide pour penser le mouvement est un pas épistémologique gigantesque. Et que ce pas, Galilée le franchit en faisant simultanément deux choses : exploiter les vertus inventives de la pensée géométrique et mettre les résultats obtenus au service de la confrontation avec les phénomènes observables sous contrôle.

6/8.

= EN I 300.14–301.10 : Archimède confirme notre apprenti dans son métier de physicien.

D'autre part, je n'ignore pas ici que quelqu'un puisse m'objecter que j'ai présupposé comme vrai pour ces démonstrations ce qui est faux : à savoir que les poids suspendus à partir de la balance maintiennent avec la balance des angles droits ; alors que pourtant les poids, tendant vers le centre, seraient convergents. À ceux-là je répliquerais que je me recouvre des ailes protectrices du surhumain Archimède (que je ne mentionne jamais sans admiration). En effet, lui-même a présupposé la même chose dans sa *Quadrature de la Parabole* ; et cela, peut-être, afin de montrer qu'il était de loin tellement en avant des autres, qu'il pouvait tirer le vrai du

faux : et cependant, il ne faut pas se mettre à douter comme s'il avait conclu lui-même au faux, puisqu'il avait prouvé cette même conclusion dans une autre démonstration géométrique antérieure. Voilà pourquoi ou bien on doit dire que les poids suspendus maintiennent vraiment avec la balance des angles droits, ou bien il n'est nullement important s'ils maintiennent ou non des angles droits, qu'il suffise qu'ils soient égaux ; ce qui d'aventure sera plus probable : à moins que nous voulions dire, ceci est plutôt une licence géométrique ; comme lorsqu'Archimède présuppose que les surfaces ont de la pesanteur, et que l'une est plus pesante que l'autre, alors que pourtant elles sont effectivement toutes exemptes de pesanteur. Et les choses que nous avons démontrées, comme nous l'avons dit ci-dessus, doivent être comprises à propos de mobiles à l'abri de toute $\leq 301 \geq$ résistance extrinsèque : mais puisqu'il est d'aventure impossible de les trouver dans la matière, que quelqu'un ne soit pas étonné, en faisant à propos de ces choses un test [*de his periculum faciens*], si l'expérimentation déçoit, et qu'une grande sphère, même si elle est sur un plan horizontal, ne puisse pas être mue par une force minime. En effet, aux causes déjà dites, il s'ajoute encore ceci : à savoir qu'un plan ne peut pas vraiment être parallèle à l'horizon. En effet, la surface de la Terre est sphérique, ce à quoi un plan ne peut pas être parallèle : voilà pourquoi, un plan ne touchant la sphère qu'en un point seulement, si nous nous éloignons d'un tel point, il est nécessaire de monter : voilà pourquoi avec raison la sphère ne pourra pas être écartée d'un tel point par la moindre force qui soit.

Tout d'abord, à propos du renvoi par Galilée à la *Quadrature de la parabole* : ce que notre jeune philosophe partisan d'une physique mathématique laisse entendre n'est pas quelque chose qu'Archimède a dit explicitement en autant de mots dans son livre. Il est cependant vrai qu'Archimède suppose là que les poids suspendus depuis les extrémités des leviers horizontaux en équilibre pendent perpendiculairement au levier. Drabkin & Drake signalent que Benedetti, dans ses *Diversarum speculationem [...] liber*, Turin, 1585, 148–151, aurait critiqué une telle présupposition chez Jordanus et Tartaglia. Guidobaldo dal Monte aussi a discuté ces choses dans ses *Mechanicorum* (1577) et tout cela a été largement débattu au siècle suivant [Drabkin & Drake 1960, 67, note 10]. Et dans le *Dialogus*, sa version dialoguée des *DMA*, s'inspirant pour la première fois du traité *Des corps flottants*, Galilée avait d'abord donné à ses démonstrations équivalentes à celles du chapitre 8 des figures qui tiennent compte de la rotondité du plan de l'horizon [EN I, 381–384]. Or, à ce sujet, on peut rappeler également ce que dit Charles Mugler dans la Notice qui précède sa traduction :

La proposition 2 du premier livre, où Archimède déduit de l'hypothèse de la convergence des verticales la forme sphérique de la

surface du liquide en état d'équilibre, est la première, et pendant des siècles la seule, tentative de rendre compte par le raisonnement mathématique du fait d'observation, familier aux riverains de la Méditerranée, de la courbure de la mer. [...] Aristote, [*Du Ciel*, 287b 4–14], manque de rigueur [...]. [Mugler 1970, II, 3–4]

Et ceci, en passant, alimente la thèse de Lucio Russo, qui croit qu'Archimède appartient à une véritable culture technoscientifique analogue à celle qui sera mise au point à l'époque de Galilée et qui aurait existé autour d'Alexandrie, de la mort d'Alexandre jusqu'à l'extinction de cette culture sous l'hégémonie de Rome. À propos, ensuite, de l'idée de test : l'expression que Galilée utilise, *periculum facere*, est épistémologiquement chargée à l'époque [Schmitt 1969, 80–138]. Faire une expérience, c'est observer, c'est ressentir, mais faire un test, c'est mettre à l'épreuve sa perception, son observation, son sentiment et surtout c'est courir un danger, un péril, celui de s'être trompé, illusionné. Aristote est et a toujours été un champion de l'expérience, de l'observation contre, par exemple, les élucubrations imaginatives des idées platoniciennes. Mais la science moderne émergente met au point une attitude critique nouvelle. *Provando e riprovando* sera la devise des disciples de Galilée à l'Accademia del Cimento.

Enfin, à propos du plan parallèle à l'horizon : on doit se mettre d'accord avec Drabkin qui suggère que Galilée veut dire ici qu'aucune surface plane sauf celle d'une sphère ne peut avoir tous ces points à une égale distance du centre du Monde [Drabkin & Drake 1969, 68, note 13]. Et voilà comment Galilée fait d'Archimède son maître de physique mathématique.

7/8.

= ENI 314.4–21 : tester empiriquement la validité d'une assertion. Or, il arrive quelquefois que certaines opinions, bien qu'elles soient fausses, subsistent très longtemps chez les gens ; parce qu'à première vue elles présentent en leur faveur une apparence de vérité, et pour cela personne ne se met en peine de chercher à savoir si c'est digne d'être cru. Une illustration d'une telle chose est ce qui est cru concernant les choses qui se trouvent sous l'eau, et dont l'opinion commune affirme qu'elles apparaissent plus grandes qu'elles sont vraiment. Or lorsque je n'ai pas pu trouver une cause à un tel effet, à la fin, ayant recours à l'expérimentation, j'ai trouvé qu'une pièce de monnaie reposant au fond de l'eau n'apparaît d'aucune manière plus grande, mais plutôt plus petite : voilà pourquoi moi j'estime que celui qui le premier a énoncé cette façon de penser doit avoir été amené à cette opinion durant l'été, lorsque les prunes ou d'autres fruits sont parfois mis dans une coupe en verre pleine d'eau, dont la forme rappelle une surface conoïde ; ceux-ci assurément apparaissent de loin plus grands qu'ils ne sont, à ceux qui ainsi les regardent alors que les rayons de lumière sont laissés passer à travers le verre. Mais c'est la forme de la

coupe, et non pas l'eau, qui est la cause d'un tel effet, comme nous l'avons plus amplement mis en lumière dans les commentaires à l'Almageste de Ptolémée, lesquels (à la faveur de Dieu) seront publiés bientôt. Or un indice de cela est que, l'œil posté au-dessus de l'eau, en sorte qu'on puisse observer sans qu'intervienne le milieu du verre, la prune n'apparaît pas plus grande.

4 Conclusion

Simpliste vous allez me dire, ces observations optiques ? Après coup, en science, une fois établie la vérité d'une chose, tout paraît simple. N'empêche que ce petit exemple de prunes vues à travers de la vitre révèle le genre de culture d'observation contrôlée pratiquée par Galilée bien longtemps avant d'arpenter les quais de l'Arsenal de Venise, bien avant de fabriquer des lentilles pour observer « ce que personne n'a encore vu ». Et les commentaires du copernicien Galilée à l'*Almageste* de Ptolémée – possiblement des notes de cours liées à son enseignement pisan – n'ont jamais été trouvés. On peut penser qu'ils ont été détruits en cours de carrière. Nous n'en savons cependant rien.

8/8.

= EN I, 325.15-19 : un argument réfuté mérite l'examen de son contraire.

La manière dont la solution de l'argument d'Aristote peut être convenablement tirée des propositions de l'argument lui-même est évidente : aussi, vu qu'il ne nous accable pas plus longtemps, voyons si nous pouvons construire des arguments davantage accablants et plus pénétrants en faveur du contraire.

Voilà de la pensée logico-mathématico-physique vivante et en pleine action. La carrière du *filosofo-geometra*, ce sont bien ses *Travaux plus anciens sur le mouvement* qui la lance. Épistémologiquement parlant, le texte de 1638 des *Discorsi* dont nous sommes partis prend solidement racine à Pise 50 ans plus tôt.

Bibliographie

- DE PACE, Anna [1990], Galileo lettore di Girolamo Borri nel De Motu, dans *De Motu. Studi di storia del pensiero su Galileo, Hegel, Huygens e Gilbert-Quaderni di Acme*, édité par Università di Milano. Dipartimento di filosofia, Milan : Cisalpino, Istituto Editoriale Universitario, t. 12, 3–69.
- DRAKIN, Israel Edward & DRAKE, Stilman [1960], *Galileo Galilei. On Motion and On Mechanics*, Madison : The University of Wisconsin Press.

DRAKIN, Israel Edward & DRAKE, Stilman (éds.) [1969], *Mechanics in Sixteenth-Century Italy : selections from Tartaglia, Benedetti, Guido Ubaldo, & Galileo*, t. 13, Madison : The University of Wisconsin Press.

FREDETTE, Raymond [2001], Notes pour une traduction *intégrale* du Traité contenu dans le *de motu antiquiora* de Galilée, dans *Proceedings of the XXth International Congress of History of Science : medieval and classical traditions and the Renaissance of physico-mathematical sciences in the 16th century*, Turnhout : Brepols, 125–130.

GALILEI, Galileo [1890-1909], *Le opere di Galileo Galilei. Edizione Nazionale sotto gli auspice di Sua Maestà il Re d'Italia. Esposizione e disegno di Antonio Favaro*, Firenze : Tipografia di G. Barbèra.

— [1970], *Discours et démonstrations mathématiques concernant deux sciences nouvelles*, Paris : A. Colin, Introduction, traduction et notes par M. Clavelin.

— [2000], *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde, Galilée, publié en 1632*, Points Sciences, Paris : Seuil, traduction par R. Frèreux et Fr. de Gandt.

GALLUZZI, Paolo [1979], *Momento*, Studi galileiani, Roma : Edizioni dell'Ateneo.

MUGLER, Charles [1970], *Archimède*, t. II, Paris : Les Belles Lettres.

SCHMITT, Charles B. [1969], Experience and experiments : a comparison of Zabarella's view with Galileo's in *De Motu, Studies in the Renaissance*, 16, 80–138, doi :10.2307/2857174.

SETTLE, Thomas B. [1983], Galileo and early experimentation, dans *Springs of Scientific Creativity : Essays on Founders of Modern Science*, édité par R. Aris, T. H. Davis & R. H. Stuewer, Minneapolis : The University of Minnesota Press, 3–20.