

ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES. SORBONNE

COLLECTION
HISTOIRE DE LA PENSÉE

XV

- I. Pierre Costabel. Leibniz et la dynamique
- II. La science au seizième siècle. Colloque de Royaumont, 1957
- III. Alexandre Koyré. La révolution astronomique
- IV. Nicolas Bourbaki. Éléments d'histoire des mathématiques
- V. Pierre Léon. Les techniques métallurgiques dauphinoises au xviii^e siècle
- VI. Jean Cavaillès. Philosophie mathématique
- VII. Paul Delaunay. La zoologie au seizième siècle
- VIII. G. Petit et J. Théodoridès. Histoire de la zoologie des origines à Linné
- IX. Paul-Henri Michel. La cosmologie de Giordano Bruno
- X. Jean Itard. Les livres arithmétiques d'Euclide
- XI. René Taton. L'enseignement des sciences au xviii^e siècle
- XII. Mélanges Alexandre Koyré I. L'aventure de la science
- XIII. Mélanges Alexandre Koyré II. L'aventure de l'esprit
- XIV. Galilée. Dialogues. Lettres choisies
- XV. Alexandre Koyré. Études galiléennes

ALEXANDRE KOYRÉ

DIRECTEUR D'ÉTUDES A L'ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES

ÉTUDES GALILÉENNES



HERMANN

156, BOULEVARD SAINT-GERMAIN PARIS VI

Les *Études galiléennes* sont constituées par la réunion de trois études indépendantes qui forment un tout et étudient un seul et même problème : celui de la naissance de la science classique.

Sur ces trois études, deux — *A l'aube de la science classique* et *La loi de la chute des corps* — ont été partiellement publiées dans les *Annales de l'Université de Paris*, 1935-1936 et la *Revue Philosophique*, 1937. La troisième a paru, pour la première fois, en même temps que la réédition des deux premières, dans la collection des *Actualités scientifiques et industrielles* en 1939.

TABLE

A L'AUBE DE LA SCIENCE CLASSIQUE

INTRODUCTION	11
1. Aristote	17
2. Les discussions médiévales : Bonamico	24
3. La physique de l'impetus : Benedetti	47
4. Galilée	60

LA LOI DE LA CHUTE DES CORPS. DESCARTES ET GALILÉE

INTRODUCTION	83
1. Galilée	86
2. Descartes	107
3. Encore Galilée	136
DÉFINITION	144
CONCLUSION	155

GALILÉE ET LA LOI D'INERTIE

INTRODUCTION	161
LE PROBLÈME PHYSIQUE DU COPERNICANISME	165
1. Copernic	165

© HERMANN, PARIS 1966

Tous droits de reproduction, même fragmentaire, sous quelque forme que ce soit, y compris photographie, photocopie, microfilm, bande magnétique, disque, ou autre, réservés pour tous pays.

Toute reproduction, même partielle, non expressément autorisée constitue une contrefaçon passible des peines prévues par la loi du 11 mars 1957 sur la protection des droits d'auteur.

2. Bruno	171
3. Tycho Brahe	182
4. Kepler	186
LE « DIALOGUE SUR LES DEUX PLUS GRANDS SYSTÈMES DU MONDE » ET LA POLÉMIQUE ANTI-ARISTOTÉLICHIENNE	205
LA PHYSIQUE DE GALILÉE	239
CONCLUSION	277
APPENDICE. L'ÉLIMINATION DE LA PESANTEUR	291
A - Les Galiléens	291
1. Cavalieri	293
2. Torricelli	298
3. Gassendi	304
B - Descartes	318
1. Le Monde	318
2. Les Principes	333
INDEX	343

A l'aube de la science classique

1

2

3

4

5

*Veniet tempus quo posteri nostri tam aperta nos
nescisse mirentur.*

(SÈNEQUE, *Nat. quæst.*, VII.25.2.)

INTRODUCTION

Il n'est — heureusement — plus nécessaire aujourd'hui d'insister sur l'intérêt de l'étude historique de la science. Il n'est même plus nécessaire — après l'œuvre magistrale d'un Duhem, d'un Émile Meyerson, après celles de M. Cassirer et de M. Brunschvicg — d'insister sur l'intérêt et la fécondité *philosophiques* de cette étude (1). En effet, l'étude de l'évolution (et des révolutions) des idées scientifiques — seule histoire (avec celle, connexe, de la technique) qui donne un sens à la notion, tant glorifiée et tant décriée, de progrès — nous montre l'esprit humain aux prises avec la réalité ; nous révèle ses défaites, ses victoires ; nous montre quel effort surhumain lui a coûté chaque pas sur la voie de l'intellection du réel, effort qui aboutit, parfois, à une véritable « mutation » de l'intellect humain (2) ; transformation grâce à laquelle des notions, péniblement « inventées » par les plus grands génies, deviennent non seulement accessibles, mais encore faciles, évidentes pour les écoliers.

1. Voir aussi le bel opuscule de M. Federigo ENRIQUES, *Signification de l'histoire de la pensée scientifique*, Paris, Hermann, 1934.

2. Nous empruntons à M. G. BACHELARD (v. *Nouvel Esprit scientifique*, Paris, 1934) la notion et le terme de mutation intellectuelle. Cf. également G. BACHELARD, *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, 1938.

Une telle mutation — une des plus importantes, si ce n'est la plus importante depuis l'invention du Cosmos par la pensée grecque — fut, certainement, la révolution scientifique du dix-septième siècle, profonde transformation intellectuelle dont la physique moderne, ou plus exactement classique (1), fut à la fois l'expression et le fruit.

Cette transformation, on a voulu parfois la caractériser, et l'expliquer, par une espèce de renversement de l'attitude spirituelle tout entière : la vie active prenant désormais le pas sur la vie contemplative, l'homme moderne chercherait une domination de la nature, tandis que l'homme médiéval, ou antique, n'en poursuivait que la contemplation. Le mécanisme de la physique classique — galiléenne, cartésienne, hobbenne, science active, opérative, devant faire de l'homme « le maître et possesseur de la nature » — s'expliquerait donc par ce désir de domination, d'action ; serait une simple transposition de cette attitude, une application à la nature des catégories de pensée de l'*homo faber* (2) ; la science cartésienne — et *a fortiori* celle de Galilée — serait, comme on l'a dit, « une science d'ingénieur » (3). Juste, sans doute, en général, et même quelquefois en détail (il suffit de penser au renversement de valeur, et de *status* ontologique, entre contemplation et action qui s'effectue dans la philosophie moderne ; il suffit de penser à certaines explications, ou images, de la physique cartésienne, avec ses poulies, ses cordes et ses leviers), cette conception nous paraît présenter tous les défauts d'une explication globale. Elle néglige, en outre, l'effort technologique du moyen âge, l'attitude spirituelle de l'alchimie. Enfin, l'attitude activiste qu'elle décrit est celle de Bacon (dont le rôle, dans l'histoire de la révolution scientifique, a été parfaitement négligeable) (4), non celle de Descartes, ni de Galilée, et le mécanisme de la physique

1. En face de la révolution scientifique des dix dernières années, il est préférable, semble-t-il, de lui réserver l'épithète « moderne » et de désigner la physique préquantique comme « classique ».

2. Cette conception, assez généralement répandue, ne doit pas être confondue avec celle de M. Bergson, pour qui toute physique, celle d'Aristote aussi bien que celle de Newton, est, en dernière analyse, l'œuvre de l'*homo faber*.

3. V. LABERTHONNIÈRE, *Études sur Descartes*, Vol. II, Paris, 1935, pp. 288-289 ; p. 297 ; p. 304 : « physique de l'exploitation des choses ».

4. « Bacon initiateur de la science moderne » est une plaisanterie, et fort mauvaise, que répètent encore les manuels. En fait, Bacon n'a jamais rien compris à la science. Il est crédule et totalement dénué d'esprit critique. Sa mentalité est plus proche de l'alchimie, de la magie (il croit aux « sympathies »), bref, de celle d'un primitif ou d'un homme de la Renaissance que de celle d'un Galilée, ou même d'un scolastique.

classique, loin d'être une conception de l'artisan (1), ou de l'ingénieur, en est justement la négation (2).

On a aussi souvent parlé du rôle de l'expérience, de la naissance d'un « sens expérimental (3) ». Et, sans doute, le caractère expérimental de la science classique en forme-t-il un des traits les plus caractéristiques. Mais, en fait, il s'agit là d'une équivoque : l'expérience, dans le sens de l'expérience brute, d'observation du sens commun, n'a joué aucun rôle, sinon celui d'obstacle, dans la naissance de la science classique ; et la physique des nominalistes parisiens — et même celle d'Aristote — en était, souvent, bien plus proche que celle de Galilée (4). Quant à l'expérimentation — interrogation méthodique de la nature — elle présuppose et le langage dans lequel elle pose ses questions, et un vocabulaire permettant d'interpréter les réponses. Or, si c'est dans un langage mathématique, ou plus exactement géométrique, que la science classique interroge la nature, ce langage, ou plus exactement la décision de l'employer, — décision qui correspond à un changement d'attitude métaphysique (5), — ne pouvait, à son tour, être dictée par l'expérience qu'elle allait conditionner.

1. La science cartésienne et galiléenne a, sans doute, profité à l'ingénieur et fut utilisée par la technique, avec le succès que l'on sait. Mais elle n'a été créée ni par des techniciens ni pour la technique.

2. « Descartes artisan », telle est la conception du cartésianisme, développée par M. M. Leroy dans son *Descartes social*, Paris, 1931, et poussée jusqu'à l'absurde par M. F. Borkenau, dans son ouvrage *Der Uebergang vom feudalen zum bürgerlichen Weltbild*, Paris, 1933. M. Borkenau explique la formation de la philosophie et de la science cartésiennes par l'apparition d'une forme nouvelle de la production, à savoir, la manufacture ; cf. la critique du travail de M. Borkenau, bien plus instructive que ce travail lui-même, par M. H. Grossmann : « Die gesellschaftlichen Grundlagen der mechanistischen Philosophie und die Manufactur » dans *Zeitschrift für Sozialforschung*, Paris, 1935.

Quant à Galilée, c'est à la tradition des artisans, constructeurs, ingénieurs de la Renaissance que le rattache L. OLSCHEK, *Galilei und seine Zeit* (Geschichte der neusprachlichen wissenschaftlichen Literatur, vol. III), Halle, 1927. Or, s'il est vrai que les ingénieurs et les artistes de la Renaissance ont beaucoup fait pour briser le joug de l'aristotélisme, et qu'ils se sont même parfois — ainsi Léonard de Vinci et Benedetti — efforcés de développer une dynamique nouvelle, anti-aristotélienne, cette dynamique, ainsi que l'a démontré Duhem, fut en ses grandes lignes celle des nominalistes parisiens. Et si Benedetti — de loin le plus remarquable de ces prédécesseurs de Galilée — dépasse parfois le niveau de la dynamique « parisienne », ce n'est pas grâce à ses travaux d'ingénieur et d'artilleur : c'est grâce à son étude d'Archimède.

3. On a même souvent opposé l'expérimentateur Galilée au théoricien Descartes. Bien a tort, ainsi qu'on le verra plus bas. Cf. notre communication au IX^e Congrès International de la philosophie, *Galilée et Descartes*, v. *Travaux*, t. II, p. 41 sq., Paris, 1937.

4. Ainsi, personne n'a jamais observé le mouvement inertiel, et ce pour la simple raison qu'il n'est possible que dans des conditions irréalisables. Emile MEYERSON a déjà remarqué (v. *Identité et Réalité* ², Paris, 1926, p. 156) combien peu les expériences concordaient avec les principes de la physique classique.

5. Elle correspond à un renouveau de la primauté de l'être sur le devenir.

On a, d'autre part, plus modestement, cherché à caractériser la physique classique, en tant que *physique*, par certains de ses traits saillants. Ainsi on a insisté sur le rôle que jouent dans la physique galiléenne les notions connexes de vitesse et de force (1), de « moment », en les interprétant comme exprimant une intuition très profonde, l'intuition de l'intensité des processus physiques et même de leur intensité dans l'instant (2). Très juste, sans doute, — il suffit de songer à l'instantanéisme de la physique cartésienne (3), à la notion d'élément ou moment de vitesse, c'est-à-dire de la vitesse dans l'instant, — cette caractéristique s'applique cependant bien mieux à la physique newtonienne, fondée sur la notion de force, qu'à la physique de Descartes ou de Galilée qui cherchent à l'éviter. Et encore mieux, à la physique « parisienne » des Buridan et des Nicole Oresme. La physique classique est, certes, une dynamique. Ce n'est pas comme telle, cependant, qu'elle prend naissance. Elle apparaît, d'abord, comme une cinématique (4).

On a enfin essayé de caractériser la physique classique par le rôle qu'y joue le principe d'inertie (5). Juste, sans aucun doute, — il suffit de songer au rôle fondamental de la notion d'inertie dans toute la science classique, au fait que, inconnu des anciens, ce principe sous-tend implicitement la physique galiléenne et porte expressément celle de Descartes, — cette caractéristique nous semble un peu superficielle. Il ne suffit pas de constater le fait. Il faudrait expliquer pourquoi la physique moderne a pu adopter le principe d'inertie, c'est à dire expliquer pourquoi et comment cette notion, qui nous paraît, à nous, douée d'une évidence supérieure, a pu acquérir ce *status* d'évidence *apriorique*, tandis que pour les Grecs, ainsi que pour les penseurs du moyen âge, elle se présentait, au

1. Voir surtout E. DUBOIS, *Kritische Geschichte der allgemeinen Principien der Mechanik*, Berlin, 1875, p. 24 sq.

2. Voir KURD LASSWITZ, *Geschichte der Atomistik*, Hamburg und Leipzig, 1890. Bd. II, pp. 23 sq.

3. V. J. WAHL, *Le rôle de l'idée de l'instant dans la philosophie de Descartes*, Paris, 1920.

4. La fameuse déduction de la loi de la chute des corps par Galilée (v. *Opere*, Ed. Nazionale, vol. II, p. 261 sq. et *Discorsi, Opere*, vol. VIII, p. 222) consiste, en effet, en une recherche purement cinématique de la forme la plus simple du mouvement accéléré, et ne met en œuvre ni la notion de force, ni celle de masse, ni celle d'attraction ; voir plus haut *La loi de la chute des corps*, pp. 5, 6, 64.

5. Voir E. CASSIRER, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, Berlin, 1911, Bd. I, pp. 394 sq. ; mais déjà LASSWITZ, *op. cit.*, E. MACH, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, Leipzig, 1921, pp. 117 sq. et E. WOHLWILL, « Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes », *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft*, vol. XIV et XV.

contraire, comme affectée d'une évidente et irrémédiable absurdité (1).

Aussi croyons-nous, que l'attitude intellectuelle de la science classique pourrait être caractérisée par ces deux moments, étroitement liés d'ailleurs : géométrisation de l'espace, et dissolution du Cosmos, c'est-à-dire disparition, à l'intérieur du raisonnement scientifique, de toute considération à partir du Cosmos (2) ; substitution à l'espace concret de la physique prégaliléenne de l'espace abstrait de la géométrie euclidienne. C'est cette substitution qui permet l'invention de la loi d'inertie.

Nous avons déjà dit que cette attitude intellectuelle nous paraît avoir été le fruit d'une mutation décisive : c'est ce qui explique pourquoi la découverte de choses qui nous paraissent aujourd'hui enfantines avait coûté de longs efforts — pas toujours couronnés de succès — aux plus grands génies de l'humanité, à un Galilée, à un Descartes. C'est qu'il s'agissait non pas de combattre des théories erronées, ou insuffisantes, mais de transformer les cadres de l'intelligence elle-même ; de bouleverser une attitude intellectuelle, fort naturelle en somme (3), en lui en substituant une autre, qui ne l'était aucunement. Et c'est cela qui explique pourquoi — malgré les apparences contraires, apparences de continuité historique sur lesquelles Caverni (4) et Duhem (5) ont surtout insisté — la physique classique, sortie de la pensée de Bruno, de Galilée, de Descartes ne continue

1. Point sur lequel E. MEYERSON (v. *Identité et Réalité*, p. 124 sq.) a très justement attiré l'attention.

2. Rien n'est plus curieux que de confronter à cet égard Galilée et Kepler. Kepler est encore un cosmologue. Galilée ne l'est plus (v. *Dissertatio cum Nuntio siderico*, in *Opere* de Galilée, vol. III, p. 97 sq.) ; cf. notre « Rapport » dans l'*Annuaire de l'Ecole pratique des Hautes Etudes*, 1934.

3. P. DUHEM, *Le Système du Monde*, I, p. 194-5 : « Cette dynamique, en effet, semble s'adapter si heureusement aux observations courantes qu'elle ne pouvait manquer de s'imposer tout d'abord, à l'acceptation des premiers qui aient spéculé sur les forces et les mouvements... Pour que les physiciens en viennent à rejeter la Dynamique d'Aristote et à construire la Dynamique moderne, il leur faudra comprendre que les faits dont ils sont chaque jour les témoins ne sont aucunement les faits simples, élémentaires, auxquels les lois fondamentales de la Dynamique se doivent immédiatement appliquer ; que la marche du navire tiré par les haleurs, que le roulement sur une route de la voiture attelée doivent être regardés comme des mouvements d'une extrême complexité ; en un mot que pour formuler le principe de la science du mouvement, on doit, par abstraction, considérer un mobile, qui sous l'action d'une force unique, se meut dans le vide. Or, de sa Dynamique, Aristote va jusqu'à conclure qu'un tel mouvement est inconcevable. »

4. CAVERNI, *Storia del metodo sperimentale in Italia*, 5 v., Firenze, 1891-1896, v. surtout vol. III et IV.

5. P. DUHEM, *Le Mouvement absolu et le mouvement relatif*, Paris, 1905. *De l'accélération produite par une force constante*, Congrès international d'histoire des sciences, III^e session, Genève, 1906. *Etudes sur Léonard de Vinci. Ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu*, vol. III. *Les Précurseurs parisiens de Galilée*, Paris, 1913.

pas, en fait, la physique médiévale des « précurseurs parisiens de Galilée » : elle se place d'emblée sur un plan différent, sur un plan que nous aimerions qualifier d'archimédien. En effet, le précurseur et le maître de la physique classique, ce n'est pas Buridan ou Nicole Oresme, mais Archimède (1).

L'histoire de la pensée scientifique (physique) du moyen âge et de la Renaissance — que nous commençons à mieux connaître grâce surtout aux admirables travaux de Duhem — peut être divisée en trois périodes. Ou, plus exactement, vu que l'ordre chronologique ne correspond que très mal à cette division, l'histoire de la pensée scientifique nous présente *grosso modo* trois étapes, correspondant, à leur tour, à trois types de pensée. Physique aristotélécienne d'abord ; physique de l'*impetus*, inaugurée, comme toute chose, par les Grecs, mais élaborée surtout au cours du quatorzième siècle par l'école parisienne de Buridan et de Nicole Oresme (2) ensuite ; physique mathématique, expérimentale, archimédienne ou galiléenne, enfin.

Or, ce sont justement ces trois étapes que nous retrouvons dans les œuvres de jeunesse de Galilée, qui, ainsi, ne se bornent pas à nous donner quelques renseignements sur l'histoire — ou la préhistoire — de sa pensée, sur les motifs et les mobiles qui l'ont dominée et poussée, mais nous présentent encore, dans un raccourci saisissant, condensée et en quelque sorte clarifiée par l'admirable esprit de leur auteur, l'histoire de l'évolution de la physique prégaliléenne tout entière. Aussi, leur étude attentive présente-t-elle pour l'historien de la pensée scientifique un intérêt que l'on ne peut surestimer (3).

1. On pourrait, nous semble-t-il, résumer le travail scientifique du xiv^e siècle dans la réception et la compréhension graduelle de l'œuvre d'Archimède. Pour l'histoire de la pensée scientifique, la conception populaire de la « Renaissance » s'avère profondément vraie.

2. Voir P. DUHEM, *Études sur Léonard de Vinci*, 3, v. Paris, 1909-13, F. J. DIJKSTERHUIS, *Val en Worp*, Groningen, 1924, et Ernst BORCHERT, *Die Lehre von der Bewegung bei Nicolaus Oresme* (« Beiträge zur Geschichte der Philosophie und Theologie des Mittelalters », vol. XXX, 1/3), Münster, 1934.

3. On a dit parfois (cf. E. MACH, *op. cit.*, p. 118 sq., et E. WOHLWILL, *Galilee und sein Kampf für die Kopernikanische Lehre*, Hamburg und Leipzig, 1909, vol. I, p. 115), que dans ses œuvres de jeunesse, notamment dans les *De Motu* composés à Pise, Galilée ne fait que suivre l'enseignement de J. B. BENEDETTI (cf. son *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, Taurini, 1585), sans le nommer, en outre. Ce jugement, ainsi que nous le verrons plus bas, n'est pas entièrement juste : tout en suivant Benedetti (ce qui s'explique, d'ailleurs, par le fait que la pensée de Benedetti, comme celle du jeune Galilée, présente un mélange curieux d'« empirisme » parisien et de mathématisme archimédien), il s'en écarte parfois, et lorsqu'il s'en écarte, il a toujours raison. Nous voulons dire que, dans ces cas-là, il se montre plus profondément « empiriste », et plus profondément « archimédien » que Benedetti. C'est ce qui rend l'étude de Galilée tellement instructive.

1. Aristote

Étape aristotélécienne d'abord. Les *Juvenilia* de Galilée (1) nous offrent justement un large fragment d'un cours de physique ou plus exactement, de cosmologie tel, à peu près, qu'on l'enseignait au seizième siècle dans la plupart des Universités européennes. Le fragment est malheureusement incomplet, il ne contient qu'un commentaire partiel du *De Coelo*. On peut d'ailleurs le compléter à l'aide du *De Motu* de F. Bonamico (2) qui fut, à Pise, professeur de philosophie à l'époque même où Galilée y faisait ses études. Galilée, sans aucun doute, a suivi ses cours. Mais on peut, à la rigueur, renoncer à recourir à l'énorme compilation de Bonamico : aussi incomplet qu'il soit, le fragment de Galilée nous offre un exposé très clair — remarquablement clair — des principes de la cosmophysique aristotélécienne, telle du moins qu'on la comprenait au moyen âge.

Cette cosmophysique est trop généralement connue pour que nous ayons besoin de l'exposer ici, même en suivant Galilée. Nous devons, cependant, en rappeler les principes et les fondements. Nous voudrions également, par là même, réagir contre une certaine méses-time, ou mésintelligence, de l'œuvre aristotélécienne qui trop souvent se fait jour aujourd'hui.

La physique aristotélécienne est fausse, nous le savons bien. Irrémédiablement périmée (3). Mais c'est néanmoins une physique, c'est-à-dire une théorie hautement, bien que non mathématiquement, élaborée (4). Ce n'est ni un prolongement brut et verbal du sens commun, ni une fantaisie enfantine, mais une théorie, c'est-à-dire une doctrine qui, partant, bien entendu, des données du sens commun, les soumet à une élaboration systématique extrêmement cohérente et sévère.

1. Publié dans le volume I de l'admirable Edizione Nazionale des Œuvres de GALILÉE.

2. FRANCISCI BONAMICI Florentini, e primo loco philosophiam ordinariam in Almo Gymnasio Pisano profitentis, *De motu libri X, quibus generalia naturalis philosophiae principia summo studio collecta continentur...* Florentiae, apud Bartholomeum Sermartellum, MDCXI. L'œuvre de Bonamico est, généralement, mentionnée par les biographes de Galilée. Il semble bien, cependant, qu'aucun d'eux, pas même Favaro et Wohlwill, n'a eu le courage d'ouvrir l'énorme (1011 pages in folio) volume.

3. L'échec de Duhem, qui, seul, a voulu sérieusement la faire revivre, est bien significatif à cet égard.

4. La physique aristotélécienne est essentiellement non mathématique, et on ne peut la mathématiser (en la présentant, par exemple, comme fondée sur le principe : vitesse proportionnelle à la force et inversement proportionnelle à la résistance, proportionnalité qui n'est qu'une suite des principes aristotéliens), sans en fausser l'esprit.

Les faits du sens commun qui servent de base à l'élaboration aristotélicienne sont très simples, et nous les admettons tout comme elle. Il nous paraît à tous fort « naturel » qu'un corps pesant tombe à terre (1). Et nous serions, autant qu'Aristote lui-même ou que S. Thomas, très étonnés de voir un corps lourd — une pierre ou un bœuf — s'élever librement dans l'air. Ceci nous paraîtrait peu « naturel » ; et nous chercherions l'explication du phénomène dans l'action de quelque mécanisme caché.

Nous trouvons aussi très « naturel » de voir la flamme d'une allumette pointer vers « le haut » et de placer nos casseroles « sur » le feu. Nous serions très étonnés — et chercherions une explication — en voyant, par exemple, la flamme se renverser « vers le bas ». Raisonnement simpliste, enfantin, dira-t-on. Et la science ne commence que là où l'on cherche l'explication de ce qui paraît « naturel ». Sans doute. Mais lorsque la thermodynamique pose, en guise de principe, que la chaleur ne passe pas d'un corps froid à un corps chaud, fait-elle autre chose que transposer une intuition du sens commun, selon laquelle un corps chaud se refroidit « naturellement », tandis qu'un corps froid « naturellement » ne s'échauffe pas ? Et même, lorsque nous disons que le centre de gravité d'un système tend à prendre la position la plus basse et ne remonte pas de lui-même, n'est-ce pas là, encore, une transposition de l'intuition fondamentale du sens commun, intuition que la physique aristotélicienne traduit par la distinction des mouvements en *naturels* et *violents* (2) ?

La physique aristotélicienne ne se borne pas à exprimer, en son langage, le fait du sens commun que nous venons d'évoquer : elle le transpose, et la distinction des mouvements en « naturels » et « violents » s'encadre dans une conception générale de la réalité physique (3), conception dont les pièces maîtresses semblent être : *a*) la croyance à l'existence de « natures » bien déterminées, et *b*) la croyance à l'existence d'un Cosmos (4), c'est-à-dire la croyance à l'existence de principes d'ordre en vertu desquels l'ensemble des êtres réels forment un tout (naturellement) bien ordonné.

Tout, ordre cosmique : ces notions impliquent que, dans l'Univers,

1. On a depuis longtemps remarqué qu'il n'y a jamais eu de dieu de la pesanteur.

2. Voir E. Mach, *Mechanik* ⁸, pp. 124 sq.

3. On peut même dire que la grandeur d'Aristote consiste justement à vouloir *expliquer* les faits « naturels ».

4. Il est curieux de constater que les termes Cosmos, Univers — dans le sens de totalité — etc., qui avaient perdu absolument tout sens pendant la période classique de la physique semblaient en avoir reçu un nouveau depuis M. Einstein.

les choses sont (ou doivent être) distribuées et disposées d'une façon bien déterminée ; qu'être ici ou là ne leur est pas indifférent mais, qu'au contraire, chaque chose possède, dans l'Univers, un lieu propre, conforme à sa nature (1). Une place pour chaque chose, et chaque chose à sa place ; la notion du « lieu naturel » traduit cette exigence théorique de la physique aristotélicienne (2).

La notion du « lieu naturel » traduit une conception purement statique de l'ordre. En effet, si tout était « en ordre », toute chose reposerait dans son lieu naturel, y demeurerait, et n'en bougerait pas (3).

Pourquoi, en effet, en partirait-elle ? Bien au contraire, elle opposerait une résistance à tout ce qui voudrait l'en chasser — ce qui ne pourrait se faire que par *violence* — et chercherait à y revenir lorsque, par suite d'une telle *violence*, elle ne se trouverait pas dans « son » lieu.

Ainsi, tout mouvement implique un désordre cosmique, une rupture d'équilibre, qu'il soit lui-même effet immédiat d'une telle rupture, causée par l'application d'une force extérieure (violence), ou, au contraire, effet de l'effort compensateur de l'être pour retrouver son équilibre perdu et violé, pour ramener les choses à leurs lieux naturels, convenables, où ils pourraient reposer et se reposer. C'est ce retour à l'ordre qui constitue justement ce que nous avons appelé mouvement naturel (4).

Rupture d'équilibre, retour à l'ordre : on comprend bien que l'ordre forme un état stable, et qui tend à se prolonger indéfiniment. On n'a donc pas besoin d'expliquer le repos, du moins, le repos naturel d'un corps dans son lieu propre ; c'est sa nature elle-même qui l'explique, qui explique, par exemple, le repos de la terre dans le centre du Monde. On comprend aussi que le mouvement soit nécessairement un état passager : le mouvement naturel s'arrête naturellement lorsque son but est atteint ; et quant au mouvement violent, Aristote

1. C'est seulement dans « son lieu » que se parachève et s'accomplit un être, et c'est pour cela qu'il tend à y parvenir.

2. La notion du « lieu naturel » implique la finitude des mouvements et donc la finitude de l'Univers. Ou, si l'on préfère, la notion du lieu naturel traduit la conception d'un Univers limité.

3. Le mouvement naturel vers le haut *prouve* la finitude de l'Univers : v. plus bas p. 66, la critique de Galilée.

4. L'ordre géométrique à l'intérieur de l'Univers sphérique correspondant à l'ordre qualitatif (lourd-léger), il va de soi que les mouvements violents ou naturels consistent dans un éloignement ou dans un rapprochement du corps donné de son lieu propre : aussi va-t-il de soi que ces deux mouvements sont incompatibles. Cf. GALILÉE, *Juvenilia, Opere*, I, pp. 61 sq.

est trop optimiste pour pouvoir admettre que cet état anormal puisse perdurer ; d'ailleurs, le mouvement violent étant du désordre créant du désordre, admettre qu'il puisse se prolonger indéfiniment serait abandonner, en fait, l'idée même du Cosmos. Aussi, s'en tient-on à la formule rassurante : rien de ce qui est *contra naturam potest esse perpetuum*.

Le mouvement, dans la physique aristotélicienne, est donc, venons nous de dire, un état essentiellement passager. Prise à la lettre, cette affirmation est doublement inexacte. D'une part, en effet, le mouvement, tout en étant *pour chacun des mobiles*, du moins pour les mobiles « sublunaires », les corps de notre expérience sensible, un état essentiellement passager et fini, n'en reste pas moins, pour l'ensemble du monde, un phénomène nécessairement éternel (1). Et, par là même, éternellement nécessaire. Phénomène que l'on ne peut expliquer qu'en découvrant sa source dans la structure même du Cosmos, c'est-à-dire, en posant, comme cause des mouvements passagers et variables des êtres sublunaires un mouvement perpétuel, uniforme et donc « naturel » des sphères et des orbes célestes (2). D'autre part, le mouvement n'est pas, à proprement parler, un état : c'est un processus, un devenir dans et par lequel se constituent, s'actualisent et s'accomplissent les êtres (3). Sans doute le devenir a-t-il pour but et pour terme l'être ; et le mouvement a, pour fin, le repos. Mais ce repos immuable de l'être pleinement réalisé est tout autre chose que l'immobilité pesante et impuissante d'un être incapable de se mouvoir ; le premier est acte, la seconde n'est que privation. Aussi le mouvement — processus, devenir, changement — se trouve-t-il, ontologiquement, placé entre les deux. Il est l'être de tout ce qui change, et qui n'est qu'en changeant et en

se modifiant (4). La célèbre définition aristotélicienne du mouvement — acte de l'être en puissance en tant qu'il est en puissance — (définition que Descartes trouvera parfaitement incompréhensible) exprime admirablement bien ce fait que le mouvement est l'être — l'acte (2) — de ce qui n'est pas Dieu.

Se mouvoir ainsi c'est changer, *aliud et aliud se habere*, se comporter (ou être) autrement et autrement. Ce qui implique, d'une part, un terme de relation par rapport auquel le mobile se comporte autrement et autrement (3) : ce qui veut dire, s'il s'agit de mouvement local, un point fixe par rapport auquel le mobile se meut, un centre absolu des coordonnées, le centre de l'Univers. Ce qui implique, d'autre part, — tout changement, tout processus ayant besoin d'une cause qui l'explique, — que tout mouvement a besoin d'un moteur qui le cause et qui — s'il dure — l'entretienne. Le mouvement, en effet, ne dure pas de lui-même, comme le repos. Le repos — un état ou une privation — n'a pas besoin de cause qui en explique la persistance. Le mouvement — un processus, une actualité, et même une actualisation continue — ne peut pas s'en passer. Supprimez cette cause, le mouvement cessera ; *cessante causa cessat effectus* (4).

S'il s'agit du mouvement « naturel », cette cause, ce moteur, c'est la nature même du corps, sa forme, qui cherche à le ramener à sa place ; c'est elle qui entretient le mouvement. Un mouvement non naturel exige, par contre, pour toute sa durée, l'action continue d'un moteur extérieur, conjoint au mobile. Supprimez le moteur, le mouvement s'arrêtera. Séparez le moteur du mobile, le mouvement s'arrêtera également. Aristote, en effet, n'admet pas d'actions

1. Le mouvement ne pouvant être produit que par un autre mouvement, tout mouvement actuel implique une série infinie de causes antérieures.

2. Le mouvement circulaire est le seul mouvement uniforme qui puisse perdurer indéfiniment dans un Univers fini ; c'est aussi celui qui — si nous l'attribuons à la sphère tout entière — ne change rien ; par là il est le plus proche d'un état naturel. Aussi, les adversaires d'Aristote s'efforceront-ils de démontrer soit le caractère naturel du mouvement circulaire en général, pour tous les corps et non pas seulement pour les corps célestes, ce qui aboutit finalement à la dynamique de Copernic, soit comme Galilée, et ce en mécompréhendant Aristote, de démontrer que le mouvement circulaire « autour du centre », n'est ni violent, ni naturel, puisque « dans le mouvement circulaire les corps ni ne s'éloignent ni ne se rapprochent du centre ». Cf. plus bas, p. 71, n. 1.

3. Le mouvement est donc quelque chose qui affecte le mobile et se passe en lui. Aussi est-il compréhensible qu'un mobile ne peut avoir qu'un seul mouvement naturel, et qu'il était affecté de deux mouvements différents — naturel et violent — ces deux mouvements se généraient mutuellement.

1. On présente, le plus souvent, la physique aristotélicienne comme dominée par des catégories biologiques. Juste, sans doute, — la conception du mouvement peut être comprise comme traduisant la situation intermédiaire que la vie occupe entre l'immutabilité de l'esprit et l'immobilité de la mort — cette interprétation nous paraît méconnaître le fait que la distinction entre état et processus (être et devenir) est absolument générale et n'est pas limitée à l'être vivant.

2. Dans les discussions médiévales — extrêmement complexes — sur la nature du mouvement, celui-ci est considéré habituellement comme une forme d'un type spécial — *forma fluens*. Cf. les œuvres citées de Duhem, Dijksterhuis et Borchert et S. Moser, *Grundbegriffe der Naturphilosophie bei Wilhelm von Ockham* (Philosophie und Grenzwissenschaften, vol. IV, fasc. 2-3), Innsbruck, 1932.

3. Le mouvement local est donc toujours à la fois relatif et absolu. Relatif parce qu'il implique nécessairement un terme de comparaison et ne peut pas être conçu « en soi », par rapport à rien, comme le mouvement absolu de Newton ; absolu, parce que les « lieux » entre lesquels se fait le mouvement forment un système absolu, possédant un terme essentiellement immobile.

4. Aristote a parfaitement raison. Aucun processus (devenir) ne dure par inertie. Et le mouvement ne dure que parce qu'il n'est plus un processus.

à distance (1) : toute transmission de mouvement implique, selon lui, un contact ; aussi, n'en connaît-il que deux formes : pression et traction (2). La physique aristotélicienne forme, on le voit bien, une théorie admirable, admirablement cohérente, et qui n'a, à vrai dire (outre celui d'être fausse), qu'un seul et unique défaut : celui d'être contredite par la pratique journalière, par la pratique du jet. Mais un théoricien digne de ce nom ne se laisse pas arrêter par une objection du sens commun. Lorsqu'il trouve un fait qui ne s'accorde pas avec sa théorie, il le nie. Et lorsqu'il ne peut le nier, il l'explique. Et c'est dans l'explication de ce fait — le fait du jet, mouvement se continuant malgré l'absence du moteur — apparemment incompatible avec sa théorie qu'Aristote nous montre tout son génie (3). Sa théorie du jet — élaboration systématique d'une remarque de Platon (4) — consiste, en effet, à expliquer le mouvement, apparemment sans moteur, du projectile, par la réaction du milieu ambiant (5).

Explication géniale, mais, du point de vue du sens commun, parfaitement invraisemblable. Aussi, toutes les attaques contre la dynamique d'Aristote porteront-elles toujours sur cette question disputée : *A quo moveantur projecta ?* (6)

Nous reviendrons tout de suite sur cette question, mais il nous faut, auparavant, nous arrêter à une autre particularité de la dynamique aristotélicienne : la négation du vide, et du mouvement dans le vide (7). Dans cette dynamique, en effet, non seulement le vide ne favorise pas le mouvement, il le rend impossible. Et cela pour des raisons très profondes.

1. Il n'y a pas de force d'attraction dans la physique aristotélicienne.

2. Du point de vue strictement mécanique, il n'y a effectivement pas d'autres. Cf. E. MEYERSON, *Identité et Réalité*³, p. 84.

3. La théorie d'Aristote est si belle qu'elle sera imitée et utilisée jusqu'au XVIII^e siècle, notamment par Descartes et Huyghens.

4. Cf. *Timée* 79^b.

5. La théorie d'Aristote consiste à expliquer la continuation du mouvement par un processus tourbillonnaire dans le milieu entourant le mobile, qui agit sur ce dernier en l'entraînant et en le poussant. Le « truc » théorique est dans l'invention d'un milieu particulièrement apte à se mouvoir ; nous dirions aujourd'hui : d'un milieu élastique, l'air ; cf. Aristote, *Physique*, IV, 8, 215^a, VIII, 10, 267^a.

6. Voir l'histoire de cette question disputée chez DUNEM, *Études sur Léonard de Vinci*, Paris, 1909-1913.

7. N'oublions pas que l'impossibilité du vide est aussi une thèse cartésienne. Descartes se trouve donc, en ce point, comme en maint autre, être d'accord avec Aristote, contre Galilée.

En effet, dans la dynamique aristotélicienne, tout corps est conçu comme possédant une tendance à se trouver dans son lieu naturel, et donc à y revenir dès que, par violence, il en est éloigné. Tendance qui explique son mouvement (naturel) : mouvement qui le porte à son lieu (naturel) par la voie la plus courte et la plus rapide. Il s'ensuit que tout mouvement naturel s'effectue en ligne droite, et que tout corps va à son lieu naturel aussi vite qu'il le peut, c'est-à-dire aussi vite que le milieu ambiant le lui permet. Si, par contre, rien ne venait l'arrêter, si le milieu dans lequel il se meut n'opposait à son mouvement aucune résistance (comme cela se ferait dans le vide), il s'y porterait avec une vitesse infinie. Or, un mouvement instantané paraît à Aristote (non sans raison) parfaitement impossible (1). Ainsi donc le mouvement naturel ne peut s'effectuer dans le vide. Quant au mouvement violent, celui du jet, par exemple, le mouvement dans le vide équivaldrait à un mouvement sans moteur : le vide, en effet, n'est pas un milieu et ne peut pas recevoir et donc transmettre et entretenir le mouvement. De plus, dans le vide (c'est-à-dire, dans l'espace de la géométrie euclidienne), il n'y a ni lieux ni directions privilégiés. Dans le vide, il ne peut y avoir de lieux naturels : un corps, dans le vide, ne saurait où aller, n'aurait pas de raison de se mouvoir dans une direction plutôt que dans une autre, et donc de se mouvoir du tout.

Aristote, une fois de plus, a raison : le vide (l'espace euclidien) n'est pas compatible avec l'idée d'un ordre cosmique (2) : dans le vide, en effet, non seulement il n'y a pas de lieux naturels, il n'y a même pas de *lieux* du tout. Aussi la notion du vide n'est-elle pas compatible avec celle du mouvement-processus. Ni même, peut-être, avec celle d'un mouvement corporel et réel. Le vide n'est rien, et placer quelque chose dans ce rien est absurde. Dans l'espace géométrique on ne peut placer que des corps géométriques ; on ne peut y placer des corps réels. Aussi, nous dira Aristote, ne faut-il pas confondre géométrie et physique : le physicien raisonne sur le réel (qualitatif), le géomètre n'a affaire qu'à des abstractions (3).

1. Un mouvement infiniment rapide, une translation instantanée d'un corps d'un point à un autre, est effectivement absurde.

2. Dans l'espace homogène de la géométrie, tous les « lieux » sont pareils, et une translation ne produit rien de nouveau.

3. Aristote, on le sait bien, est très hostile à toute confusion des genres : le géomètre n'a pas à penser en arithméticien, ni le physicien en géomètre. Exigence parfaitement légitime : tant que les « genres » subsistent, on ne peut les mélanger. Mais on peut détruire les genres.

2. Les discussions médiévales : Bonamico

Les adversaires de la dynamique aristotélécienne — nous venons de le dire — lui ont de tout temps opposé le fait de la persistance du mouvement d'un mobile séparé du moteur ; aussi les exemples classiques d'un tel mouvement, la roue (quelquefois remplacée par une sphère), la pierre lancée, la flèche, se retrouvent-ils chez les critiques d'Aristote, depuis Hipparque et Jean Philopon (1) jusqu'à Buridan, Nicole Oresme et Albert de Saxe, jusqu'à Léonard de Vinci, Benedetti et Galilée.

Nous n'allons pas refaire l'histoire du problème (2). Pour nous rendre compte de l'état de la question il nous suffit de nous adresser au propre maître de Galilée, à Bonamico (3). Voici donc son rapport sur la question du jet (4).

« La méthode et la science des contraires est la même ; or au mouvement selon la nature s'oppose le mouvement contraire à la nature ; aussi, après avoir parlé du mouvement selon la nature, la règle que nous avons établie concernant le mouvement exige que nous disions quelque chose de celui qui est contre la nature, et qui est engendré par la violence. Or, celui-ci est double, à savoir, simplement contraire à la nature, ou contraire d'une certaine manière seulement. Car on dit que quelque chose est mû par force, lorsque ce qui est mû ne reçoit pas cette force de soi-même, c'est-à-dire ne possède pas (en lui-même) la propension par laquelle il se meut,

1. Sur Jean Philopon v. E. WOHLWILL, *Ein Vorgänger Galileis im VI. Jahrhundert* *Physicalische Zeitschrift*, v. VII, 1906.

2. Cf. Les ouvrages cités *supra*, p. 10, n. 2 et p. 15, n. 2. L'étude du problème du mouvement est infiniment instructive — l'étude d'un échec l'est toujours — et, seule, peut nous permettre d'apprécier et de comprendre, le sens et l'importance de la révolution galiléenne.

3. L'œuvre de Bonamico étant à la fois très instructive — elle nous montre, d'une part, la perplexité de la pensée médiévale devant les phénomènes de la chute et du jet ; elle nous révèle, d'autre part, à quel point la connaissance de la physique de l'*impetus* était courante dans les milieux universitaires — et pratiquement inconnue des historiens (elle est, d'ailleurs, fort rare : le *British Museum* lui-même ne la possède pas) nous avons cru devoir la citer *in extenso* d'après l'exemplaire de la Bibliothèque Nationale.

4. BONAMICO, *De Motu*, l. V, c. xxxv, p. 503. *De motibus praeter naturam et de projectis contra Platonem*. Quoniam vero oppositorum una est eademque methodus et scientia : motui vero : secundum naturam opponitur motus praeter naturam ; postquam de motu naturali satis dictum est : postulat nunc instituta ratio de motu, ut aliqua dicamus de eo qui est praeter naturam, qui item nascitur ex violentia : hic vero duplex est, vel simpliciter, vel quodammodo : vi autem moveri illa dicuntur quandocumque id quod movetur non confert vim, hoc est non habet illo propensionem, quo movetur, quia. s. non perficiatur ex eo motu, locum illum adipiscens in quo conservetur : hic autem est qui convenit suae formae ; sed ab eo forma potius corrumpitur. Ideo quod unumquodque suae neci resistit, quantum potest ;

parce que par ce mouvement, il ne se parfait pas en atteignant le lieu dans lequel il se conserve ; car le lieu où il se trouve est celui qui convient à sa forme, tandis que par l'autre elle est plutôt corrompue. Or, tout ce qui est, résiste à sa mort autant qu'il peut ; le mobile est donc si éloigné du désir de se rendre au lieu qui ne lui est pas naturel que si la vertu du moteur ne surmontait pas sa résistance, il ne se mouvrait jamais ; et si la faculté qui violente ne prévalait pas, il rétrocéderait toujours dans l'ancien lieu ; ainsi d'aucune manière n'aide-t-il au *conatus* du mouvant, comme le fait une pierre jetée vers le bas avec une grande force ; dans un tel cas sa vertu (propre) s'ajoutant à l'action du mouvant produit un mouvement beaucoup plus rapide. Ainsi, le principe d'un mouvement simplement violent est entièrement extérieur et étranger (au mobile), et n'a qu'un seul adjuvant de son travail, à savoir, le milieu, qui, recevant l'*impetus* du mouvant, l'impartit au mobile. En vérité, ce qui se meut absolument contre nature ne reçoit absolument et simplement aucune force... mais est vaincu par le moteur, de telle façon que (dans son mouvement) il suit (en sens inverse) la même ligne qu'il aurait parcourue s'il se mouvait selon la nature ; aussi se meut-il plus rapidement au commencement qu'à la fin. Mais ce qui se meut à l'encontre de la nature d'une certaine manière seulement ne résiste pas absolument, bien qu'il ne tende pas au lieu où il va, et ne suit pas, étant violenté, la même ligne qu'il aurait poursuivie s'il se mouvait conformément à sa nature, mais est dévié vers le côté. C'est pourquoi aussi le milieu l'aide et le sert davantage dans son mouvement ; et à cause de cela, la même pierre est projetée plus loin, et d'un mouvement plus rapide, vers le côté, que directement

tantum abest ut eo properet, ut nisi virtus moventis resistentiam mobilis superet nunquam moveatur ; et nisi praevaleret facultas violans, in pristinum locum semper retrocedat ; neque ullo modo conatum moventis adjuvat, sicut adjuvaret saxum, si magno impetu deiceretur : nam virtus eiusmodi facultati accedens longe velociorem motum faceret. Itaque principium talis motus omnino externum alienumque est, solumque socium sui laboris habet medium, quod impetum a movente excipiens mobili impertit. Verum quod praeter naturam absolute movetur ; omnino et simpliciter nullam vim confert : immo renititur ; sed ita vincitur a movente, ut simpliciter eandem illam lineam metiatur quam permearet, si moveretur secundum naturam : ideoque movetur celerius ab initio, quam ad extremum. Quod vero aliqua ex parte praeter naturam movetur, non omnino resistit ; licet eo non propendeat, quo movetur, necque eandem lineam peragrat violatum ac si secundum naturam moveretur ; sed ad latera quodam pacto deflectitur. Quam ob rem etiam medium illi motui magis inservit, ob id velocius et ad maius spatium idem lapis in latera proicitur, quam sursum directo et ad perpendiculum. Attamen neutrum illo simpliciter vergit quo agitur ; necque ibi manet secundum naturam : sed posteaquam vis movens contabuerit ad suum motum locumque naturalem sese recipit, describens lineam secundum quae est ad perpendiculum inter centrum mundi et extremum, et movetur aliquanto celerius in progressu. Principia vero quae violentia varia esse queunt et contraria, quae materiam affigunt, ut apparet in fulmine, quod

et perpendiculairement vers le haut. Cependant aucun corps (mû ainsi) ne tend simplement vers le lieu où il est poussé ; et n'y reste pas conformément à sa nature, mais après que la force mouvante se soit épuisée, il retourne à son lieu et à son mouvement naturels, décrivant une ligne conforme à la nature, ligne qui est une perpendiculaire entre le centre du monde et son extrême ; et dans ce mouvement, il augmente quelque peu de vitesse en s'avancant. Mais les principes qui violent peuvent être très divers, et ceux qui affectent la matière, sont, habituellement, les contraires, ainsi qu'on le voit dans la foudre qui, étant du feu, est expulsée par l'eau environnante ; dans les corps graves, là où ils sont enlevés par le vent ; dans le *raptus* de certains mobiles, comme cela se fait peut-être pour la couche supérieure de l'air ; dans l'*impetus* de l'eau, ou de l'air mû en cercle, comme dans les tourbillons ; et, en général, dans la poussée, la traction, la vexion et la rotation qui se font surtout par les êtres animés.

« Mais, comme on a suffisamment parlé plus haut de la cause et des propriétés du mouvement violent en général, nous allons maintenant en traiter en particulier, et, présentement, nous étudierons la cause de cet autre mouvement que l'on a l'habitude de désigner sous le nom de *projection*. Celle-ci est beaucoup plus difficile à découvrir et, à son sujet, il existe, depuis l'antiquité, des opinions très diverses. Ainsi, Platon, pour employer ses propres termes, attribuait la cause de ce mouvement à l'*antipéristase*. Mais Platon ne nous explique pas suffisamment comment on doit le comprendre, et Aristote n'y ajoute pas grand'chose. Aussi ce terme est-il ambigu, vu qu'il désigne, à proprement parler, le circuit ou la révolution des contraires ; lorsque l'un des contraires entoure l'autre, et l'amène, en quelque sorte,

cum sit ignis, ab aqua circumstante expellitur et propter vim agitati corporis, ut fit, ubi venti extollunt aliqua pondera et raptu mobilis cujusdam, ut forte evenit in hyppocaumate, impetu item aquae, aut aeris in gyrum acti, ut accidit in vorticibus et generatim puls, tractu, vertigine et vectione quae plurimum fiunt ab animatis.

Sed cum supra de causa violenti motus universe satis dictum sit, agamus nunc de ipso speciatim et in praesentia vestigemus causam alterius illius motus quem solent nobis significare nota projectorum. Quae longe abstrusior est et antiquitas etiam varias ostendit opiniones. Nam Plato quemadmodum eius verba sonant, asserbat causam talis motus antipéristasim : quanquam quo pacto causa haec accipienda sit, nec multum declarat Aristoteles, neque satis e Platone colligitur. Etenim vox est ambigua. Siquidem sit proprie contrariorum ambitus ; quando unum contrariorum ambit, et alterum velut in centrum adducit quemadmodum calor centrum versus aestate cogit frigus, unde multa poma oriuntur, quibus frigus insigniter dominetur ; et contra frigus hyeme centrum versus calorem propellit, unde ventres hyeme calidiores : secundo etiam communius accipiatur in latone sola, cum ambiens efficit lationem in eo quod ambitur, ex eo ducens originem, ut Plato volebat ; quia movens omne, dum moveretur, una quoque moveretur ; nec ullam vim, nisi qua corpus esset, mobili communicaret, aut in aliud a se transferret ; quapropter eodem motu quo

dans le centre. Ainsi, la chaleur, en été, surmonte le froid et c'est de là que naissent les fruits qui sont froids par nature ; et, au contraire, en hiver, le froid chasse la chaleur vers le centre, ce qui fait qu'en hiver, les ventres sont plus chauds. En deuxième lieu, et plus communément, ce terme s'applique au mouvement seul, à savoir au cas où l'ambiant produit le mouvement dans le mobile qu'il pousse et, où, en même temps, il tire son origine de celui-ci, ainsi que le voulait Platon. Car tout mouvant, tant qu'il meut, est, en même temps, mû. Et il ne communique aucune force au mobile, ni n'en transfère aucune en un autre que soi ; c'est pourquoi il se meut par le même mouvement que le mobile lui-même. Ainsi, si l'esprit était une chose corporelle, il mouvrait le corps, et se mouvrait soi-même d'un seul et même mouvement.

« Ainsi donc, lors de la projection, les parties du milieu environnant se succèdent dans le lieu des parties postérieures du mobile ; ainsi A, s'il meut B, arrive dans son lieu, et si B pousse C, il en occupe le lieu. Et ainsi de suite. Mais on se demande si cela se fait au moyen de l'extension du corps qui effectue le circuit, ou plutôt au moyen d'une succession qui se produit à cause du vide ; car c'est dans ce sens-là que l'interprète Simplicius ; aussi cette théorie est-elle réfutée par Aristote par les arguments suivants : d'après cette théorie, le milieu se rapprocherait et s'unirait au dos du mobile (le milieu donc devrait être liquide et pouvoir se mouvoir facilement) afin qu'il n'y ait pas de vide ; cette coition faite, le mobile poursuivrait son mouvement. Or, que l'on admette que le milieu qui suit le mobile remplit seulement l'espace que celui-ci abandonne, ou que l'on admette qu'il

mobile ipsum ageretur, ut, si animus res esset corporea, idemque corpus ageret, ipse quoque primum pari ratione ferretur.

Ita igitur in projectione partes circumstantes in locum posteriorum succedunt, ut, A. si moveat B. subit in ejus locum et si B. propellat C. locum eius occupat et sic cetera deinceps. Hoc autem dubitatur, an sit per extensionem ejus corporis quod ambitur ; an potius sit per successionem quae fit propter vacuum : nanque huiusmodi sensum ex ejus verbis colligebat Simplicius, et haec item sententia ab Aristotele sub hac ratione confutata deprehenditur, quoniam ex eo quod a tergo rei mobilis coiret medium (hoc. n. liquidum esse oportet et facile coire posse) ne detur vacuum : facta autem illa coitione mobile procederet ulterius. Sed quocumque accipiat a tergo medium convenire, sive impleat solum id spatii quod a mobili relictum fuerat, sive etiam id quod congregitur, ipsum promoveat, multa sunt quae nos ab ejus opinione avertant. Ac quantum de secunda est, quam de verbis Platonis Simplicius ipse profitetur, satis haec illius fallaciam significant. Primum quia ratio reddi non potest, cur primo cessante, reliqua moverentur : ubi nam fiat motus per solum contactum, veluti fieret in hac hypothese, uno moto deinceps omnia moverentur, eoque manente quiescerent ; quod omnia in alterius locum successione quadam subingrederentur. Quod si id non eveniret, omnia quoque manere opus est : talis nam motus est antipéristaseos, si credere dignum est Aristoteles quod unum quidem primum movetur et movens in ejus locum subit ; ita ut una movens et

pousse en avant ce qu'il aborde, il subsiste beaucoup de difficultés qui nous détournent de cette opinion.

« Quant à la seconde hypothèse, que Simplicius lui-même a tirée des paroles de Platon, les raisons suivantes en démontrent suffisamment l'erreur. *Primo*, on ne peut pas expliquer pourquoi le premier mobile cessant (de se mouvoir), les autres continueraient, car là où le mouvement se fait par le contact seul, ainsi qu'il se ferait dans cette hypothèse, tous (les corps) se meuvent d'un seul mouvement, et celui-ci manquant, ils s'arrêtent tous, puisque les uns doivent occuper les lieux des autres en se succédant... S'il en était autrement tout devrait demeurer immobile. Tel est, en effet, le mouvement antipéristatique, s'il faut en croire Aristote : un mobile quelconque n'est mû que si le mouvant pénètre dans son lieu. De telle façon que le mouvant et le mobile se meuvent ensemble et les parties (du circuit) ne se mouvront pas plus rapidement par la suite qu'au commencement. Or, c'est le contraire qui est vrai. Que si l'on doutait de l'expérience, on pourrait faire valoir que le ralentissement du mouvement du mobile — un fait indubitable — serait tout aussi impossible...

« Car le mouvement ne peut pas s'effectuer, à moins que le mouvant ne suive. Ainsi donc, l'instant de la succession (du mouvant au mobile) est le même que celui du mouvement. En outre, la pulsion du vide est toujours semblable à elle-même et donc le mouvement (l'est aussi). Ce qui impliquerait que tous les mouvements devraient se faire avec la même vitesse. « De plus, la nature ne désire que le seul

mobile concitentur ; neque velocitate maiore partes in progressu q. ab initio moverentur : oppositum tamen apparet. Quod si de experientia dubites, vide item id evenire, si segnius in progressu concitetur quod in parte quadam motus illius negari non potest nanque idem tenor a natura servabitur, dum vacuum propulsare contendit, hoc studet, ut arceatur inane, id semper eodem instanti praestat quo motus efficitur ; nec potest effici motus, nisi movens succedat. Itaque idem est successio instans et motus, atqui vacui pulsio perpetuo sui similis est ; et motus igitur. Praeterea natura solam intenderet coitionem, ut puta, ut exploderet vacuum : ubi igitur aere in saxi locum subingresso, adepta illam fuisset ; non esset certe, quod amplius laboraret ; si ergo post primam saxi motionem coivit aer, cur motus procedit ulterius ? Quantum vero pertinet ad primum illum modum antipéristaseos qui affert extrusionem : habet et hic contra se multas experientias. In primis, n. equid erit caussa, quod vetet lapidem ad celum usque concitari ? nam, si aer in eius locum succedet, et lapidem idcirco propellit, quanto continue sit ea successio, continue quoque lapidis propulsio fiet, quousque suppetat aer, aut corpus aëri quod propter coeundi facultatem valeat idem atque aer. Tum item facilius palea, quam saxum prolici posset, tum quod palea levior est, et sursum magis propendet quam saxum tum etiam, quid maior est aeris impellentis ad paleam proportionem, quam ad saxum : ex maiore autem proportionem velocior motus procedat necesse est. Rursus, si filum saxo appendatur, ob eandem causam a fronte saxi ponderet : cum videamus igitur ipsum a tergo porrigi in longitudinem, et quasi trahi a saxo, potius quam ab aëre propelli ; dicamus oportet extrusionem non esse causam tali motus. Sic undique Platonis opinionem lubricam esse comperimus.

contact, c'est-à-dire seulement la suppression du *vacuum*. Là donc où l'air, s'étant rendu à la place de la pierre, réalise le contact, il n'est pas clair pourquoi il travaillerait davantage. Ainsi donc, si l'air atteint le contact après le premier mouvement de la pierre, pourquoi le mouvement procéderait-il plus loin ? Mais en ce qui concerne ce premier mode de l'antipéristase, celui qui comporte l'extrusion, il est également contredit par de nombreuses expériences. En premier lieu, la cause qui projette la pierre suffirait pour la mener jusqu'au ciel. En effet, si l'air succède dans son lieu et pousse la pierre d'une manière telle que cette succession soit continue, il s'ensuit que la propulsion de la pierre se poursuivra aussi loin que s'étend l'air ou le corps de l'air, lequel, en ce qui concerne la faculté de contact, vaut autant que l'air. Dans ce cas-là, une paille pourrait être projetée plus facilement qu'une pierre, parce que la paille est plus légère et tend vers le haut bien plus que la pierre. De même, si un fil était attaché à la pierre, il devrait la devancer : or, nous le voyons s'étendre en arrière et plutôt être entraîné par la pierre que propulsé par l'air.

« Ainsi donc, l'opinion de Platon nous apparaît-elle parfaitement ridicule.

« Ayant rejeté l'opinion de Platon. Aristote (1) décida que, par le mouvant, une force est imprimée à l'air, ou au milieu, en vertu d'une nature qui est double, ni grave seulement, ni légère ; à cause de quoi, justement, l'air peut recevoir l'*impetus* dans n'importe quel sens. Comme cependant l'*impetus* n'est jamais conforme à sa nature — bien que, ainsi que nous l'avons dit ailleurs, un mouvement horizontal s'y oppose moins que le mouvement qui se ferait simplement vers le haut, ou vers le bas, car l'air n'est pas seulement léger, mais aussi lourd, — il y résiste et là où il est quelque peu séparé du premier moteur, il perd petit à petit la force qui lui est imprimée par celui-ci ; cette force se dissipe et, finalement, s'épuise, et ainsi le projectile, n'éprouvant plus de violence, retourne à sa condition anté-

1. F. BONAMICI, *De Motu*, I. V. c. xxxvi, p. 504 : « *Aristotelis sententia de projectorum motu recensetur, et ea quae contra illam afferri solent exponuntur* : Repudiata Platonis opinione, decrevit Aristoteles a movente vim imprimi aëri sive medio, propter eius naturam quae anceps est, nec gravis tantum, aut levis : ob eamque causam impetum quoquo versus excipere potest. Quia tamen impetus ille simpliciter eo versus non est, licet, ut alias a nobis dictum est, eius naturae minus hoc adversetur, quam si simpliciter sursum, aut deorsum moveatur : quia non tantum levis est, sed etiam gravis, tantisper item resistit, atque ubi seiunctus est aliquantum a primo motore, vim ab eo sibi impressam paulatim amittit, demum deferiscitur, et contabescit et ita proiectum ab alio non violatum, pristinas condiciones recuperat et secundum illas ad eundem locum festinat, unde coactum discesserat, quasi ferrum, quod ubi

rieure, et, se conformant à celle-ci, s'empresse de revenir dans le lieu d'où la force l'avait fait partir, de même que le fer qui, lorsqu'il est séparé du feu, retourne à sa frigidité propre. Là-dessus Philopon, et d'autres latins, ont très fortement attaqué Aristote, jusqu'à récuser son autorité.

« Ils ont dit tout d'abord, que sa position n'évite d'aucune façon la difficulté que nous venons d'objecter à Platon : à savoir que si la pierre est portée par l'air, son mouvement ne cessera jamais, car l'air qui reçoit l'*impetus* n'a plus aucune raison de revenir au repos. Cet *impetus*, en effet, est conforme à sa nature et son mouvement n'est donc pas différent de celui de la descente de la pierre qui se fait conformément à la nature. C'est pourquoi non seulement la pierre serait mue à travers toute l'épaisseur de l'air, mais encore, si l'air était infini, son mouvement durerait-il un temps infini. Car, que l'air lui-même soit mobile par soi, de telle façon qu'il puisse se mouvoir et aussi s'arrêter — ce qui est le propre des êtres animés, — est très loin d'être vraisemblable. Il ne suffit pas, non plus, de dire avec Averroès, que le milieu est mù par sa forme naturelle et que, cependant, le mouvement se produit à l'occasion de quelque chose d'extérieur. Car même si l'on admettait qu'il en soit ainsi, comment le repos s'établirait-il dans le milieu ? L'occasion de se mouvoir est en effet présente, et le milieu est mù selon sa nature. Ensuite : si ce mouvement (du milieu) provient de l'*impetus* imprimé et introduit

par le premier mouvant, l'*impetus* de la pierre projetée sera d'autant plus grand, que le mobile sera plus proche du mouvant ; et son mouvement sera d'autant plus rapide. Mais cela est faux, car le mouvement (la vitesse) des projectiles augmente d'abord pendant un certain espace ; ce qui est démontré par l'expérience, à savoir que la fronde ou la balliste, ainsi que le canon produisent des effets plus véhéments (lorsque l'on tire) de quelque distance que (lorsque l'on tire) de près. Ajoutons encore que, si elle était mue par l'air, la pierre ne pourrait pas se mouvoir contre le vent, car... l'*impetus* du vent est plus grand que celui du projetant. Il s'y ajoute en outre que la pierre serait projetée à une distance égale par un moteur qui la touche et par un moteur éloigné, car l'un et l'autre peuvent imprimer à l'air le même *impetus*. Enfin, une lance longue et une courte seraient projetées avec une vitesse égale, car la projection peut leur imprimer un *impetus* égal. C'est pourquoi Philopon et, après lui, Albert, S. Thomas et beaucoup d'autres, ont pensé que la force est imprimée par le premier moteur non point à l'air, mais au mobile, ainsi, à la pierre. Et selon qu'une force plus grande ou plus petite lui est imprimée, le mobile est porté plus loin et plus rapidement ; or, cette force est parfois reçue plus facilement et plus rapidement ; d'autres fois plus difficilement et plus lentement ; ceci en fonction des facteurs qui favorisent le mouvement, tels la forme (géométrique), la grandeur, la quantité de matière, etc., facteurs que

segregatum ab igni fuerit, ad propriam frigiditatem revertit. Verumtamen Philoponus, et alii Latini in Aristotelem acerrime inveci sunt, usque adeo, ut praeceptorem desererint. Primum quia neque item eius positio difficultatem illam evitat quam Platoni paulo ante obiecinus ; nunquam. s. eius motum cessaturum, quoniam ab aere vehitur saxum, aer autem, hic ubi impetum exceperit, non habet unde quiescat : quoniam impetus ille sit ei naturalis non secus atque descensus saxo secundum naturam sit : quare non modo saxum per aërem totum agitabitur, sed etiam tempore infinito, si infinitus fuerit aer. Nam dicere ipsum aërem fieri per se mobilem, ut moveri simul et manere possit, quod animatorum proprium est, longe aberret a verisimili. Neque sufficit id quod adscribebat Averroes, medium a sua naturali forma moveri, eum tamen motum ab extrinseco sumere occasionem. Nanque esto hoc. At unde quies in medio ? iam. n. adfuit occasio movendi : mediumque secundum naturam moveretur. Deinde si ab impetu iam indito et impresso a primo movente sit iste motus ; quo mobile propinquius erit moventi, eo quoque maior impetus erit saxi projecti, et motus ipse velocior. At hoc falsum est, quia projectorum motus augetur per aliquantum spatii in progressu, quod item experientia testatur cum funda, aut balista, aut etiam quodvis tormentum ex distantia quadam vehementius feriat, quam cominus. Adde etiam, quia saxum contra ventum moveri non posset. Etenim maiore impetu moveretur aer contra saxum, cum maior sit impetus venti quam proiciens ipsius. Accedit eodem q. per aequalem distantiam moveretur lapis a tangente et a remoto, quoniam aequalis impetus aeri posset imprimi ab utroque. Tum postremo eadem velocitate proiceretur hasta oblonga ac brevis : quoniam aequalem impetum impartiri possis utranque proiciendo. Quamobrem Philoponus, post ipsum vero Albertus, D. Thomas et alii complures opinati sunt, vim sane imprimi a primo movente non aeri quidem, sed mobili, utputa saxo ; et prout maior, aut minor vis illi imprimeretur, ita

per maius spatium atque velocius agitari. Huiusmodi autem vim interdum expeditius ac promptius excipi. Nonnunquam aegrius et lentius ; propter illa quae motui solent auxiliari, utputa, figuram, magnitudinem, materiae multitudinem et caetera, quae supra causas lationis socias appellavimus, sic longius fertur hasta, quam corpus quadratum, et chorda tenta, quia melius excipit impetum, retinetque diutius, quam remissa, diutius quoque tremat, atque ictum facit maiorem. Si quaeratur etiam, cur aer in iactu non agitur in immensum : respondent : quia communicatur ille motus a lapide partibus proximis, et ab hisce subinde reliquis contiguus, ut etiam vel eodem Aristoteles, teste et auctore (8° phys.) non sit unus ille motus, quia mobile non simpliciter idem permaneat, at vero cum motus ille non sit neque lapidi, neque aëri naturalis, sed utrique eveniat ab externo praeterea circumferentiam versus dilatetur, quemadmodum fieri conspiciamus ubi, lapis in aquam proiciatur, facit. n. rotationes in principio minores, sed velociores ; et ob maiorem proportionem quam habet tum movens ad mobile : et quia citius peragi solet spatium quo brevius est, in processu maiores quidem, sed tardiores : et aucto spatio et proportionem moventis ad mobile imminuta : sic facit lapis in aërem proiectus ; ideo motus segnior evadit ; ut demum fatiscat ; et interposita quiete ; quia motus aut contrarii sunt, aut contrariis respondent, semoto impediendo moveatur secundum naturam. Reddi etiam causa potest, cur pila lusoria facilius repercutiatur, quam lapis : in motu. n. ante reflexionem valde comprimitur : postquam reflexa, est dilatatur ; ita quarens innatam dimensionem (consequitur autem ipsam, non secus atq. suum locum elementum genitum assequatur, cum ablatum fuerit impedimentum) ex repulsione maiorem impulsu adipiscitur. Quo fit, ut cum positio haec illa praestet quod bona quaestionis explicatio debet efficere : consentit. n. cum ratione, non oppugnat sensum : satisfacit omnibus problematis quae de re proposita quaeri possunt : et inhaerentium causas reddit : alacriter etiam a

nous avons appelés plus haut causes concomitantes du mouvement. Ainsi la lance est portée plus loin qu'un corps carré ; et une corde tendue, parce qu'elle reçoit mieux l'*impetus*, et le retient plus longtemps que la corde relâchée, vibre plus longtemps et frappe plus fortement. Si maintenant on leur demande pourquoi l'air, dans le jet, ne se meut pas indéfiniment, ils répondent que ce mouvement est communiqué par la pierre aux parties les plus proches et, par celles-ci, à d'autres, contiguës. Et que ce mouvement, ainsi que le dit Aristote lui-même, n'est pas un, car le mobile ne reste pas simplement un ; en outre, ce mouvement n'est naturel ni à la pierre, ni à l'air, mais leur vient du dehors, aussi se propage-t-il vers la circonférence, comme nous le voyons lorsque une pierre est jetée dans l'eau ; elle provoque au début des cercles plus petits, mais plus rapides ; ceci en raison de la proportion plus grande qui existe alors entre le mouvement et le mobile : en effet l'espace est franchi d'autant plus rapidement qu'il est moindre ; ensuite la pierre forme des cercles plus grands, mais plus lents, parce que l'espace augmente, et la proportion du mouvant au mobile diminue.

« Il en est de même de la pierre projetée en l'air ; aussi le mouvement devient-il plus lent, et, finalement, s'épuise. Alors, après un repos interposé, la pierre commence un mouvement naturel : parce que les mouvements sont soit contraires, soit répondent aux contraires ; aussi l'empêchement étant supprimé, le mobile se meut-il conformément à la nature. On peut expliquer également pourquoi une balle rebondit plus facilement que la pierre : en effet, dans son mouvement précédant la réflexion, elle est fortement comprimée ; après sa ré-

Latinis contra Arist. ipsum defendatur. Et quoniam ita potest in methodo naturali experientia, ut ceteris neglectis machinis ingenii et rationis, illi standum sit, statuamus ad opinionis huiusce confirmationem levissimam tabulam, ex qua torno, aut circino incidente orbis eximatur : ita ut sine mutuo attritu orbis ille intra illud cavum circumagi possit, et tabula alicubi defixa, vectis cum manubrio illi orbi infigatur, quod manubrium singulae utrinque furcillae, seu cervi sustineant. Tunc manifesto apparebit circumactum orbem intra illud spatium tabulae orbiculatum moveri à moto motore, nullo aëre impellente. Neque tunc, quia motus ille in orbem est, locus erit aëri impellenti. Nam quamvis aër inter orbem et tabulam existat, adeo est exiguus, ut nullas vires ad eum motum habiturus sit ; eoque maxime, quod ipsius orbis politissima laevitas ab aëre circumstante, neutiquam agitationis instigationem accipere valebit. Quom. laevius quid est, eo magis agglutinationem respuit.

Quamquam quid aliud erat, quod a nobis in hac caussa reddenda posset afferri, quam auctoritas ipsa Arist. qui aut hanc causam omnino recipit, aut si aliam probavit, evidentissima repugnantia concluditur ? Habet. n. Q. Mech. tantum ferri id quod fertur. i. proicitur et pellitur, quantum aëris moverit ad profundum, ideoque causam reddebat, cur neque magna nimis, neque valde parva proici possent. Monstrant haec omnia igitur impetum aëri in motu projectorum a movente primo non committi, contra q. ab ipso Arist. contra Platonem decretum fuerit. Ita magnum opus erit ; si summus ille praeceptor a calumniis hisce purgetur, id quod nos pro veritate ipsa mox aggrediemur, oppugnatores enim acerrimi sunt. »

flexion, elle se dilate ; ainsi recherchant la dimension innée (or, elle la recherche de la même manière que l'élément recherche son lieu natif, lorsque l'empêchement est supprimé) elle reçoit de la répulsion une impulsion plus grande.

« D'où l'on conclut que cette théorie possède tous les caractères d'une bonne explication de la question, c'est-à-dire qu'elle s'accorde avec la raison et ne contredit pas le sens : elle donne la solution de tous les problèmes étudiés et rend raison de tous les phénomènes inhérents ; aussi est-elle défendue vigoureusement par les latins contre Aristote lui-même.

« Et puisque dans la science de la nature telle est la puissance de l'expérience qu'il faut s'y ranger en négligeant tous les autres artifices de l'intelligence et de la raison, faisons l'expérience suivante... prenons une planche très polie. dans laquelle, au moyen d'un tour, ou d'un compas tranchant, nous découperons un orbe : de telle façon que, sans frottement mutuel, l'orbe puisse tourner dans la cavité, et, la planche fixée quelque part, qu'une manivelle soit adaptée à l'orbe et que cette manivelle soit soutenue par de petites fourchettes ou encoches. Alors il apparaîtra clairement que l'orbe tournant à l'intérieur de l'espace orbiculaire de la planche est mù par le mouvement du moteur, sans qu'aucun air ne le pousse. Car bien qu'entre la planche et l'orbe il y ait de l'air, il y en aura si peu qu'il n'aurait pas la force de produire ce mouvement ; ceci d'autant plus que la surface extrêmement lisse dudit orbe ne saurait recevoir aucune poussée de l'air environnant ; car d'autant que quelque chose est plus lisse, d'autant moins de prise il offre... »

Nous n'avons pas besoin d'insister sur l'intérêt de ce passage qui nous montre bien les traits essentiels de la science médiévale : union d'une métaphysique finaliste avec l'« expérience » du sens commun. Ce sont ces traits-là — que la science galiléenne rejettera tous les deux — que nous trouvons également dans l'analyse du problème de la chute.

Le problème du jet ne fut pas la seule *crux* des commentateurs anciens ou médiévaux de la physique d'Aristote. Celui de la chute des corps ou, plus exactement, celui de la chute *accélérée* en formait une autre, à peine moins redoutable.

Pourquoi, en effet, les corps tombent-ils avec une vitesse de plus

en plus grande ? Pour Aristote lui-même, le problème, à vrai dire, était à peu près inexistant. Le mouvement de la chute des corps lourds (ou, corrélativement, le mouvement d'élévation des corps légers) se faisant en vertu d'une tendance naturelle de l'objet d'arriver à son lieu « propre », quoi de plus « naturel » que de voir ce mouvement s'accélérer au fur et à mesure de son approche du but ?

Mais pour les commentateurs, surtout pour les commentateurs médiévaux, il y avait là un problème, et même un problème difficile. Confondant la notion aristotélécienne de « tendance » avec celle de « force », ils se demandaient avec beaucoup de raison comment se faisait-il qu'une cause constante (le poids), agissant d'une manière naturelle, produisait un effet variable ? D'où provenait l'accélération ?

Les réponses proposées par les commentateurs peuvent être, *grosso modo*, classées en deux groupes (1). Les aristotélécien cherchaient la solution soit dans une variation (diminution) de la résistance du milieu (de l'air), soit, appliquant au mouvement de la chute la théorie élaborée pour le jet, dans la réaction du milieu, provoquée par le mouvement lui-même, réaction dont l'effet s'ajouterait à celui de la pesanteur proprement dite (2).

Quant aux partisans de la physique de l'*impetus*, ils cherchaient la solution dans une variation de la force motrice — de l'*impetus* — animant le corps, dans une espèce de sommation de l'impulsion au mouvement. Cette solution, en l'absence de la notion d'inertie, était, à vrai dire, fondée principalement sur une équivoque verbale entre l'*impetus* : force motrice, et *impétuosité* : qualité ou propriété du mouvement. Le corps, ainsi pensait-on, acquérait en tombant une certaine *impétuosité*, et cette impétuosité de son mouvement, s'ajoutant à l'*impetus* naturel de la pesanteur, pouvait expliquer un accroissement de la vitesse

Mais adressons-nous, encore une fois, à Bonamico (3).

« ...Pourquoi les choses qui se meuvent selon la Nature se meuvent-elles plus rapidement à la fin qu'au commencement du mouvement ? Sur cette question beaucoup de choses ont été dites, tant à l'époque d'Aristote lui-même, que depuis lors, et jusqu'à nos jours. On en a

1. Là encore, c'est aux *Etudes* de Duhem que nous devons la connaissance de ces discussions.

2. Nous avons déjà noté que telle fut aussi la solution adoptée par Descartes

3. F. BONAMICI, *De Motu*, l. IV, cap. XXXVII, pp. 410 sq. : « Aggredimur questionem quae de clemente naturalis motus in fine disseritur. »

... facile reddi potest causa quaestionis illius : cur ea quae moventur secundum naturam

allégué des causes très nombreuses : d'une part, des causes *per se*, telles que la nature ou le lieu, et, d'autre part, des causes *per accidens*, telles que la suppression des obstacles, la chaleur raréfiante, une certaine gravité adventice, et cela séparément ou conjointement. Or ces explications sont suffisamment vraisemblables ; aussi, à moins d'avoir des yeux d'Argus, est-il facile de se tromper et nous faudra-t-il examiner les causes particulières avec beaucoup d'attention.

« Dans l'antiquité (car nous commencerons par rapporter les opinions et doctrines des Grecs), Timée, Straton de Lampsaque et Epicure estimèrent que, en vérité, toutes les choses étaient graves et que rien n'était léger par soi ; or, il y a deux termes du mouvement, l'un, le plus haut et l'autre, opposé à celui-ci, le plus bas ; mais l'un, à savoir le bas, est le lieu vers lequel toutes les choses tendent de par leur nature ; l'autre, par contre, est celui vers lequel elles sont portées par force ; ainsi, comme toutes les choses sont graves, elles se portent vers le bas de par leur nature ; et si l'une d'elles est plus bas ou plus haut, cela ne provient de rien d'autre que de ce que les corps les plus graves exercent une pression sur les moins graves, et, de ce fait, se placent au-dessous d'elles ; non pas que quelque chose soit réellement léger, et se porte vers le haut grâce à une tendance spontanée, mais les deux corps appartiennent au genre des graves. Si l'un d'eux apparaît léger, c'est que l'autre est plus lourd et celui-ci l'est moins ; or, parce que l'un d'eux est très lourd, il exerce une pression sur celui qui est moins grave et va au-dessous, et ce qui est moins grave, au-dessus ; ainsi le mouvement (vers le haut) se fait, en quelque sorte, par extrusion, parce que le grave, plus il est tel, plus il

ocys in fine moveantur, quam in principio motus. De qua sane quaestione multa dicta fuerunt tum Arist. ipsius temporibus, tum etiam usque ad haec nostra, causaeque complures allatae, cum per se, vel natura, vel locus, tum per accidens, ut impedimenti sublatio, calor rarefaciens, adventitia quaedam gravitas, atque haec vel seorsum vel coniunctim, eademque admodum verisimiles, ut nisi Argi oculos adhibeamus, facile decipi possimus. Idcirco praestat, ut singulas causas curiosius requiramus...

Nam antiquitas (etenim nos Graecorum sententias primum recitabimus). Timeus, Straton Lampsacenus et Epicurus existimaverunt, omnia quidem esse gravia, nihil per se leve : duos autem esse terminos motus, alterum supremum, atque alterum oppositum illi infimum, sed unum nempe deorsum et infimum esse locum in quem omnia properent secundum naturam ; alterum vero ad quem vi ferantur : etenim cum omnia gravia sint, deorsum suapte natura feruntur, quod si quis ex his inferius est, aut superius, hoc non aliunde proficisci quam, quod corpora graviora minus gravia premunt, et ideo subeunt illa, non quidem quia leve aliquid sit ; propterea suapte nixu sursum feratur, sed utraque corpora sunt in genere gravium ; alterum vero ex illis leve apparet, quoniam hoc gravissimum est, illud minus grave, et quoniam hoc gravissimum est, ideo premens illud quod est minus grave, subit ipsi, quod autem minus grave est, sic supereminet : quasi vero motus hic fit per

chasse et opprime celui qui est moins grave et cela d'autant plus rapidement. Ainsi, la vitesse de ce mouvement (vers le haut) ne dérive pas en vérité d'une cause interne, mais d'une externe et est violente, et nullement naturelle.

« Du reste, Aristote a fait la critique de ces doctrines, en partant des faits que le sens perçoit dans tout genre de mouvement ; il conclut qu'il y avait un mouvement naturel dans tous les corps, même (dans ceux qui vont) vers le haut, car là où une chose est mue par force, elle est mue plus rapidement, lorsqu'elle est plus petite que lorsqu'elle est grande ; en outre, tout ce qui est mû par force est plus rapide dans son mouvement au début de celui-ci ; mais lorsque l'*impetus* qui le meut s'évanouit, son mouvement s'arrête également, et un mouvement naturel lui succède ; celui-ci, au contraire, est plus lent au début, mais croît progressivement et c'est vers la fin qu'il devient le plus rapide ; car ce qui est porté quelque part par force, se meut à partir de là selon la nature. Or, nous voyons que dans le mouvement des éléments, par exemple, dans celui dont descend la terre, le mouvement est d'autant plus rapide que la masse est plus grande. De plus, nous voyons que la terre se meut au commencement plus lentement que par la suite ; qu'elle se meut le plus rapidement lorsqu'elle arrive à la fin du mouvement et que, enfin, lorsqu'elle arrive au centre, elle n'en bouge plus, à moins qu'elle n'y soit forcée ; il en est de même en ce qui concerne les choses qui se portent vers le haut. Ainsi donc, nous dirons que ces corps-là sont mus non par oppression ou extrusion ou, enfin, par quelque autre force, mais par nature.

« On pourrait dire cependant : que ce mouvement soit naturel, et

extrusionem, quare, quo gravius est, magis extrudit, magisque opprimens id quod est minus grave, eo etiam velocius fertur. Ob id velocitas huius motus non quidem ab interna causa derivabitur, verum ab externa, et erit violenta, non autem naturalis.

Ceterum in hos invecit est Aris. ab his quae monstrat sensus in aliquo genere motuum, atque conclusit nonnullum esse quoque motum naturalem in omni corpore et sursum etiam, tum quod ubi movetur aliquid vi, citius fertur, si minus sit, quam si fuerit minus, tum praeterea quia quicquid vi movetur in sui motus nitio velocius est ; evanescente vero illo moventis impetu, etiam deficit eius motus, ac naturalis illi succedit, qui quidem in principio segnior est, vegetior vero fit in progressu, ac postremum prope finem velocissime fertur : nam id quod aliquo fertur vi, movetur inde secundum naturam. At nos in elementorum motu, verbi gratia quando terra descendit, cernimus quo minus est illius moles, etiam ferri velocius. Praeterea conspiciamus ipsam initio segnius agitari, quam in progressu et tum velocissime concitari cum fuerit prope finem motus, atque ubidem pervenerit ad medium, ab ipso non moveri, nisi cogatur, idem quoque iudicandum de nonnullis quae sursum ferunt. Ergo non oppressione. aut extrusione, aut ulla denique vi moveri dicemus haec corpora, sed natura.

Veruntamen dicit quispiam. Esto motus hic naturalis, idemque in fine velocissimus,

aussi le plus rapide vers la fin, c'est ce qu'Aristote démontre très bien contre les anciens philosophes. Mais ceci ne nous livre aucune-ment la cause des phénomènes en question. Il reste donc à rechercher celle-ci. C'est là également une question dont on s'est beaucoup occupé. Aussi existe-t-il là-dessus sept théories différentes. Quant à la cause alléguée par Aristote, elle fut rejetée comme peu convenable.

« En effet, Hipparque (d'après ce que nous en dit Simplicius, dans un certain opusculé où il a tout particulièrement étudié ce problème) pensa que le mouvement naturel est plus rapide vers la fin, parce que, au commencement de son mouvement, le mobile est gêné par une force étrangère ; d'où il résulte qu'il ne peut pas exercer sa puissance native ; c'est pour cela qu'il se meut paresseusement ; plus tard, lorsque petit à petit cette force étrangère et extérieure s'évanouit, la puissance naturelle se rétablit et, en quelque sorte, libérée d'entraves, agit plus efficacement. C'est ainsi que les corps accélèrent progressivement leur vitesse ; processus tout à fait comparable à celui du refroidissement de l'eau fortement échauffée et éloignée du feu. En effet, au début, elle se refroidit insensiblement, et semble ne faire presque aucun progrès, mais lorsque la chaleur se fatigue, elle recouvre son ancienne faculté, se refroidit plus rapidement et, enfin, va si loin qu'elle finit par être beaucoup plus froide qu'elle ne l'avait été avant son échauffement. Il semble qu'Aristote lui-même n'a pas rejeté cette doctrine ; en effet, c'est sur de telles hypothèses qu'il s'appuie pour rechercher les causes de la grêle, en les prouvant par les expériences des pêcheurs.

« A Hipparque, Alexandre objecte ce qui suit : il y a deux raisons pour lesquelles les éléments se portent dans leurs lieux propres :

idque ab Aristotele contra philosophos illos optime sit conclusum. At non ob id huius eventui causam tenemus, haec ergo superest inquirenda in qua etiam multum est laboratum, atque adeo ut septem opiniones circumferantur, et causa quaedam ab Aristotele allata, tanquam parum idonea repudiata fuerit.

Namque Hipparchus ita referente Simplicio, in opusculo quodam, quo sigillatim disquirat hoc ipsum problema, censuit motum naturalem esse velociorem in fine, quia mobile prohibeatur aliena vi ab initio motus : ex quo efficiatur, ut vim suam nativam exercere non possit, ideoque pigerrime citetur : ceterum evanescente paulatim aliena illa, et extrinseca vi reficitur naturale robur, et quasi liberum impedimento efficacius operatur. Ita fieri ut gradum accelerent in progressu, non secus atque ubi conferbuerit aqua et amoveatur ab igne : namque ab initio paulatim tepescit, et vix ullum progressum facere videtur fatigante vero calore, pristinam facultatem recuperat, celerius refrigeratur et eo usque demum procedit, ut etiam longe frigidior evadat, quam ipsa foret ante calefactionem. A qua item sententia non abhorreere censeas Arist. ipsum qui tali hypothese nixus causas grandinis indagavit et experientia piscatorum ipsas approbavit. Nota res est.

Contra Hipparchum haec dixit Alexander. Cum. n. duae sunt causae propter quas elementa feruntur in propria loca : prima quidem, quando generantur ; namq. eo tempore

d'abord le fait que le lieu est reçu par eux en même temps que la forme, c'est-à-dire que le lieu appartient à leur constitution ; ensuite, le fait qu'ils n'y sont pas et qu'ils sont retenus en dehors de leur lieu (comme, par exemple, le feu dans la région de la terre) ; la suppression des entraves qui les retiennent en dehors de leurs lieux forme donc une seconde cause du mouvement. L'accélération s'explique par le fait que, lorsqu'ils sont engendrés dans un lieu qui n'est pas le leur, ils ne peuvent pas exercer leur faculté native, parce qu'ils sont imparfaits ; mais après que l'*impedimentum* est écarté, qu'est-ce qui les empêche de s'y précipiter selon le *summum* de leur nature ?

« C'est peut-être un bon argument contre Hipparque, mais il ne gêne aucunement notre position : parce que l'empêchement est toujours présent jusqu'à ce que les éléments soient dans leurs lieux propres et lorsqu'il est entièrement éliminé, ils ne se meuvent pas, mais reposent en leur lieu propre.

« Je ne sais pas ce qu'en pensèrent d'autres ; nombreux sont cependant ceux qui en vinrent à adopter cette doctrine.

« Simplicius lui-même admet que la vitesse augmente du fait que la résistance du milieu est moindre vers la fin du mouvement qu'au commencement ; parce que le mobile dont le mouvement approche de sa fin n'a plus qu'une partie moindre du milieu à franchir, qui, donc, résiste moins. En effet, telle est la condition des vertus qui sont dans la matière que, toutes choses égales, elles sont plus robustes dans les corps plus grands : or, le milieu résiste au mouvement ; c'est même là la cause pour laquelle dans le changement de place il se consomme

quantum contrahunt de forma tantundem etiam assequuntur de ipso ubi : altera vero quando iam genita extra locum proprium ab aliquo detineantur, quemadmodum ignis apud nos, et amoveatur impedimentum. Esto igitur quod cum gignuntur, quia tunc perfecta non sunt, non possunt exercere facultatem illam suam nativam ; at postquam a genitis arceatur impediens, quid illa vetat, quominus secundum summum suae naturae concitentur ?

Fortasse poterat hoc adversus Hipparchum, quia non urget id positionem nostram : eo, quod adest semper impedimentum, quousque fuerint in loco proprio, atque ubi remotum fuerit universum, iam non moventur sed in proprio loco quiescunt. Idcirco existimant alii nescio quod, multos autem in eam venisse sententiam.

Simplicius ipse testatur : eorum velocitatem ex illo amplificari, quod resistentia medii minor esset in fine motus, quam ab initio : quandoquidem minor medii portio relinqueretur a mobili superanda motu ad finem tendente, eaque minus resisteret. Talis n. est conditio virtutum, quae in materia consistunt, quod ceteris paribus in maiore corpore sunt robustiores : medium vero motui resistere, immo vero causam esse, cur tempus in loco mutando consumatur, ante docuimus quam ob rem ubi medium rarius est maior solet esse celeritas, atque adeo ut in vacuo non futurus sit motus. Attamen causa talis non est quam reddidit Arist. inquit augeri velocitatem in fine motus ex additione gravitatis, non autem ex eo, quod minor portio medii supersit. Sed quoniam revocatur hic locus in controversiam, ne forte petitionem principii committamus, etiam sic urgeamus illos. Quia maiori corpori ceteris paribus, ut puta figura,

du temps ; nous avons enseigné plus haut pourquoi là où le milieu est plus rare, la vitesse est plus grande et pourquoi dans le vide il n'y aura pas de mouvement. Toutefois, la cause alléguée par Simplicius n'est pas celle que donne Aristote, qui dit que la vitesse augmente dans la fin du mouvement par suite de l'addition de la gravité, et non du fait qu'il ne reste qu'une plus petite partie du milieu à franchir. Mais comme ce passage est controversé, nous n'en ferons pas usage, ce qui serait une pétition de principe, et nous leur opposerons en plus l'argument suivant : au corps plus grand *ceteris paribus*... résiste plus d'air qu'au plus petit.

« L'air résiste donc davantage au corps plus grand qu'au corps petit et cependant le corps grand descend plus vite que le petit. Donc la résistance du milieu ne peut être la cause pour laquelle le mouvement est plus faible au commencement. Ensuite comme c'est la même cause qui intervient lors du mouvement violent que lors du naturel, à savoir la diminution du milieu qui reste à franchir, elle devrait produire le même effet. Or, comme l'expérience ne le confirme pas, mais enseigne plutôt le contraire, il n'est pas croyable que telle soit la cause pour laquelle le mouvement naturel augmente vers sa fin.

« Chez les interprètes Latins (1) nous lisons que certains ont pensé que l'air s'échauffe par le mouvement ; s'échauffant, il devient plus rare et, par cela même, cède plus facilement aux choses qui se meuvent, à travers lui ; d'où il suit que, plus longtemps une chose se meut, plus elle échauffe le milieu, et d'autant plus elle le raréfie et le rend en outre plus apte à la raréfaction ; par là même le mouvement peut se faire toujours plus facilement et donc plus rapidement. Ainsi la flèche se mouvra-t-elle beaucoup plus rapidement en progressant, surtout si elle s'échauffe par le mouvement. Or, elle s'échauffe

et insigni parvitate molis, excepta, plus aeris obsistit quam minori. Nanque omnia haec motus evariare possunt, seu naturales sint, sive animales, sive etiam violenti...

Plus igitur aer obsistit majori corpori, quam minori, et tamen corpus maius citius delabitur quam minus. Non ergo medii resistentia potuit esse causa cur motus ab initio pigrior sit. Deinde quoniam causa eadem intercedit, medii nimirum imminutio ubi motus violentus sit, sicut etiam ubi naturalis, quare item effectus idem contingere plane deberet. Cum igitur hoc ipsa experientia non confirmet : sed oppositum potius doceat, credibile item non est eam esse causam cur intendat motus naturalis in fine.

1. F. BONAMICI, *De Motu*, l. IV, cap. xxxviii, p. 412 sq. : « Latinarum sententiae de cremento naturalis motus in fine ex ordine recitantur. Apud Latinos interpretes legimus opinatos fuisse nonnullos aerem a motu calefieri ; calefactum vero fieri rariorem : ob id cedere facilius iis quae per ipsum moventur, inde consequi unde quo longius aliquid moveatur, quia magis calefiat medium, et quoque rarefiat magis atque magis, subinde afficiatur ad rarefactionem. Quare per ipsum promptius, expeditius et denique velocius obiri possit motus. Ceterum

tellement, au témoignage d'Aristote, que si elle était en plomb, elle fondrait ; et pourtant, elle se meut en se ralentissant continuellement.

« Tout cela me paraît pervertir entièrement l'ordre de la nature. Car le mouvement est *avant* l'échauffement du milieu ; or, ceux qui tiennent pour l'opinion énoncée, mettent la raréfaction *avant* le mouvement et ainsi posent un effet qui par nature précède sa cause ; rien n'est, sans doute, plus inepte.

« Plusieurs interprètes attribuent la cause des effets de ce genre aux forces du lieu lui-même ; cependant, ils ne les conçoivent pas tous de la même façon, mais nous les voyons expliquer les forces du lieu de deux manières différentes. Certains, comme nous l'avons rapporté plus haut, estiment que le lieu possède la force de conserver le mobile. Or, par un appétit naturel, toutes les choses recherchent leur conservation, et c'est pourquoi les corps recherchent leur lieu naturel, comme étant le plus favorable à leur être...

« D'autres disent que dans le lieu se trouve une force d'attirer le mobile, comme dans l'aimant la force d'attirer le fer. Mais, pour dire quelque chose contre ces derniers, n'est-il pas vrai que, plus le corps est grand, plus il résiste aux forces attractives ? Sans doute. Par conséquent, les plus grands descendraient plus lentement que les plus petits. Ce n'est pas non plus d'une distance quelconque que se mouvrait une masse de terre, comme ce n'est pas d'une distance quelconque que le fer peut être mû par l'aimant, parce que la puissance d'une faculté naturelle est finie. Cette opi-

etiam multo velocius in processu sagitta movebitur : praesertim si ex motu concalefacta fuerit, quam, si plumbea sit ; ita excalefieri testatur Arist. ut eliquescat : nihilo secius eo segnius assidue movetur.

Praeterquam quod his mihi videntur ordinem naturae prorsus pervertere. Nam prius est motus quam calefactio medii ; ipsi tamen priorem faciunt rarefactionem quam motum, et idcirco ponunt effectum qui suae causae natura praecedat, quo certe nihil ineptius.

Tribuunt complures huiusmodi eventui causam viribus ipsius loci quas tamen interpretes non eodem modo omnes accipiunt, sed duobus modis ipsos de viribus loci differere comperimus. Aliqui, quemadmodum supra nos constituimus quia locus habeat vim conservandi mobile : omnia vero appetitu naturalis suam ipsorum conservationem quaerant ; ex hoc effici ut plantae et animalia magis hoc quam illo coelo fruantur ; is autem esse debet huiusmodi, ut partim similis sit, ut ab eo locati materia conservetur partim contrarius ut emendetur exuperantia.

Sic unumquodque elementum cum illo cui contiguum est, in altera qualitate convenit, in altera vero differt, quod sane ab Averroë videtur, exceptum qui locum appeti dicebat a mobili, tanquam finem motus et quod in ipso sit eius quies. Alii dicunt in loco vim inesse trahendi mobile, quemadmodum est in magnete vis attrahendi ferrum. At ut aliqua contra posteriores dicamus. Nonne quo maius est corpus, eo quoque magis viribus attrahentis resistit ? Utique. Ergo maiora descenderent tardius quam minora. Neque item ex quacunque distantia moveretur gleba terrae, sicuti nec ex quacunque distantia ferrum moveri potest a magnete,

nion, en outre, détruirait la force des raisons aristotéliennes en vertu desquelles on admet que, du centre d'un autre monde, si éloigné soit-il, la terre se porterait vers le centre du nôtre, car elle ne se mouvrait pas ici, à moins que la faculté tractrice qui est dans le milieu du nôtre ne puisse y parvenir... Or, bien que la valeur de cet argument, ne soit pas grande, cependant il vaut contre ceux qui concèdent au lieu une force attractive.

« Si tu ajoutes la propension, tu te réfutes toi-même.

« Contre Averroës certains objectent, bien qu'en alléguant un argument fallacieux, que ce qui manque le plus est aussi le plus désiré. Mais le lieu manque davantage lorsqu'on en est loin que lorsqu'on en est près. En effet, plus une chose est loin de son lieu et de sa forme, d'autant plus rapidement elle y avance et s'y rend. Mais, certes, ceux qui raisonnent ainsi ne voient pas que l'appétit, qui est la cause du mouvement, est plus grand dans la matière qui est plus près que dans celle qui est plus loin du but. Ainsi, la plante ne désire pas la vue, ni la taupe la lumière, tandis que l'homme, s'il était aveugle, les désirerait par-dessus tout, parce qu'il est tout près de la vision ; de même la matière ne désire pas un bien qu'elle ne peut éprouver, et parmi ceux qu'elle peut éprouver, elle désire ceux qui lui sont plus proches. Cela se passe, à mon avis, tout à fait comme chez l'amant qui attend son amie, et qui, plus l'heure est proche, la désire davantage, tellement qu'une heure lui paraît un temps très long...

cuiusque enim facultatis naturalis robor finitum est. Quare nec ullum esset robor Aristotelicarum rationum quibus acceptum est, e centro alterius mundi, quantumvis distaret ad centrum nostri ferri posse terram. Neque. n. moveretur huc nisi trahendi facultas, quae inest in medio nostri, posset eo pervenire. In caeteris vero, nisi per certum spatium procedere non appareret ; in quibuscumque eveniat id nisi ratio varietatis elferri possit, idem omnino iudicium faciendum sit. Et quamvis antea docuerimus quantum sit illi rationi tribuendum ; tamen valeat apud eos, qui vim loco undecunque trahendi concedunt.

Quod si propensionem adieceris ; iam tecum ipse confliges.

Contra Averroë invehuntur nonnulli, quanquam argumento fallaci, dicentes, quo magis caret res, eo quoque magis appetere. Sed tum caret magis, ubi longius absit quam ubi prope. Ubi igitur aberit longius ipsa res a suo loco, suaeque forma tanto quoque citius eo properabit, atque perveniet. Sed certe non vident isti, appetitum, qui causa motus est, esse maiorem in ea materia, quae propinquior est, quam in illa, quae longius a fine abest. Nam sicuti planta non appetit visum, neque talpa desiderat lumen, homo autem si fuerit caecus, appetit maxime, quia prope est, ut videat ; sic materia, nisi bonum experietur quod ipsi per affectiones praevias offert efficiens, illud non appetit. Tum magis appetit, quo magis ipsi obicitur, tum vero obicitur ; magis, quo magis affecta, et propecta est in potentias propinquiores. Nec secus accidit, ut mea fert opinio, ac in amatoribus qui puellam expectantes, quo vicinior est hora, magis anguntur et hora una pro longissimo tempore habetur. Nec ab huiusmodi sensu abhorret iudicium Arist. quod item in iis qui usu comparantur, profectum in forma docet habilius reddere subiectum ad motum ; tanto magis in natura ; quanto etiam subiectum habet in seipso propensionem. Semper. n. bene mobilior, inquit, ad virtutem fit etiam quodcumque incrementum sumpserit a principio.

« Je ne vois pas comment les auteurs de cette théorie pourraient éviter de conclure que, puisque la puissance (motrice) est plus grande (au début) du mouvement, (les corps) doivent se mouvoir plus rapidement (à ce début) ; en fait, imprudemment, ils ont commis l'erreur de confondre les degrés de la privation et ceux de la puissance, comme s'ils étaient liés ensemble. Car il est parfaitement vrai qu'au commencement, il y a plus de privation, (par contre), il y a moins de puissance (active), et par la suite la puissance s'amplifie, mais la privation décroît. Ainsi, comme on le montrera ailleurs, ils confondent la latitude de la puissance avec le degré ; en effet, la latitude de la puissance est plus grande au début du mouvement, (ainsi la distance entre le suprêmement chaud et le froid de huit degrés), mais le degré de puissance est plus grand ensuite, car ce qui a cinq degrés de froid devient plus facilement suprêmement froid que ce qui est suprêmement chaud ; ainsi donc, la puissance et la propension augmentent non point selon la latitude, mais selon le degré...

« Venons maintenant à d'autres arguments.

« Certains pensent que l'efficacité, en général, doit être attribuée au degré de la forme, et non à la quantité de la matière (pour nous, nous ne le croyons pas), car le degré d'appétition est le même dans le plus ou moins grand morceau ; il en résulterait donc nécessairement que les deux devraient se mouvoir avec le même degré (de vitesse) ; car on peut poser dans chacun le même degré d'appétition comme s'ils étaient dans le même degré de puissance ou de perfection. Or, c'est cela qui importe. Cette théorie est cependant imparfaite, bien que la cause alléguée par ces auteurs nous paraisse être vraie. En effet, la vitesse n'est pas déterminée par cette cause seule, mais beaucoup d'autres en dehors de la fin, y contribuent également ;

Nec video quemadmodum auctores huius rationis evitare possint, quin ab initio cum maior adsit potestas; velocius etiam concitentur, sed imprudentes in eolapsi sunt, quod parem gradum privationis et potentiae fecerint, tametsi una existunt. Et illud plane verum ab initio plus privationis inesse, sed minus potestatis; in progressu amplificari potentiam, quia privatio minuatur et ut alibi ostendetur commutant latitudinem potestatis cum gradu: maius est. n. ab initio motus spatium potestatis, ut in summe calido ad frigidum ut octo, in processu maior gradus: nam facilius summe frigidum flet quod frigidum est, ut quinque, quam summe calidum, amplificatur ergo potestas atque propensio non propter latitudinem, sed propter gradum. Ideo tantum huic tribuatur argumento quantum quisque patitur. Quam ob rem veniamus ad alia.

Quam vero nonnulli putant, efficacitatem universam esse tribuendam gradui formae, non autem multitudini materiae (quanquam nos ita non credimus) quia par gradus appetitus est in maiore, et minore gleba; necesse item fuerit, utrasque pari gradu concitari, parem vero gradum appetitus in utraque ponere licet, ut si fingantur utraque in eodem esse gradu perfectionis, aut potestatis. Sed illud apud nos plurimum valet. Quoniam imperfecta est haec opinio, quamvis causam ab eius auctoribus allatam veram esse concedamus. Neque

à savoir, la cause efficiente, et d'autres principes encore ; ainsi la suppression de l'obstacle, et la nature même du mobile ; toutes ces causes deviennent par accident des causes du mouvement.

« S. Thomas et après lui Albert de Saxe pensèrent que dans les éléments il y a une gravité et une légèreté doubles : l'une qu'ils disent être *per se* et naturelle, et une autre qu'ils estiment adventice ; celle-ci, disent-ils, résulte de la puissance génératrice et conserve l'objet en son propre lieu, celle-là s'acquiert dans le processus du mouvement et c'est grâce à cela que les corps naturels se meuvent avec un *impetus* qui augmente progressivement. Et qu'il en soit ainsi, en vérité, ils le démontrent par les expériences que nous avons alléguées plus haut ; notamment lorsque nous enseignâmes que, même dans l'absence du moteur se conserve dans le mobile une certaine force par laquelle le mobile est poussé, tout de même que si le premier moteur était présent. C'est pourquoi dans l'absence de l'impulsion du premier moteur, le mouvement se fait uniquement parce que dans le mobile reste une certaine force, grâce à laquelle il se meut du même mouvement qu'auparavant. Il est vrai cependant que cette force est étrangère et adventice, et qu'elle s'épuise continuellement, mais dans les choses qui se meuvent selon la nature elle augmente ; c'est pourquoi elles vont plus rapidement...

« Que si l'on demande aux auteurs de cette théorie d'où provient et ce qu'est cet *impetus*, ils répondent à cette dernière question qu'il est une certaine gravité, et une véritable puissance et justement une puissance de mouvoir. A la première ils répondent que cette puissance provient de la forme par le mouvement. Il semble cependant que dans l'étude de cette question les partisans de cette opinion confondent encore une fois la cause avec l'effet. En effet,

enim administratur ille motus ab ea causa solum, sed aliae multae concurrunt praeter finem: efficiens. s. et alia principia per accidens, ut removens impedimentum et ipsa mobilis rei natura quae cuncta motus in actu causa sunt.

Divus Thomas et post ipsum Albertus Saxon. arbitrati sunt, geminam esse gravitatem, ac levitatem in elementis: alteram sane quam inquirunt esse per se et naturalem atque alteram quam adventitiam reputant, illam inquirunt, sequi vim generantis et in proprio loco servari, hanc in processu motus acquiri ex eoque fieri, ut maiore impetu moveantur in processu corpora naturalia. Rem vero sic esse persuadent experientiis illis, quae supra a nobis allatae sunt, cum doceremus etiam in absentia moventis adhuc in mobili conservari vim quandam a qua mobile concitetur, ac si primum movens adesset. Igitur intermisso primi moventis impulsu fit adhuc motus, non ob aliud, nisi quod etiam superest in ea vis quaedam, propter quam eodem motu cietur quo pridem movebatur. Verum quoque aliena est illa vis et adsciticia, remittitur assidue, sed in iis, quae secundum naturam moventur, amplificatur: idcirco velocius agitantur. Ita quando nos cursum maiore quodam nixu arripimus, etiam in eius fine vix continere nos possumus.

Quod si quis interroget auctores huius opinionis: undenam proficiscatur, et quid impetus

on cherche la cause de la vitesse dans le mouvement ; et ils disent que cette cause est une faculté ou une aptitude. Mais si, inversement, tu leur demandes d'où provient cette aptitude, ils disent qu'elle provient du mouvement. Or, celui-ci est considéré soit comme rapide, soit simplement comme mouvement ; si on le pose *simpliciter*, le mouvement sera donc lui-même la cause de sa propre vitesse ; et il en est de même si on le pose comme rapide. Encore une fois donc, on pose comme cause ce que dans cette question ils supposent eux-mêmes être un effet.

« Parmi les modernes, Lodovico Buccafiga estime que le mobile ébranle et, en quelque sorte, presse le milieu tout entier de la même manière dont il ébranle et pousse la première partie du milieu. Celle-ci, après cela, communique son mouvement aux parties contiguës ; et le mobile est porté par celles-là, ainsi ébranlées. Et comme elles précèdent le mobile, le mouvement de celui-ci est rendu plus facile. Mais comme à la fin du mouvement l'*impetus* animant le mobile est plus grand, l'air est également plus apte à recevoir du mouvement. D'où il résulte que le mouvement devient plus rapide vers la fin.

« D'autres ajoutent en plus l'impulsion de l'air qui, en suivant continuellement le mobile, l'expulse. Ce qui fait que son mouvement devient plus rapide. Ce que l'on confirme habituellement en alléguant de nombreux passages d'Aristote, tirés autant du huitième livre de la *Physique* que du quatrième du *De Coelo*, dans lesquels il est fait mention de cette impulsion. Le contexte d'Aristote s'oppose cependant à cette interprétation. Car il dit que le mouvement devient plus

iste sit. Ad hoc respondent ipsum esse qualitatem quandam, atque illam quidem potestatem quippe potestatem ad motum, ad illud vero dicunt ; eam a forma comparari per motum. Attamen in exponenda quaestione huiusce causae videntur ipsam iterum cum effectu commutare : quaeritur, n. causae velocitatis in motu ; eam vero dicunt ipsi facultatem esse, atque habilitatem, si rursus eos interroges, undenam habilitas ista proficiscatur : aiunt a motu, hic autem, aut accipitur, quatenus velox, aut simpliciter, quod si simpliciter accipitur : ergo motus ipsemet erit sibi causae suae velocitatis, quod si quia velox. Erit igitur causae, quam tamen ipsi quaestioni pro effectu supponunt.

Inter iuniores Lud. Buccafiga statuit mobile agitare et quasi impellere medium ea ratione quia primam medii partem commoveret, atque propelleret. Haec vero postea contiguus suum motum communicaret. Ab his autem ita commotis mobile ipsum ferri. Quoniam vero mobili prevenerit, reddere motum eius faciliorem. Sed cum in fine motus impetus maior a mobili comparatus sit, aer etiam magis affectus ad excipiendum motum : hinc fieri ut velocior ille motus in fine reddatur.

Addunt alii praeter haec aeris illius impulsus qui iugiter mobili succedens ipsum magis expellit, ideoque efficit, ut eius motus sit velocior, corrogant hic more consueto loca multa ex Arist. cum ex 8 Phys. tum etiam ex 4 de Coelo, quibus de hoc impulsu mentio facta est, ut opinionem suam confirment. Quoniam vero contra faciunt verba contextus Aristotelici quibus significatur ex additione gravitatis fieri motum velociorem in fine ; respondent hanc non esse veram mentem Aristotelis, sed eum ita pro hominum vulgare opinione fuisse locutum, neque

rapide vers la fin à cause de l'addition de la gravité ; à cela ils répondent que ce n'est pas là la pensée véritable d'Aristote, mais qu'il n'a parlé ainsi que pour le vulgaire, et ils n'acceptent pas sur ce point l'autorité des textes d'Aristote. D'ailleurs nous traiterons de la vérité de ces passages en son lieu. Entre temps, nous allons montrer que la doctrine qu'ils enseignent, est fautive. Car, tout d'abord, ils nous semblent tomber dans la même absurdité que S. Thomas et Albert qui admettent l'*impetus* adventice comme cause de la vitesse, c'est-à-dire, ils confondent l'effet avec la cause ; en effet, ils font de l'impulsion de l'air la cause de la vitesse, bien que cette impulsion provienne du mobile. En outre, on peut se demander d'où les mobiles tirent-ils la force de pousser l'air et de le pousser d'autant plus qu'ils se meuvent plus longtemps. Or, comme l'impulsion plus grande vient d'une plus grande vitesse, la cause de ce phénomène ne sera donc pas l'impulsion, comme ils le disent, mais la vitesse. Et, en dernière analyse, cette cause sera la gravité, qu'ils répudient : car ce qui se meut plus rapidement est plus grave, et si le milieu est opprimé davantage, c'est par la gravité ; celle-ci agira davantage dans le sujet qui est grave ou léger *simpliciter*, que dans celui qui n'est tel que d'une certaine manière. En vérité, si cette gravité ou vitesse n'est qu'adventice, pourquoi ne diminue-t-elle pas progressivement ? Il s'y ajoute encore que les parties du milieu poussent autant qu'elles sont poussées, et ceci d'autant moins qu'elles sont plus éloignées de la vertu mouvante. En effet, un moteur naturel s'affaiblit progressivement, à moins qu'il ne conduise l'objet à sa forme, ce qui, certes, n'est pas le cas de cette vertu adventice. »

Bonamico explique ensuite pourquoi le phénomène du vent ne s'oppose pas à cette proposition (1) : c'est que le vent est quelque chose

ullo modo recipiunt auctoritatem Aristotelis in eo loco. Caeterum de loci illius veritate mox : interea monstremus eam esse falsam quam ipsi profitentur. Primum. n. in idem absurdum videntur incidere, atque D. Thomas et Albertus, qui impetum illum adventitium causam esse velocitatis asseverant, nam cum effectu causam commutant : siquidem velint impulsus aeris huiusce rei causam esse, qui quidem fit a mobili. At quaerere licet, undenam mobile vim habeat impellendi aerem et magis impellendi, quo longius fertur. Et cum maior impulsus sit ex maiore velocitate, causae igitur eius eventui non erit impulsus, ut aiunt, sed velocitas. Et quomodocumque erit gravitas quam ipsi repudiant, nam quod velocius agitur, est gravius quod item medium magis opprimatur est ex gravitate, quae item magis operabitur in eo subiecto quod est grave aut leve simpliciter, quam in eo quod est tale quodammodo. Verum sit haec adscititia quaedam velocitas, seu gravitas. cur in processu non minuitur ? Accedit eodem quod pari pacto pellunt partes medii quo pelluntur, et minus in progressu quod magis distant a virtute movente : naturale. n. movens in progressu debilitatur, nisi afficiat ad formam, quod sane huic adscititiae virtuti non conceditur.

1. *Ibid.* : « Obiciat hic ventos qui vires acquirunt eundo, et velociores vehementioresque

de très complexe et se compose du mouvement de l'air et de celui des exhalaisons, qui, lui, est la cause véritable de la vitesse du vent. Aussi estime-t-il que, généralement parlant l'*impetus* adventice ne peut expliquer l'accélération, puisqu'il en résulte, et qu'il faut au contraire en admettre un qui soit dans le mobile avant tout mouvement. « De plus, est-ce qu'Aristote ne rejette pas les affirmations de ceux qui posent que c'est l'impulsion qui rend le mouvement plus rapide, parce que dans ce cas-là il se ralentirait vers la fin et nullement n'augmenterait de vitesse, et parce qu'un mobile plus petit serait entraîné plus facilement qu'un plus grand. Il semble donc que la gravité est cause de la vitesse, parce que ce qui est plus grave tombe plus rapidement. Et si, en maints endroits, Aristote place cette impulsion dans l'air, c'est que c'est celle dont la nature se sert dans le mouvement des projectiles ; mais nous traitons ici du mouvement naturel. Je conclus donc que, tout en essayant de soutenir que le mouvement appartient à l'élément *per se*, ils donnent au mouvement une cause qui meut par accident : ils veulent en effet que le mobile soit mû par le milieu. Or ceci est une vection et celle-ci est un mouvement par accident. Aussi lorsqu'ils veulent s'écarter d'Aristote tombent-ils dans l'erreur. »

Le bel exposé de Bonamico nous offre un tableau instructif des difficultés, et des critiques, que rencontrait la physique aristotélicienne. Il n'est, cependant pas toujours très exact (1) ; ni très

fluit. An eius eventus causa non habet locum in elemento ; siquidem eius motionis quam vulgus ventum vocat, duae sunt partes, prima quae vere ventus est, exhalatio videlicet, quae propter diversa principia motus agitur in latus et quodammodo praeter naturam. Altera est aer contiguus et movetur quidem aer ea velocitate qua cietur exhalatio et in principio vehementius ; eius signum quod apud nos die prima boreae sunt vehementiores : at vero propter continuitatem aeris in progressu multae partes eius concitantur ; itaque maior est motus, neuiquam tamen velocior nisi forte in angustum contrahantur, cumque contineri nequeant magno impetu erumpant, aut quod cum in angusto parva materiae copia consistat, ab eadem vi vehementius agatur. Non igitur aer commotus agit velocius exhalationem, sed ab ea semper agitur. Ergo etiam in motu elementi non magis agent elementum, quam ab ipso agatur. Quam ob rem impetus in mobili praecedat oportet. Praeterea nonne relictis Aristoteles illorum dicta qui putant impulsam facere motum velociorem, quod in fine langeret, non autem augeretur et quia facilius impelleretur mobile minus, quam maius ? Videtur etiam gravitas esse causa velocitatis, quoniam id quod gravius est, fertur velocius. Quod sicubi impulsam illum in aere collocavit Arist. ille est quo natura utitur in motu projectorum : at nos de motu naturali nunc agimus. Mitto quod dum student defendere motum illum in elemento per se inesse, causam faciunt quae moveat per accidens : volunt enim mobile a medio ferri : atqui haec est vectio ; ea vero est motus per accidens. Ita fit ut cum ab Aristotele discedere cupiunt, turpissime quoque labantur. »

1. Ainsi il attribue à saint Thomas, aristotélicien de la plus stricte observance (cf. *Comment. in quatuor libros de Coelo*, lib. III, lect. 7), les doctrines d'Albert de Saxe.

complet (1) ; ni pour le moyen âge ; ni même en ce qui concerne les modernes. Ainsi, s'il mentionne Buccafiga, s'il copie Scaliger (2), il ne dit mot ni de Tartaglia, ni de Cardan, ni même de Benedetti. Or si, à la rigueur, on peut admettre que Cardan (qui adopte dans des ouvrages différents deux points de vues contradictoires) et même Tartaglia, n'ont pas apporté grand'chose à la physique de l'*impetus*, il n'en est pas de même en ce qui concerne Benedetti ; aussi devons-nous lui consacrer quelque attention.

3. La physique de l'*impetus* : Benedetti

Jean Baptiste Benedetti (3) est un partisan résolu de la physique « parisienne ». Comme ses devanciers, il estime que la théorie aristotélicienne du jet ne vaut rien. Ainsi, nous dit-il, (4) « Aristote, à la fin du 8^e livre de la *Physique* estime que le corps mû par force,

1. Les discussions médiévales sur la nature du mouvement et de l'accélération sont d'une richesse et d'une complexité bien plus grande que Bonamico ne laisse supposer. Cf. les ouvrages cités *supra*, pp. 10 et 15.

2. Le passage sur la petite roue tournant dans une cavité orbiculaire est textuellement emprunté à J. C. SCALIGER, *Exotericarum exercitationum liber XV, De subtilitate ad Hieronymum Cardanum*, Lutetiae MDLVII, exercitatio XXVIII, *De motu projectorum*. Cf. Duhem, *Études sur Léonard de Vinci*, v. III, p. 200.

3. J. B. BENEDETTI est relativement mieux connu que ces contemporains et prédécesseurs, cf. K. LASSWITZ, *Geschichte des Atomismus*, vol. II, pp. 14 sq. ; G. VAILATI, « Le speculazione di Giovanni Benedetti sul moto de gravi » in *Rendiconti dell'Accademia Reale delle scienze di Torino*, 1897-1898, reproduit dans *Scritti*, Leipzig-Firenze, 1911 ; E. Wohlwill « Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes » in *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, etc., v. XV, p. 394 sq. ; G. Galilei und sein Kampf für die Kopernikanische Lehre, v. I, p. 111 sq. ; P. Duhem, *De l'accélération produite par une force constante*. Congrès International d'Histoire des Sciences, III^e Session, Genève, 1906, p. 885 sq. ; *Études sur L. de Vinci*, v. III, p. 214 sq. ; G. Bordiga, « G. B. Benedetti » in *Atti de R. Istituto Veneto*, 1925-1926.

Cependant, bien que mieux connu, il ne l'est pas suffisamment. Aussi avons-nous cru devoir lui consacrer quelques pages.

4. J. B. BENEDICTI, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, Taurini, 1585, p. 184 : « Aristoteles in fine. 8. physicorum sentit corpus per vim motum et separatim a primo movente, moveri aut motum esse per aliquod tempus ab aere, aut ab aqua, quae ipsum sequuntur. Quod fieri non potest, quia imo aer, qui in locum desertum a corpore subintrat ad fugandum vacuum, non solum hoc corpus non impellit, sed potius id cohibet a motu, quia aer per vim a corpore ducitur retro, et divisus a parte anteriori a dicto corpore, resistit similiter et quantum dictus aer in dicta parte condensatur, tantum in posteriori rarefit, unde per vim sese rarefaciens non permittit, ut dictum corpus cum ea velocitate fugiat, cum qua aufugeret, quia omne agens in agendo patitur. Quam ob rem cum aer a dicto corpore rapiatur, corpus quoque ipsum ab aere rapitur. Huiusmodi autem rarefactio aeris naturalis non est, sed violenta ; et hanc ob causam resistit, et ad se trahit, sed non sufferente natura, ut inter unum et aliud ex dictis corporibus reperitur vacuum ; idcirco sunt haec semper contigua et mobile corpus aere deserere cum nequeat, eius velocitas impeditur. Huiusmodi igitur corporis separatim a primo movente velocitas oritur quadam naturali impressione ex impetuositate recepta a dicto mobili, quae impressio et impetuositas, in motibus rectis naturalibus continuo crescit, cum perpetuo in se causam moventem, id est propensionem eundi ad locum ei a natura assignatum habeat. »

et séparé du premier mouvant, se meut ou est mû pendant quelque temps par l'air, ou par l'eau, qui le suivent. Ce qui ne peut pas se faire, car l'air qui, pour fuir le vide, pénètre dans le lieu abandonné par le corps, non seulement ne pousse pas le corps, mais plutôt le retient ; en effet, [lors d'un tel mouvement] l'air est, par force, repoussé par le corps et séparé par lui de sa partie antérieure ; aussi lui résiste-t-il ; en outre, autant l'air est condensé dans la partie antérieure, autant devient-il plus rare dans la partie postérieure. Ainsi, se raréfiant par violence, il ne permet pas au corps d'avancer avec la même vitesse avec laquelle il s'est élancé ; car tout agent pâtit en agissant. C'est pourquoi, lorsque l'air est entraîné par le corps, le corps lui-même est retenu par l'air. Car cette raréfaction de l'air n'est pas naturelle, mais violente ; et pour cette raison, il lui résiste, et tire le mobile vers soi, car la nature ne souffre pas que, entre l'un et l'autre de ces corps [c'est-à-dire, entre le mobile et l'air] il y ait un vide ; aussi sont-ils toujours contigus, et comme le mobile ne peut pas se séparer de l'air, sa vitesse en est entravée. »

Ainsi, ce n'est pas la réaction du milieu qui explique la vitesse amoindrie du projectile ; bien au contraire, cette réaction ne peut que l'entraver. Quant au mouvement lui-même, qu'il soit violent ou naturel, il s'explique toujours par une force motrice immanente au mobile (1). « Tout corps grave, qu'il se meuve naturellement ou violemment, reçoit en lui-même un *impetus*, une impression du mouvement, de telle sorte que, séparé de la vertu mouvante, il continue à se mouvoir de lui-même, pendant un certain laps de temps. Lors donc que le corps se meut d'un mouvement naturel, sa vitesse augmentera sans cesse ; en effet, l'*impetus* et l'*impressio* qui existent en lui croissent sans cesse, car il est constamment uni à la vertu mouvante. De là aussi il résulte que si, après avoir mis la roue en mouvement avec la main, on enlève la main, la roue ne s'arrête pas tout de suite, mais continue de tourner pendant un certain temps. »

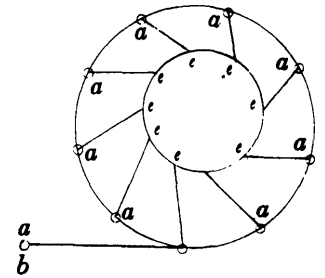
1. J. B. BENEDETTI, *Ibid*, p. 286 : « *Epistola*, Illustr. Joanni Capra Novarensi Sabaudiae Ducis..., *De revolutione rotæ putealis et aliis problematibus*. Omne corpus grave, aut sui natura, aut vi motum, in se recipit impressionem et impetum motus, ita ut separatim a virtute movente per aliquod temporis spatium ex seipso moveatur ; nam si secundum naturam motu cieatur, suam velocitatem semper augebit, cum in eo impetus et impressio semper augeantur, quia coniunctam habet perpetuo virtutem moventem. Unde manu movendo rotam ab eaque ; eam removendo, rota statim non quiescet, sed per aliquod temporis spatium circumvertetur » ; cf. le texte cité *supra*, in fine et p. 184. cap. XXIV. « *Disputationes de quibusdam placitis Aristotelis*. Idem vir gravissimus an bene senserit de motibus corporum violentis et naturalibus : Huiusmodi igitur corporis separatim a primo movente velocitas oritur a quadam naturali impressione, ex impetuositate recepta a dicto mobili. »

Qu'est-ce que cet *impetus*, cette force motrice, cause du mouvement immanent au mobile ? C'est difficile à dire. C'est une espèce de qualité, puissance ou vertu qui s'imprime au mobile ou, mieux, qui l'imprègne, du fait, et par suite, de son association avec le moteur (qui, lui, la possède), du fait et par suite de sa participation au mouvement. C'est aussi une espèce d'*habitus* qu'acquiert le mobile, et cela d'autant plus qu'il est *plus longtemps* soumis à l'action du moteur. Ainsi, par exemple, si une pierre est lancée par la fronde plus loin qu'elle n'est jetée par la main, c'est parce qu'elle fait dans la fronde des révolutions *nombreuses*, ce qui l'« impressionne » davantage... (1)

« La raison véritable pour laquelle un corps grave est lancé plus loin par la fronde que par la main, la voici (2) : lorsqu'il tourne dans la fronde, le mouvement produit dans le corps grave une plus grande impression de l'*impetus* que ne le ferait la main ; de telle façon que le corps libéré de la fronde, guidé par la nature, poursuit son chemin par une ligne contiguë à la rotation qu'il fit en dernier lieu. Et il ne faut pas mettre en doute que la fronde peut imprimer au corps un *impetus* plus grand, car par suite des révolutions nombreuses le

1. *Ibid.*, p. 160.

2. J. B. BENEDETTI, *ibid*. *De Mechanicis*, cap. XVII, p. 160 : « Veraratio cur multo longius corpus aliquod grave impellatur funda, quam manu, inde oritur, quod circumvolvendo fundam, maior impressio impetus motus fit in corpore gravi, quam fieret manu, quod corpus liberatum deinde cum fuerit a funda, natura duce, iter suum a puncto, a quo prosiliit, per lineam contiguam giro, quem postremo faciebat, suscipit. Dubitandumque non est, quin dicta funda maior impetus motus dicto corpori imprimi possit, cum ex multis circumactibus, maior semper impetus dicto corpori accedat. Manus autem eiusdem corporis motus, dum illud ipsum circumvolvitur (pace Aristotelis dixerim) centrum non est, neque funis est semidiameter. Immo manus quam maxime fieri potest in orbem cietur ; qui quidem motus in orbem, ut circumagatur etiam ipsum corpus, cogit, quod quidem corpus, naturali quadam inclinatione, exiguo quodam impetu jam incepto vellet recta iter peragere, ut in subscripta figura patet, in qua e significat manum, a corpus, ab lineam rectam tangentem girum aaaa quando corpus liberum remanet. Verum quidem est, impressum illum impetum, continuo paulatim decrescere unde statim inclinatio gravitatis eiusdem corporis subingreditur, quae sese miscens cum impressione facta per vim, non permittit ut linea ab longo tempore recta permaneat, sed cito fiat curva, cum dictum corpus a duabus virtutibus moveatur quarum una est, violentia impressa, et alia natura, contra opinionem Tartaleae qui negat corpus aliquod motibus violento et naturali simul et semel moveri posse. Neque est silentio prætereundum hac in re quidam notatu dignus effectus qui eiusmodi est quod quanto magis crescit impetus in corpore a causatus ab augmento velocitatis giri ipsius e tanto magis oportet, ut sentiat se trahi manus a dicto corpore a. mediante fune, quia quanto maior impetus motus ipsi a est impressus, tanto magis dictum corpus a, ad rectum iter peragendum inclinatur, unde ut recta incedat tanto maiore quoque vi trahit. »



corps reçoit un *impetus* toujours plus grand. Quant à la main, tant qu'elle fait tourner le corps, elle n'est pas le centre de son mouvement (quoi qu'en dise Aristote), et la corde n'est pas le semi-diamètre. » Ce qui veut dire que la circularité du mouvement alléguée par Aristote ne fait rien à l'affaire. D'ailleurs, le mouvement circulaire produit dans le corps un *impetus* à se mouvoir *en ligne droite*. « Or, cet *impetus impressus* décroît continuellement, et petit à petit, l'inclination de la gravité s'y glisse, laquelle, se composant (se mélangeant) avec l'impression faite par la force, ne permet pas que la ligne *ab* reste droite pendant longtemps ; bien vite elle devient courbe, parce que le corps en question est mû par deux vertus, dont l'une est la violence imprimée, et l'autre, la nature. Ceci contrairement à l'opinion de Tartaglia qui nie qu'un corps quelconque puisse être mû simultanément par des mouvements naturel et violent. »

L'explication donnée par Benedetti peut, à bon droit, paraître assez confuse. Ce qui, à vrai dire, ne devrait pas nous étonner outre mesure : la notion de l'*impetus* est, en effet, une notion très confuse.

Au fond, elle ne fait que traduire en termes « scientifiques » une conception fondée sur l'expérience quotidienne, sur une donnée du sens commun.

Qu'est-ce, en effet, que l'*impetus*, la *forza*, la *virtus motiva*, sinon une condensation si l'on peut dire, de l'effort musculaire et de l'*élan* ? Aussi s'accorde-t-elle très bien avec « les faits », — réels ou non — qui forment la base expérimentale de la dynamique médiévale ; et tout particulièrement avec le « fait » de l'accélération initiale du projectile ; ce fait, elle l'explique même : ne faut-il pas du temps, pour que l'*impetus* s'empare du mobile ? Tout le monde sait d'ailleurs, qu'il faut « prendre un élan » pour sauter un obstacle ; que le chariot que l'on pousse, ou que l'on tire, démarre lentement et augmente progressivement sa vitesse : il prend de l'*élan*, lui aussi ; et tout le monde sait — même les enfants jouant à la balle — que, pour bien frapper le but, on se met à une certaine distance — pas trop près — de celui-ci : ceci pour permettre à la balle de prendre son élan (1).

1. Les balisticiens et les artilleurs de la Renaissance, partant de cette idée bien arrêtée que deux mouvements ne peuvent coexister dans un mobile sans se combattre, croyaient que le boulet de canon (comme tout projectile) commence par se mouvoir *en ligne droite*, puis lorsque son mouvement, ou sa force motrice s'affaiblit, il tombe *verticalement* à terre, les deux parties rectilignes de la trajectoire étant réunies par un segment de cercle. Tartaglia,

Impetus, impression, qualité ou vertu motrice ; tout cela est quelque chose qui passe du mouvant au mobile, et qui, étant entré dans le mobile ou l'ayant imprégné et impressionné, l'affecte ; aussi s'oppose-t-il à d'autres qualités ou vertus (aussi les *impetus* se gênent-ils mutuellement et peuvent difficilement coexister dans le mobile), même naturelles. Ainsi, l'*impetus* du mouvement violent, comme nous l'explique Benedetti dans un texte bien curieux, rend plus léger l'objet dans lequel il se trouve (1).

« De l'inclination des parties des corps ronds à la rectitude du mouvement il résulte qu'une toupie qui tourne autour d'elle-même avec une grande violence, demeure, pendant un certain laps de temps, presque droite sur sa pointe, ne s'inclinant pas plus d'un côté que de l'autre vers le centre du monde, parce que, dans un tel mouvement, chacune de ses parties ne tend pas uniquement et absolument vers le centre du monde, mais, bien davantage [tend à se mouvoir] perpendiculairement à la ligne de direction, de telle façon qu'un tel corps, nécessairement, doit demeurer droit. Et si je dis, que ses parties n'inclinent pas absolument vers le centre du monde, je le dis parce que, malgré tout, elles ne sont jamais absolument privées de cette sorte d'inclination, grâce à laquelle le corps lui-même tend vers ce point. Il est vrai cependant que plus il est rapide, moins il tend vers celui-ci ; autrement dit, que le corps en question devient d'autant plus léger. Ce que montre bien l'exemple de la flèche de l'arc, ou de n'importe quelle autre machine, qui, plus elle est rapide

qui s'était occupé de balistique, et avait même publié des tables d'élévation pour le tir des canons, professe dans sa *Nuova Scienza* (1537) la théorie traditionnelle, tout en proclamant d'autre part que la trajectoire est *semper curva*. En fait, c'est Galilée et non pas, comme on le dit souvent, Tartaglia, ni même Benedetti qui, le premier a reconnu clairement que la trajectoire du boulet s'incurve dès le début. Cf. plus bas, III, pp. 47, 109.

1. J. B. BENEDETTI, *ibid.*, p. 285 : « De motu molae et trochi, dea nullo aquae, de claritate aeris et Lunae noctu fulgentis, de aeternitate temporis et in finito spacio extra coelum, coelique figura. *Illust. Ioanni Paulo Capra Novarensi Sabaudiae Ducis Hospitij Magistro*... Quaeris a me litteris tuis, an motus circularis alienius molae molendinarie, si super aliquod punctum quasi mathematicum, quiesceret, posset esse perpetuus, cum aliquando esset mota, supponendo etiam eandem esse perfecte rotundam et levigatam. Respondeo huiusmodi motum nullo modo futurum perpetuum, nec etiam multum duraturum, quia praeterquam quod ab aere qui ei circumcirca aliquam resistantiam facit stringitur, est etiam resistantia partium illius corporis moti, quae cum motae sunt, natura, impetum habent elicendi iter directum, unde cum simul iunctae sint, et earum una continuata cum alia, dum circulariter moventur patiuntur violentiam, et in huiusmodi motu per vim unitae manent, quia quanto magis moventur, tanto magis in iis crescit naturalis inclinatio recta eundi, unde tanto magis contra suam et naturam volvuntur, ita ut secundum naturam quiescant, quia cum eis proprium fit, quando sunt motae, eundi recta, quanto violentius volvuntur, tanto magis una resistit alteri, et quasi retro revocat eam, quam antea reperitur habere.

Ab eiusmodi inclinatione rectitudinis motus partium alienius corporis rotundi fit, ut per aliquod temporis spacium, trochus cum magna violentia seipsum circumagens, omnino

dans son mouvement violent, plus elle a la propension d'aller droit, ce qui veut dire qu'elle incline d'autant moins vers le centre du monde, autrement dit, devient plus légère. Mais si tu veux voir cette vérité d'une manière plus claire, imagine-toi que ce corps, à savoir la toupie, pendant qu'elle tourne très rapidement, est coupée ou divisée en un grand nombre de parties ; tu verras alors qu'elles ne descendront pas tout de suite vers le centre du monde, mais se mouvront, pour ainsi dire droitement vers l'horizon. Ce qui (autant que je sache) n'a jamais encore été observé au sujet de la toupie. Et l'exemple d'une telle toupie, ou d'un autre corps de ce genre, montre bien à quel point les péripatéticiens se trompent au sujet du mouvement violent, mouvement qu'ils estiment provoqué par la réaction de l'air... tandis que, en fait, le milieu joue un tout autre rôle. »

Le milieu, dans la physique aristotélicienne, joue un rôle double ; il est, à la fois, résistance et moteur : la physique de l'*impetus* nie l'action motrice du milieu. Benedetti ajoute que même son action retardatrice a été mal comprise et, surtout, mal évaluée par Aristote. C'est qu'Aristote a mal compris, ou plus exactement, n'a pas du tout compris le rôle des mathématiques dans la science physique.

rectus quiescat super illam cuspidem ferri quam habet, non inclinans se versus mundi centrum, magis ad unam partem, quam ad aliam, cum quaelibet suarum partium in huiusmodi motu non inclinet omnino versus mundi centrum, sed multo magis per transversum ad angulos rectos cum linea directionis, aut verticali, aut orizontis axe, ita ut necessario huiusmodi corpus rectum stare debeat. Et quod dico ipsas partes non omnino inclinare versus mundi centrum, id ea ratione dico, quia non absolute sunt unquam privatae huiusmodi inclinatione, quae ellicit ut ipsum corpus eo puncto nitatur. Verum tamen est, quod quanto magis est velox, tanto minus premit ipsum punctum, imo ipsum corpus tanto magis leve remanet. Id quod aperte patet sumendo exemplum pilae alicuius arcus, aut alicuius alterius instrumenti, seu machinae missilis, quae pila quanto est velocior, in motu violento, tanto maiorem propensionem habet rectius eundi, unde versus mundi centrum tanto minus inclinat, et hanc ob causam levior redditur. Sed si clarius hanc veritatem videre cupis, cogita illud corpus, trochum scilicet, dum velocissime circumducitur secari, seu dividi in multas partes, unde videbis illas omnes, non illico versus mundi centrum descendere sed recta orizontaltiter ut ita dicam, moveri. Id quod a nemine adhuc (quod sciam) in trocho est observatum. Ab huiusmodi motu trochi, aut huius generis corporis, clare perspicitur, quam errent peripatetici circa motum violentum alicuius corporis, qui existimant aerem qui subintrat ad occupandum locum a corpore relictum, ipsum corpus impellere, cum ab hoc, magis effectus contrarius nascatur.

Illud, nihil, Aristotelis extra caelum nullomodo nobis inservit pro eiusdem Coeli sphaerica rotunditate, cum cuiusque alterius ex infinitis figuris Coelum ipsum esse possit secundum suam superficiem convexam. Nam Coelum ea ratione sphericum non est, quod magis sit capax, quia ei innumerabiles alias figuras adeo magnas poterat concedere causa divina : sed sphaericum est effectum, ne partem aliquam haberet sui termini superfluum, quia nullum corpus a breviori termino quam a spherico terminari potest. »

Aussi est-il presque partout arrivé à l'erreur ; or, ce n'est qu'en partant des « fondements inébranlables » de la philosophie mathématique — ce qui veut dire, en fait : en partant d'Archimède — que l'on peut à la physique d'Aristote substituer une physique meilleure.

Aussi Benedetti est-il pleinement conscient de l'importance de son entreprise. Il prend même des poses héroïques (1) : « Telle est assurément, nous dit-il, la grandeur et l'autorité d'Aristote qu'il est difficile et dangereux d'écrire quelque chose contre ce qu'il a enseigné ; pour moi particulièrement, à qui la sagesse de cet homme a toujours paru admirable. Néanmoins, poussé par le souci de la vérité, par l'amour de laquelle, s'il vivait, il aurait été lui-même enflammé,... je n'hésite pas à dire, dans l'intérêt commun, en quoi le fondement inébranlable de la philosophie mathématique me force à me séparer de lui.

« Comme nous avons accepté la charge de prouver qu'Aristote s'est trompé dans la question des mouvements naturels locaux, nous devons commencer par avancer certaines choses très vraies, et que l'intellect connaît de soi : en premier lieu, que deux corps quelconques, graves ou légers, d'un volume égal et de figure semblable, mais composés de matières différentes, et disposés de la même manière, observeront dans leurs mouvements naturels locaux la proportion de leurs gravités ou légèretés dans les mêmes milieux. Ce qui est tout à fait évident de par sa nature, dès que nous prenons en considération que la plus grande vitesse ou lenteur (tant que le milieu reste uniforme et en repos) ne provient de rien d'autre que des quatre causes suivantes, à savoir a) de la plus ou moins grande gravité ou légèreté ; b) de la diversité de la forme ; c) de la position de cette forme

1. J. B. BENEDETTI, *ibid*, p. 168 sq. « *Disputationes de quibusdam placitis Aristotelis* : Tanta est certe Aristotelis amplitudo atque autoritas, ut difficillimum ac periculosum sit quidpiam scribere contra quam ipse docuerit, et mihi praesertim, cui semper visa est viri illius sapientia admirabilis. Veruntamen studio veritatis impulsus, cuius ipse amore in seipsum si oiveret excurreret, in medium quaedam proferre non dubitavi, in quibus me inconcussa mathematicae philosophiae basis, cui semper insisto ab eo dissentire coegit. cap. II : Quaedam supponenda ut constet cur circa veloci tatem motuum naturalium localium ab Aristotele placitis recedamus.

Cum suscepimus provinciam probandi quod Aristoteles circa motus locales naturales deceptus fuerit, sunt quaedam primo verissima et objecta intellectus per se cognita praesupponenda, ac primum quaelibet duo corpora, gravia aut levia, aequali similique figura sed ex materia diversa constantia, eodemque modo situm habentia, eandem proportionem velocitatis inter suos motus locales naturales, ut inter suam et pondera aut levitates uno in eodemque medio, servatura. Quod quidem natura sua notissimum est si considerabimus non aliunde maiorem tarditatem, aut velocitatem gigni, quam a 4. causis (dummodo medium uniforme sit et quietum) id est a maiori aut minori pondere aut levitate ; a diversa figura ; a situ eiusdem figurae diversae respectu lineae directionis, quae recta inter mundi centrum et circumferentiam extenditur ; et ab inaequali magnitudine. Unde patebit, quod figuram non

par rapport à la ligne de direction qui s'étend, droite, entre le centre du monde et la circonférence ; et enfin *d*) de la grandeur inégale [des mobiles]. D'où il est clair que, si l'on ne modifie ni la forme (ni en qualité, ni en quantité), ni la position de cette forme, le mouvement sera proportionné à la vertu mouvante, qui est le poids ou la légèreté. Or, ce que je dis de la qualité, de la quantité et de la position de la même figure, je le dis par rapport à la résistance du même milieu. Car la dissimilitude ou l'inégalité des figures, ou la position différente, modifie d'une manière non négligeable le mouvement des corps en question, puisque la forme petite divise plus facilement la continuité du milieu que la grande, de même que l'aiguë le fait plus rapidement que l'obtus. De même, le corps qui se meut la pointe en avant se mouvra plus vite que celui qui ne le fait pas. Chaque fois donc que deux corps auront affaire à une même résistance, leurs mouvements seront proportionnels à leurs vertus mouvantes ; et inversement, chaque fois que deux corps auront une seule et même gravité ou légèreté, et des résistances diverses, leurs mouvements auront, entre eux, la proportion inverse de celle des résistances... et si le corps qui est comparé à l'autre est de la même gravité ou légèreté, mais d'une résistance moindre, il sera plus rapide que l'autre dans la même proportion dans laquelle sa surface engendre une résistance moindre de celle de l'autre corps... Ainsi, par exemple, si la proportion de la surface du corps plus grand à celle du corps moindre était de 4/3, la vitesse du corps plus petit serait plus grande

variando, nec in qualitate nec in quantitate, neque eiusdem figurae situm, motum fore proportionatum virtuti moventi, quae erit pondus aut levitas. Quod autem de qualitate, de quantitate et situ eiusdem figurae dico, respectu resistentiae ipsius medii dico : Quia dissimilitudo aut inequalitas figurarum, aut situs diversus non parum alterat dictorum corporum motus, cum figura parva facilius dividat continuitatem medii, quam magna ; ut etiam celerius idem facit acuta, quam obtusa ; et illa quae cum angulo, qui antecedit movebitur velocius quam illa quae secus. Quotiescunque igitur duo corpora unam eandemque resistentiam ipsorum superficiebus, aut habebunt aut recipient, eodem motus inter se ipsos eorum plane modo proportionati consurgunt quo erant ipsorum virtutes moventes ; et e converso, quotiescunque duo corpora unam eandemque gravitatem aut levitatem et diversas resistentias habebunt, eorum motus inter se ipsos eandem proportionem sortientur, quam habebunt eorum resistentiae converso modo ; quae quidem resistentiae inter se ipsas eandem proportionem quam ipsarum superficies habebunt, aut in qualitate sola figurae, aut in quantitate sola, aut in situ, aut in aliquibus ex dictis rebus, eo tamen modo qui superius positus fuit, ut scilicet corpus illud quod alteri comparatum, aequalis erat ponderis, aut levitatis sed minoris resistentiae, existet velocius altero, in eadem proportionem cuius superficies resistentiam suscipit minorem ea quae alterius est corporis, ratione facillioris divisionis continuitatis aeris, aut aquae. Ut exempli gratia, si proportio superficiei corporis maioris superficiei minoris sesquitertia esset, proportio velocitatis dicti corporis maioris, velocitati corporis minoris, esset subsestertia, unde velocitas minoris corporis maior esset velocitate corporis maioris quemadmodum quaternarius numerus ternario maior existit. »

que celle du corps plus grand comme le nombre quaternaire est plus grand que le ternaire. »

Un aristotélicien pourrait, et même devrait, admettre tout cela. Mais, ajoute Benedetti, il y a encore quelque chose à admettre, à savoir (1) « que le mouvement naturel d'un corps grave dans divers milieux est proportionnel au poids de ce corps dans les mêmes milieux. Ainsi, par exemple, que le poids total d'un certain corps grave soit représenté par *ai*, et que ce corps soit posé dans un milieu quelconque, moins dense que lui-même (car, s'il était placé dans un milieu plus dense, il ne serait pas grave, mais léger, ainsi que l'a montré Archimède), ce milieu en soustrairait la partie *ei*, de telle façon que la partie *ae* de ce poids agirait seule ; et si ce corps était placé dans quelque autre milieu plus dense, mais cependant moins dense que le corps lui-même, ce milieu en soustrairait la partie *ui* dudit poids, et en laisserait libre la partie *au*.

« Je dis que la proportion de la vitesse d'un corps dans le milieu moins dense à la vitesse du même corps dans le milieu plus dense sera comme *ae* à *au* ; ce qui est davantage conforme à la raison que si nous disions que ces vitesses seront comme *ui* à *ei*, puisque les vitesses se proportionnent seulement aux forces mouvantes (lorsque la figure est la même en qualité, quantité et position). Ce que nous disons maintenant est évidemment conforme à ce que nous avons écrit plus haut, car

dire que la proportion des vitesses de deux corps hétérogènes, mais semblables quant à la figure, la grandeur, etc., dans le même milieu est égale à la proportion des poids eux-mêmes, est la même chose que dire que les vitesses d'un seul et même corps

1. *Ibid.*, p. 169 : « Aliud quoque supponendum est, velocitatem scilicet motus naturalis alicuius corporis gravis, in diversis mediis, proportionatam esse ponderi ejusdem corporis in iisdem mediis ; ut exempli gratia, si pondus totale alicuius corporis gravis significatum erit ab. *a. i.* quo corpore posito in aliquo medio minus denso, quam ipsum sit (quia in medio se densiore si poneretur, non grave esset, sed leve, quemadmodum Archimedes ostendit), illud medium subtrahat partem *ei* unde pars *ae* eiusdem ponderis libera maneat ; et, posito deinde eodem corpore in aliquo alio medio densiore, minus tamen denso quam ipsum sit corpus, hoc medium subtrahat partem, *u. i.* dicti ponderis, unde pars *a. u.* eiusdem ponderis remanebit. Dico proportionem velocitatis eiusdem corporis per medium minus densum, ad velocitatem eiusdem per medium magis densum futuram ut *a. e.* ad *a. u.*, ut est etiam rationi consonum magis quam si dicamus huiusmodi velocitates esse ut *ui* ad *ei* cum velocitates a virtutibus moventibus solum (cum figura una, eademque in qualitate, quantitate situque erit) proportionentur. Quae nunc diximus, plane similia sunt iis, quae supra scripsimus, quia idem est dicere proportionem velocitatum duorum corporum heterogeneorum, sed similium figura, et magnitudine aequalium, in uno solo medio, æqualem esse proportionem ponderum ipsorum, ut si dicamus proportionem velocitatum unius solum corporis per diversa media eandem esse cum ea quae est ponderum dicti corporis in iisdem mediis. »

dans divers milieux sont en proportion des poids dudit corps dans ces mêmes milieux. »

Sans doute, de son point de vue, Benedetti a-t-il entièrement raison. Si les vitesses sont proportionnelles aux forces mouvantes, et si une partie de la force mouvante (du poids) est neutralisée par l'action du milieu, ce n'est que la partie restante qui entre en ligne de compte et, dans des milieux de plus en plus denses, la vitesse du grave diminuera en suivant une progression arithmétique, et non géométrique, ainsi que le voulait Aristote. Mais le raisonnement de Benedetti, fondé sur l'hydrostatique d'Archimède, ne part pas du tout des mêmes bases que celui d'Aristote : pour Aristote le poids du corps est une de ses propriétés constantes et absolues, et non une propriété relative, comme pour Benedetti et les « anciens » (1). C'est pourquoi il agit, pour Aristote, en quelque sorte, tout entier, dans les milieux divers qui lui résistent (2). Aussi Benedetti estime-t-il que la physique d'Aristote montre bien que celui-ci « ne connaît la cause ni de la gravité, ni de la légèreté des corps, qui consiste dans la densité ou la rareté du corps grave ou léger, et la densité ou la rareté plus ou moins grande des milieux (3) ». La densité, ou la rareté, voilà les propriétés absolues des corps. Le poids, c'est-à-dire la lourdeur, et la légèreté, ne sont que des résultantes. Et Benedetti, afin de nous éviter une erreur dans laquelle il nous serait facile de tomber, nous prévient (4) « que les proportions des poids du même corps dans différents milieux ne suivent pas les proportions de leurs densités. D'où, nécessairement, se produisent des proportions inégales des vitesses, et notamment, les vitesses des corps graves ou légers de la même figure ou matière, mais de grandeur différente, suivent dans leurs mouvements naturels dans le même milieu une proportion très différente de celle qu'affirme Aristote » ; entre autres, « à poids égal, un corps plus petit ira plus vite », parce que la résistance du milieu sera moindre... (5)

1. Cf. *supra*, p. 29.

2. C'est pourquoi la vitesse résultante est le quotient du poids par la résistance.

3. J. B. BENEDETTI, *ibid.*, cap. XXVI, p. 185. « Manifeste indicat (Aristoteles) se causam nec gravitatis, nec levitatis corporum naturalium nosce, quae est densitas aut raritas corporis gravis, aut levis, maior densitate aut raritate medii permeabilis, in quo reperitur. »

4. J. B. BENEDETTI, *ibid.*, p. 172. « Disputationes, de quibusdam placitis Aristotelis, c. VI : Quod proportionem ponderum eiusdem corporis in diversis mediis proportionem eorum mediorum densitatum non servant. Unde necessario inaequales proportionem velocitatum producuntur, cap. VII. Corpora gravia aut levia eiusdem figurae et materiae sed inaequalis magnitudinis, in suis motibus naturalibus velocitatis, in eodem medio proportionem longe diversam servatura esse quam Aristoteli visum fuerit » à savoir, la proportion sera arithmétique et non géométrique.

5. *Ibid.*, c. VIII, cf. c. XVIII.

En fait, selon Benedetti, Aristote n'a jamais rien compris au mouvement. Ni au mouvement naturel, puisqu'il n'a même pas vu que « le mouvement rectiligne des corps naturels vers le haut et vers le bas n'est pas naturel en premier lieu et *per se* » (1) ; ni au mouvement violent, puisqu'il n'a vu ni que le mouvement rectiligne, le mouvement d'aller et retour est continu et se fait sans arrêt (2), ni que le mouvement sur une droite peut être infini dans le temps, bien que fini dans l'espace : il suffit, pour cela, qu'il se ralentisse progressivement (3).

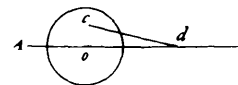
L'erreur première d'Aristote, on le voit bien, a été d'avoir négligé, ou même exclu de la physique les fondements inébranlables de la philosophie mathématique.

Mais nous n'avons pas encore fini la liste des erreurs physiques d'Aristote (4). Nous arrivons maintenant à la plus grave : la négation du vide. En effet, Benedetti nous le dit sans ambages : la démonstration aristotélécienne de la non-existence du vide ne vaut rien.

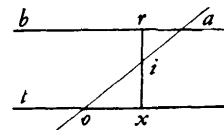
L'impossibilité du vide, on le sait bien, est démontrée par Aristote par l'absurde : dans le vide, c'est-à-dire dans l'absence de toute résistance, le mouvement s'effectuerait avec une vitesse infinie (5). Or,

1. *Ib.*, cap. XXV, p. 184. « Motus rectus corporum naturalium sursum aut deorsum non est naturalis primo et per se. »

2. *Ibid.*, cap. XXIII, p. 183. « Motum rectum esse continuum vel dissentiente Aristotele. Il suffit de considérer le mouvement rectiligne produit par la rotation d'un cercle : le va et vient au point *d* glissant sur la ligne *A* ne comporte pas d'arrêt.



3. *Ib.*, c. XXIX, p. 286. « Dari continuum infinitum motum super rectam atque finitam lineam. » Il suffit de se représenter le mouvement du point d'intersection *i* sur la ligne *xr* si la ligne *ao* tourne autour du point *a*. Le point *o* glissant vers *t*, jamais le point *i* ne pourra atteindre *r*.



4. *Ib.*, cap. XXXVI, p. 195 : « Minus sufficienter explosam fuisse ab Aristotele opinionem creditum plures mundos existere. »

5. Cf. *supra*, p. 17.

rien n'est plus faux, estime Benedetti. Etant donné que la vitesse est proportionnelle au poids relatif du corps, c'est-à-dire à son poids absolu, diminué de, et non divisé par, la résistance du milieu, il s'ensuit immédiatement que la vitesse n'augmente pas indéfiniment et, la résistance s'annulant, la vitesse ne devient aucunement infinie (1). « Mais afin de le montrer plus facilement, comprenons par l'imagination une infinité de milieux corporels, dont l'un est plus rare que l'autre dans les proportions qu'il nous plaira, en commençant par l'unité, et imaginons aussi un corps *Q*, plus dense que le premier milieu. » La vitesse de ce corps, dans ce premier milieu, sera évidemment finie. Or, si nous le plaçons dans les divers milieux que nous avons imaginés, sa vitesse augmentera sans doute, mais ne pourra jamais dépasser une limite. Ainsi le mouvement dans le vide est parfaitement possible.

Mais quel sera-t-il ? C'est-à-dire, quelle sera sa vitesse ? Aristote avait estimé que si le mouvement dans le vide avait été possible, les rapports de vitesse des différents corps y seraient les mêmes que dans le plein. Erreur encore. Assertion (2) « entièrement erronée. Car dans le plein, la proportion des résistances extérieures se soustrait de la proportion des poids, et ce qui reste détermine la proportion des vitesses, qui serait nulle si la proportion des résistances était égale à la proportion des poids ; à cause de cela, ils auront dans le vide des proportions de vitesses autres que dans le plein, à savoir : les vitesses des corps différents (c'est-à-dire des corps composés de matières différentes) seront proportionnelles à leurs poids spécifiques absolus, c'est-à-dire, à leurs densités. Quant aux corps composés de la même matière, ils auront, dans le vide, la même vitesse naturelle (3) » ; ce qui se prouve par les raisons suivantes (4) : « Soient,

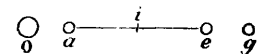
1. J. B. BENEDETTI, *Ibid.*, cap. XIX, p. 179 : « *Quam sit inanis ab Aristotele suscepta demonstratio quod vacuum non detur...* Ut igitur idem facilius ostendamus, comprehendamus imaginatione infinita media corporea, quorum unum altero rarius sit, in qua placuerit nobis ex proportionibus, incipiendo ab uno, imaginemur etiam corpus *Q*, densius primo medio, cuius corporis totalis gravitas sit *a. b.* et positum in ipso medio... » Il s'ensuit que la vitesse des graves dans le vide sera non pas infinie mais finie.

2. *Ibid.*, p. 174, cap. IX : « *An recte Aristoteles disseruerit de proportionibus motuum in vacuo.* Cum vero Aristoteles circa finem cap. 8 lib. 4 physicorum subiungit quod eadem proportionem dicta corpora moverentur in vacuo, ut in pleno, id pace eius dictum sit plane erroneum est. Quia in pleno dictis corporibus subtrahitur proportio resistentiarum extrinsecarum a proportionem ponderum, ut velocitatum proportio remaneat, quae nulla esset, si dictarum resistentiarum proportio, ponderum proportioni aequalis esset, et hanc ob causam diversam velocitatum proportionem in vacuo haberent ab ea, quae est in pleno. »

3. *De la même matière* : les corps de matière différente tombent avec des vitesses différentes. Cf. *plus bas*, p. 61.

4. J. B. BENEDETTI, *Ibid.*, *Disputationes*, cap. X, p. 174 : « *Quod in vacuo corpora eiusdem*

en effet, deux corps homogènes *o* et *g*, et soit *g* la moitié de *o*. Soient aussi deux autres corps homogènes aux premiers, *a* et *e* dont chacun soit égal au *g* ; comprenons par l'imagination que les deux soient placés aux extrémités d'une ligne dont *i* soit le milieu ; il est clair que le point *i* aura autant de poids que le centre de *o* ; aussi *i*, par la vertu des corps *a* et *e* se mouvra dans le vide avec la même vitesse que le centre de *o*. Mais si lesdits corps *a* et *e* étaient disjoints de ladite ligne, ils ne modifieraient pas pour cela leur vitesse, et chacun d'eux serait aussi rapide que *g*. Donc, *g* serait aussi rapide que *o*. »



Le mouvement dans le vide (1), la chute simultanée des graves homogènes : nous sommes déjà fort loin de la physique d'Aristote. Mais les fondements inébranlables de la philosophie mathématique, le modèle toujours présent à l'esprit de Benedetti de la science archimédienne, ne lui permettent pas de s'arrêter là (2). L'erreur d'Aristote ne fut pas seulement de ne pas avoir admis la possibilité du vide dans le monde ; elle fut de s'être forgé une image fausse du monde et d'y avoir adapté la physique. C'est sa fausse cosmologie, — Benedetti est un copernicien — (3) fondée sur le finitisme qui est à la base de sa théorie du « lieu naturel ». En fait (4), « il n'y a aucun corps, qu'il soit dans le monde ou en dehors du monde (peu importe ce qu'en dise Aristote) qui n'ait pas son lieu ». Des lieux extramondains ? Pourquoi pas ? Y aurait-il « un inconvénient quelconque

materiae aequali velocitate moverentur. Quod supradicta corpora in vacuo naturaliter pari velocitate moverentur hac ratione assero.

Sint enim duo corpora *o* et *g* omogenea et *g* sit dimidia pars ipsius *o*. Sint alia quoque duo corpora *a* et *e* omogenea primis, quorum quolibet aequale sit ipsi *g* et imaginatione comprehendamus ambo posita in extremitatibus alicuius lineae. cuius medium sit *i*. clarum erit tantum pondus habiturum, punctum *i*. quantum centrum ipsius *o*. quod *i* virtute corporis *a* et *e* in vacuo eadem velocitate moveretur, qua centrum ipsius *o* : cum autem disiuncta essent dicta corpora *a*. et *e* a dicta linea, non ideo aliquo modo suam velocitatem mutarent, quorum quodlibet esset quoque tam velox quam est *g* : igitur *g* tam velox esset quam *o*. » Cf. *Ib.*, cap. XVIII, p. 179.

1. Cf. *Ibid.*, cap. XXXVII, p. 196 : « *An recte loquutus sit Philosophus de extensione luminis per vacuum.* » Bien entendu Benedetti estime que le vide n'arrête aucunement la propagation de la lumière.

2. Cf. *Ibid.*, cap. XXXIX, p. 197 : « *Examinatur quam valida sit ratio Aristotelis de inalterabilitate Coeli.* Similiter de terra dici posset quando ipsa ita eminens prospiceretur. »

3. Cf. *plus bas*, p. 69, n. 2.

4. J. B. BENEDETTI, *Ibid.*, *Disputationes*, cap. XX, p. 181 : « *Hoc modo nullum est corpus, quod in mundo aut extra mundum (dicat autem Aristoteles quidquid voluerit) locum suum non habeat.* » En outre, l'espace, ce n'est pas la surface enveloppante, c'est l'intervalle. Bruno dit la même chose. Cf. *plus bas*, p. III, p. 16, n. 3.

à ce qu'en dehors du ciel se trouve un corps infini (1) ? Sans doute, Aristote le nie-t-il ; mais ses raisons ne sont nullement évidentes.

« En effet, il pense sans le prouver et même sans en donner quelque raison, que les parties infinies du continu ne sont pas en acte mais seulement en puissance ; ce qui ne doit pas lui être concédé, parce que si le *continuum* tout entier et existant réellement est en acte, toutes ses parties seront en acte, car il est stupide de croire que les choses qui sont en acte se composent de celles qui n'existent qu'en puissance. Et on ne doit pas dire, non plus, que la continuité de ces parties fait qu'elles sont en puissance et privées de tout acte. Soit, par exemple, la ligne continue *au* ; divisons-la en parties égales au point *e* ; il n'y a aucun doute que, avant la division, la médiété *ae* (bien qu'elle soit conjointe à l'autre, *eu*), est autant en acte que toute la ligne *au*, bien qu'elle n'en soit pas distinguée par les sens. Et j'affirme la même chose de la médiété de *ae*, c'est-à-dire, de la quatrième partie de toute la ligne *au*, et de même de la huitième, de la millième et de celle qu'on voudra. ». Aussi, la multiplicité infinie est non moins réelle que la finie ; l'infini se trouve dans la nature comme actuel et non seulement comme potentiel ; et l'infini actuel peut être compris tout aussi bien que le potentiel (2).

4. Galilée

Venons maintenant à Galilée.

Dans les traités et essais sur le mouvement qu'il compose à Pise (3) — et qui, on le sait, sont restés inachevés — Galilée s'efforce de développer d'une façon cohérente et complète la dynamique de la « force impressa » — de l'*impetus* — dont nous venons de parler assez longue-

ment et, en même temps, de pousser jusqu'au bout la mathématisation, ou mieux, l'archimédisation de la physique dont nous venons de voir les débuts dans l'œuvre de J. B. Benedetti. Aussi retrouvons-nous chez lui une fois de plus, mais systématisés, condensés et clarifiés, les arguments traditionnels de ses précurseurs parisiens.

Dans son œuvre pisane Galilée se montre résolument, et même passionnément anti-aristotélicien (1).

Aristote, nous dit-il, n'a jamais rien compris en physique (2). Et notamment, en ce qui concerne le mouvement local, il s'est presque toujours écarté de la vérité. En effet, il n'a pas pu démontrer que le moteur doive nécessairement être adjoint au mobile sans affirmer que les corps projetés sont mûs par l'air ambiant (3).

Et Galilée d'alléguer les instances contraires, les faits que la théorie aristotélicienne ne peut expliquer. Pourrait-elle expliquer, en effet, qu'un corps lourd — un morceau de plomb — puisse être lancé plus loin qu'un corps léger (de mêmes dimensions) ? Que les corps longs — une lance — volent mieux que les courts ? Et volent la pointe lourde en avant ? Comment admettre qu'une flèche lancée contre le vent soit portée par la réaction de l'air ? Comment expliquer par la réaction du milieu le mouvement persistant d'une roue, d'une toupie, de la sphère marmoréenne, polie et recouverte d'un étui (4) ?

De plus, la conception aristotélicienne est contradictoire en elle-même : en effet, si un déplacement de l'air pouvait provoquer un autre déplacement, le phénomène se reproduirait à son tour, et le mouvement une fois commencé se prolongerait indéfiniment et même, irait en s'accélérant. Or, c'est un des principes fondamentaux de la dynamique aristotélicienne que tout mouvement est limité et fini. Enfin, l'argument formel : transférant à l'air le rôle de moteur, Aristote ne fait que déplacer la question. Bien plus, il se contredit puisqu'il admet par là même tacitement, une *virtus motiva impressa* dans l'air : pourquoi ce privilège, et pourquoi, si l'on ne peut pas se

1. *Ibid.*, cap. XXI, p. 181 : « *Utrum bene Aristoteles senserit de infinito* : Nullum inconveniens sequeretur, quod extra coelum reperiri possit corpus aliquod infinitum, quamvis id ipse, nulla evidenti ratione inductus perneget. Sensit quoque, absque eo, quod aliquam rationem proponat... infinitas partes alicuius continui esse solum in potentia, non item in actu, hoc non est illico concedendum, quia si omne totum continuum et re ipsa existens, in actu est, omnis quoque eius pars erit in actu, quia stultum esset credere, ea quæ actu sunt, ex iis quæ potentia existunt, componi. Neque etiam dicendum est continuationem earundem partium efficere, ut potentia sint ipsæ partes, et omni actu privatae. Sit, exempli gratia, linea recta *a. u* continua quæ deinde dividatur in puncto *e* per æqualia, dubium non est, quin ante divisionem, medietas *a. e*. tam in actu (licet coniuncta cum alia *e. u*) reperiretur, quam totum *a. u*. licet a sensu distincta non esset. Idem affirmo de medietate *a. e* id est de quarta parte totius *a. u* et pariter de octava, de millesima, et de quavis, ita ut essentialis actualis infiniti hoc modo tota concedi possit, cum ita sit in natura... »

2. *Ibid.* : « multitudo non minus infinita quam finita intelligi potest. »

3. Publiés par A. Favaro dans le vol. I des *Œuvres* de Galilée.

1. On peut dire que les *De Motu* sont conçus comme une critique de la dynamique aristotélicienne du point de vue de la dynamique de la force impressa. La critique est souvent violente ; pas toujours équitable ; Galilée, en effet, détache la dynamique d'Aristote de sa métaphysique ; le mouvement pour lui est uniquement le mouvement *local*. Aussi ne comprend-il pas toujours la pensée d'Aristote. Mais on peut dire que sa façon de comprendre (ou de mécomprendre) est elle-même un signe et un effet d'une attitude mentale nouvelle.

2. Cf. *De Motu*, pp. 265, 276, 285, 302 et *passim*.

3. *De Motu*, p. 307 : « *A quo moveantur projecta* ? : Aristoteles, sicut fere in omnibus quæ de motu locali scripsit, in hac etiam quaestione vero contrarium scripsit... Non poterat Aristoteles tueri, motorem debere esse coniunctum mobili, nisi diceret projecta ab aere moveri. »

4. *De Motu*, p. 307 sq. La *sphaera marmorea* est l'exemple préféré de Tartaglia.

passer d'une *virtus motiva*, ne pas admettre, plus simplement, qu'elle est présente dans le mobile dans tous les cas considérés (1) ?

Prenons, par exemple, le cas d'une pierre que l'on jette en l'air : la pierre monte, elle a donc acquis une certaine qualité ou vertu qui la fait monter. Et puisque le fait de s'élever est le propre des corps légers, c'est donc une espèce de légèreté que la pierre a acquise. C'est cette légèreté (non naturelle) qui explique le mouvement ascendant du mobile : elle est une *virtus impressa*, une *virtus motiva*.

Or, cette vertu motrice, autrement dit légèreté, se conserve dans la pierre privée du contact avec le moteur, de même que la chaleur se conserve dans le fer que l'on chauffe, lorsqu'on le retire du feu. Cette vertu (imprimée par l'action du jet) s'affaiblit progressivement dans l'objet lancé, séparé du lanceur, de même que la chaleur s'affaiblit dans le fer, éloigné du feu. Aussi, la pierre revient au repos, de même que le fer retourne à sa frigidité naturelle ; et de même qu'il y a une capacité naturelle — et spécifique — des corps pour la chaleur, il y en a une pour le mouvement. La même force s'imprime davantage dans un mobile plus résistant, c'est-à-dire, plus lourd, que dans celui qui résiste moins (comme la chaleur s'imprime davantage dans le fer que dans l'air, et ainsi se conserve plus longtemps dans le premier) : ainsi dans le fer davantage que dans la plume (2).

On le voit bien : fidèle à l'inspiration de ses devanciers (3), Galilée développe la physique de la « force impressée ». Cette force, dont le mouvement du mobile est un effet, est conçue par lui sur le modèle même des forces-qualités de la physique aristotélécienne, chaleur, froid. Qualités substantielles, en ce sens du moins qu'elles peuvent se séparer de leur source et être transférées à un autre corps. Qualités « naturelles », naturellement présentes et donc persistantes des corps : ou, au contraire, non-naturelles, violemment imprimées et, donc, passagères. Aussi, pour nous donner une idée plus claire de

1. *Ibid.*, p. 307. L'objection, nous le savons, n'est pas juste : l'air est un milieu particulièrement apte au mouvement. Cf. *ibid.*, p. 314 : « Concludamus igitur tandem, projecta nullo modo moveri a medio, sed a virtute motiva impressa a proiciente. » Cf. plus haut, pp. 27, 37, 42.

2. *De Motu*, p. 310 : « *Virtus motiva*, nempe levitas conservatur in lapide, non tangente qui movit ; calor conservatur in ferro ab igne remoto : *virtus impressa* successive remittitur in projecto, a proiciente absente : calor remittitur in ferro, igne absente : lapis tandem redit ad quietem ; ferrum, similiter, ad naturalem frigiditatem redit : motus ab eadem vi magis imprimitur in mobili magis resistenti quam in eo quod minus resistit, ut in lapide magis quam in pumice levi. »

3. L'assimilation de l'*impetus* à une qualité, et notamment à la chaleur, est classique depuis Thémistius. Cf. Wohlwill, « Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes », *loc. cit.*, v. XIV, p. 379. et *supra*, p. 21, 26.

cette notion, Galilée nous offre-t-il « un exemple meilleur (1) » : celui de la cloche qui, mise en branle par un choc, acquiert de ce fait une *qualité sonore*, et sonne, c'est-à-dire émet un son en vertu de cette qualité qui lui est imprimée : ce qui explique pourquoi, sous l'action d'un choc instantané, la cloche peut émettre un son d'une certaine durée. La qualité sonore imprimée ou introduite par le choc dans la cloche ne lui est pas naturelle : aussi peu naturelle que la qualité motrice introduite par le jet dans la pierre. Mais une fois introduite ou imprimée, elle y est ; elle appartient à la cloche, à la pierre, et non au heurtoir ou à la main. Aussi possède-t-elle désormais une existence indépendante et n'a plus besoin d'être continuellement liée à sa source : le mouvement du mobile est un effet de la force (qualité motrice) qui l'anime. Point n'est besoin d'un moteur extérieur pour l'entretenir.

L'analogie, nous le voyons, va loin. Très loin même. Elle va, à dire vrai, beaucoup plus loin que ne le voudraient certains historiens de la science. La vertu ou qualité motrice n'est pas plus naturelle à la pierre (un corps est naturellement en repos) que l'émission du son ne l'est à la cloche. La vertu motrice — de même que la qualité sonore — est quelque chose d'« imprimé » à l'objet. Quelque chose, en outre, dont l'être consiste à agir (2). La qualité sonore est la cause du son, comme la qualité motrice est celle du mouvement. Et l'une comme l'autre, elles s'épuisent en produisant leurs effets : le son ou le mouvement. Aussi, la cloche ne sonne-t-elle pas indéfiniment, mais finit par se taire. Aussi, la pierre lancée ne vole-t-elle pas indéfiniment, mais, la force motrice épuisée, s'arrête et revient au repos (3).

Galilée est très ferme là-dessus : la notion de la qualité ou de force motrice, diversement imprimée par le moteur au mobile, permet de donner une explication complète du phénomène du jet. Nul besoin de s'embarrasser de l'inepte réaction du milieu inventée par Aristote.

Mais la notion de la force motrice imprimée au mobile n'implique-t-elle pas la continuation indéfinie du mouvement ? En d'autres termes : ne permet-elle pas de formuler le principe d'inertie ? On

1. *De Motu*, p. 310.

2. *De Motu*, p. 310 : « Privatur lapis quiete : introducitur in campanam *qualitas sonora* contraria eius naturali silentio ; introducitur in lapidem *qualitas motiva* contraria illius quieti. »

3. *De Motu*, p. 314 : « Nunc... prosequamur ostendere, hanc virtutem successive diminui. » Benedetti maintient, lui aussi, que l'*impetus impressus* s'affaiblit petit à petit. Mais, pas plus que ses devanciers, il n'en tire toutes les conséquences : ainsi il croit, comme tout le monde, à l'accélération initiale du mouvement violent.

sait que telle fut l'opinion de maint historien célèbre. Ce n'est pas, en tout cas, celle de Galilée (1). A l'encontre de certains de ses aînés (Cardan, Piccolomini, Scaliger) qui affirment que dans certaines conditions, à savoir lorsque le mouvement se fait sur une surface horizontale, l'*impetus* demeure immortel (2), Galilée affirme résolument son caractère essentiellement périssable. Le mouvement éternel reste impossible et absurde, justement parce qu'il est le produit de la force motrice qui s'épuise en le produisant (3). Aussi, s'effectue-t-il en se ralentissant toujours, et il est impossible d'assigner deux points où la vitesse du mobile eût été pareille. Galilée, qui a cependant lu Benedetti, et qui sait qu'un mouvement peut se ralentir indéfiniment (4), estime que cela suffit amplement pour démontrer la nécessité de l'arrêt. Erreur qui s'explique, sans doute, par la substitution involontaire de l'espace au temps, par la conclusion de la finitude du parcours à celle de sa durée. Peu importe d'ailleurs ; la leçon que nous donne Galilée n'en reste pas moins valable, et d'une importance capitale pour l'histoire de la science : la physique de l'*impetus* est incompatible avec le principe d'inertie.

Que le mouvement violent se ralentisse progressivement, que l'*impetus*, petit à petit, s'épuise, tout le monde, ou presque, l'admettait, sans doute. Du moins, tout le monde admettait bien que tel était le cas normal. Ce qui, ainsi que nous l'avons vu plus haut, n'empêchait aucunement ce même tout le monde de croire, dur comme fer, que tout mouvement, et notamment celui du jet, commence par une phase d'accélération. Même les artilleurs de la Renaissance croyaient fermement que le boulet, lancé par le canon, commence par augmenter sa vitesse, et atteint son maximum d'action à une certaine distance de la bouche (5).

1. *De Motu*, p. 314 sq. : « cap... in quo virtutem motivam successive in mobili debilitari ostenditur. » La raison principale que donne Galilée est justement l'impossibilité du mouvement inertial : « Quare, eadem argumentatione repetita, demonstrabitur, motum violentum nunquam recti, sed eadem velocitate semper et in infinitum ferri, eadem semper manente virtute motiva : quod certe absurdissimum est : non ergo verum est, in motu violento posse duo puncta assignari, in quibus eadem maneat virtus impellens. Quod demonstrandum fuit. »

2. DUREU, *De l'accélération*, etc., p. 887 et *infra*, II, p. 19.

3. *De Motu*, 314 : « Nec posse dari in eo motu duo puncta temporis, in quibus eadem sit virtus motiva. »

4. *De Motu*, p. 328 : « caput... in quo contra Aristotelem probatur, si motus naturalis in infinitum extendi posset, cum non in infinitum fieri velociorem... Velocitas augetur vel minuitur asymptotice », cf. *supra*, p. 52.

5. A quel point cette croyance absurde était enracinée dans les esprits, on s'en rendra compte en voyant Descartes, en 1630, écrire à Mersenne (*Lettre de janvier 1630*, A. T. v. I, p. 110, Adam-Milhaud, v. I, p. 115) : « Je voudrais bien aussi savoir si vous n'avez point expérimenté

Nous ne nous arrêterons pas aux explications plus ou moins ingénieuses de ce phénomène imaginaire : elles pourraient, cependant, nous servir de preuve supplémentaire du caractère imaginaire de la notion de l'*impetus*. En effet, il semble bien que, dès que l'on arrive à concevoir, d'une façon plus ou moins claire, la notion de force, dès que l'on arrive à comprendre le mouvement comme effet d'une force (naturelle ou impressée), il est impossible d'admettre une accélération spontanée du mouvement. Bien au contraire, on est obligé de reconnaître, ainsi que le fait Galilée, que le mouvement — du moins le mouvement violent, mouvement produit dans le corps par une « force impressée » — ne peut, de lui-même, que se ralentir.

Or, il est curieux de constater que, de tous les partisans de la physique de l'*impetus*, Galilée (avec Hipparque, semble-il, et Gaétane de Tyène (1)) fut le seul à l'avoir pleinement compris, le seul à avoir osé nier, comme impossible, un phénomène que ses prédécesseurs et contemporains se bornaient à expliquer.

Aussi fut-il amené à nier un autre phénomène, indubitable, cette fois-ci, à savoir l'accélération du mouvement de la chute. En effet la chute d'un corps s'effectue en vertu d'une force constante : son poids ; elle ne peut donc avoir une autre vitesse que constante.

Galilée le dit très nettement : la vitesse ou la lenteur du mouvement de la chute dépend d'une seule et même cause, notamment du plus

si une pierre jetée avec une fronde, ou la balle d'un mousquet, ou un traist d'arbalète, vont plus viste et ont plus de force au milieu de leur mouvement qu'ils n'en ont au commencement, et s'ils font plus d'effet. Car c'est là la créance du vulgaire, avec laquelle toutefois mes raisons ne s'accordent pas ; et je trouve que les choses qui sont poussées et qui ne se meuvent pas d'elles-mêmes, doivent avoir plus de force au commencement, qu'elles n'ont incontinent après. » En 1632 (A. T. v. I, p. 259, A. M. p. 233) et, à nouveau, en 1640, Descartes explique à son ami ce qu'il y a de vrai dans cette croyance : (*Lettre à Mersenne*, 11 mars 1640, A. T. v. II, p. 37 sq.) : « In motu projectorum ie ne croy point que le Missile aille iamais moins viste au commencement qu'à la fin, à conter dès le premier moment qu'il cesse d'estre poussé par la main ou la machine : mais ie croy bien qu'un mousquet, n'estant éloigné que d'un pied ou demy pied d'une muraille n'aura pas tant d'effet que s'il en estoit esloigné de quinze ou vingt pas, à cause que la balle, en sortant du mousquet, ne peut pas si aisement chasser l'air qui est entre luy, et cette muraille et ainsi doit aller moins viste que si la muraille estoit moins proche. Toutefois, c'est à l'expérience à déterminer si cette différence est sensible et ie doute fort de toutes celles que ie n'ay pas faites moy-mesme. » Beckmann, au contraire, nie carrément la possibilité d'une accélération, ou projectile, et écrit (*Beckmann à Mersenne*, 30 avr. 1630, v. Correspondance du Père Mersenne, Paris, 1936, vol. II, p. 437) : « Funditores vero ac pueri omnes qui existimant remotiora fortius ferire quam eadem propinquiora, certo certius falluntur. » Cependant il admet lui aussi qu'il y a quelque chose de vrai dans l'affaire et qu'il faut l'expliquer : « Non dixeram plenitudinem nimiam aeris impedire effectum tormentarii globi, sed pulverem pyrium extra bombardam jam existentem forsitan adhuc rarefieri, ideoque fieri posse ut globus tormentarius extra bombardam nova vi (simili tandem) propulsus, velocitate aliquandiu cresceret. »

1. Cf. DUREU, *Études sur L. de Vinci*, v. III, p. 111.

ou moins grand poids du corps tombant (1). La vitesse n'est pas quelque chose qui, du dehors, pour ainsi dire, détermine le mouvement, se surajoutant en quelque sorte à lui, ainsi que le pensait Aristote qui assignait une cause au mouvement et une autre à sa vitesse. La vitesse n'est pas fonction de la résistance du milieu : elle est quelque chose d'inhérent et de propre au mouvement même. La vitesse ne peut être distinguée du mouvement : en effet, celui qui pose un mouvement, pose nécessairement une vitesse ; et la lenteur n'est autre chose qu'une vitesse moindre (2). Ainsi, à un poids plus grand correspond une vitesse plus grande ; à un poids moindre, une moindre vitesse, et c'est l'inverse qui vaut pour la légèreté (3). Aussi la vitesse de la chute d'un corps est-elle : a) strictement proportionnelle à son poids, et b) pour chaque corps donné d'une valeur constante.

Voici, nettement exprimées par Galilée, les conséquences théoriques inévitables de la dynamique de l'*impetus*. Et cela suffit, nous semble-t-il, pour nous faire voir que celle-ci, en elle-même, fut une impasse (4). De nous expliquer aussi pourquoi — question qui inquiéta tellement Duhem — Nicole Oresme n'a pas appliqué au mouvement de la chute des corps les considérations théoriques — mathématiques — qu'il avait développées dans l'analyse de la « latitude des formes ». La réponse nous semble très simple : Oresme se comprenait mieux que ses historiens.

Nous venons de dire que Galilée avait nié l'accélération du mouvement de la chute. Pas entièrement cependant. Avec tout le monde, il était bien forcé de reconnaître qu'une pierre qui tombe va de plus en plus vite. Cette accélération, toutefois, nous dit-il, n'a lieu qu'au début du mouvement de la chute, jusqu'au moment où le corps qui tombe atteint sa vitesse propre, strictement proportionnelle, comme

1. *De Motu, Opere*, vol. I, p. 260 : « Caput... Unde eminet celeritas et tarditas motus naturalis. ... ex eadem causa pendere tarditatem et celeritatem, nempe ex maiori vel minori gravitate. »

2. *De Motu*, p. 264 : « Attendendum est celeritatem non distingui a motu : qui enim ponit motum, ponit necessario celeritatem ; et tarditas nihil aliud est quam minor celeritas. » Une échelle quantitative est ainsi substituée à une opposition de qualités. Cf. *ibid.*, p. 289 sq.

3. *De Motu*, p. 251 : « Latitudo omnia naturalem, sive deorsum sive sursum illa sit, a propria mobilis gravitate vel levitate fieri. »

4. Une impasse en soi. Mais il est certain que c'est la dynamique de l'*impetus* qui, au début du moins, servit de véhicule où, si l'on préfère, fournit l'habit imaginaire à la pensée archimédienne. Conception confuse, elle permettait le mélange d'éléments disparates dont Galilée verra clairement l'opposition.

nous le savons, à son poids. A partir de ce moment, par contre, elle reste constante et, ajoute Galilée, si nous avions pu faire une expérience, c'est-à-dire si nous disposions d'une tour suffisamment haute, nous verrions bien (lançant des poids du haut de cette tour) le mouvement accéléré se transformer en mouvement uniforme (1).

Pourquoi, cependant, y a-t-il une accélération au début ? Et, d'autre part, quelle est cette vitesse propre ? La réponse à cette seconde question est très simple, comme nous l'avons déjà vu : cette vitesse est fonction du poids. Ce n'est pas, toutefois, des poids absolus des corps qu'il s'agit, mais de leurs poids spécifiques. Un morceau de plomb tombera plus vite qu'un morceau de bois. Mais deux morceaux de plomb tomberont avec la même vitesse (2).

De plus, suivant d'ailleurs là encore l'exemple de Benedetti, Galilée introduit dans sa dynamique un élément nouveau qui, compris dans toute son importance, finira par la faire sauter : ce n'est pas, pratiquement, du poids spécifique absolu des corps qu'il s'agit, mais de leurs poids [spécifiques] relatifs (3).

Nous reviendrons toute de suite sur cette adjonction importante à la théorie classique. Reprenons pour l'instant le problème de l'accélération.

Selon la théorie de l'*impetus*, telle que l'a développée Galilée, les corps devraient tomber avec des vitesses constantes, et proportionnelles à leurs poids relatifs (4). Devraient... Mais, en fait, ils tombent avec des vitesses accélérées ; et ces vitesses ne sont nullement proportionnelles à leurs poids, même relatifs. Au contraire, ce sont les corps *légers* qui, au début de la chute, tombent le plus rapi-

1. *De Motu*, p. 334 sq.

2. *De Motu*, p. 263 : « Dicimus ergo mobilia eiusdem speciei... quamvis mole differant, tamen eadem celeritate moveri, nec citius descendere maior lapis quam minor. » L'opinion contraire, celle qui admet qu'un gros morceau de fer tomberait plus vite qu'un petit : « quae quidem opinio sit ridicula, luce clarius patet. » Car autrement — c'est l'argument de Benedetti — la somme de deux corps se mouvrait moins vite que le plus grand des deux *ibid.*, p. 265). Cf. *ibid.*, p. 275 : « Ex his quae in hoc et superiori capite tradita sunt, colligitur universaliter, mobilia diversae speciei eandem in suorum motuum celeritatibus servare proportionem, quam habent inter se gravitates ipsorum mobilium, dum fuerint aequales mole ; et hoc quidem non simpliciter, sed in eo medio ponderata in quo fieri debet motus. »

3. *De Motu*, p. 254 : « Ex hoc autem patet, quomodo in motu non sit solum habenda ratio de mobilis gravitate vel levitate, sed de gravitate etiam et de levitate medii per quod fit motus : nisi enim aqua levior esset lapide, tunc lapis in aqua non descenderet. » — *Ibid.*, p. 262 : « Diversa mobilia in eodem medio mota aliam servare proportionem ac quae illis ab Aristotele est tributa. » Notamment, la proportion est arithmétique et non géométrique. Galilée, à la suite de Benedetti, applique au problème de la chute des théorèmes de l'hydrostatique. Cf. *ibid.*, p. 272 : « Excessus quibus gravitas sua mediorum gravitates excedit. »

4. *De Motu*, p. 272 : « Erunt enim inter se talium mobilium velocitates, ut excessus quibus gravitates mobilium gravitatem medii excedunt. »

dement. Ce n'est que plus tard que les corps lourds parviennent à les rattraper et à les dépasser. Ce dont on peut, selon Galilée, se convaincre facilement *par expérience* (1).

Cette divergence entre la théorie et la pratique s'explique par le fait que la théorie est établie, en quelque sorte, dans l'abstrait. Elle vaut pour le cas pur, le cas de corps soumis uniquement à l'action de la pesanteur, cas que nous ne rencontrons pas dans la réalité. Dans le réel, en effet, la pesanteur n'agit jamais seule, mais se combine toujours avec la légèreté. C'est l'action modificatrice de cette dernière qu'il nous faut étudier maintenant.

Prenons, par exemple, le cas d'un corps pesant lancé verticalement en l'air. S'il s'élève, c'est que nous lui avons imprimé une légèreté *praeter naturam*, qui, justement, le porte vers le haut (2). Mais, outre cette légèreté *praeter naturam* que nous lui avons imprimée, le mobile garde toujours sa pesanteur naturelle qui, elle, le pousse vers le bas. La légèreté *praeter naturam* doit donc, tout d'abord, compenser la résistance ou action naturelle du poids : le corps ne s'élèvera, en général, que si la légèreté imprimée au corps est plus grande que son poids ; il ne s'élèvera, en outre, que dans la mesure où elle le sera. En effet, c'est seulement ce surplus, la différence entre la légèreté *praeter naturam* et le poids naturel, qui entre en action pour produire le mouvement ascensionnel.

Or, en produisant ce mouvement ascensionnel, la légèreté *praeter naturam* (comme toute force impressée) s'épuise par et dans son action même. A un moment donné le « surplus » sera tout dépensé. Le corps, alors, cessera de monter et commencera à descendre en vertu de sa propre gravité naturelle (3).

Toutefois, et c'est là le point important, ce n'est pas toute la légè-

1. *De Motu*, p. 334 : « Experientia tamen contrarium docet: verum enim est, lignum in principio sui motus ocius ferri plumbo: attamen paulo post adeo acceleratur motus plumbi, ut lignum post se relinquat, et, si ex alta turri demittantur, per magnum spatium praecedat: et de hoc saepe periculum feci. » On le voit : les « expériences » de Galilée sont fort sujettes à caution.

2. *De Motu*, p. 311 : « Cum enim leve illud dicamus quod sursum fertur, lapis autem sursum fertur, ergo lapis levis est dum sursum fertur. Sed dices, leve illud esse quod sursum naturaliter fertur, non autem, quod vi. Ego autem dicam, leve id naturaliter esse quod sursum naturaliter fertur: leve autem id praeternaturaliter aut per accidens aut vi esse, quod sursum praeter naturam, per accidens et vi fertur. Talis autem est lapis a virtute impulsus. »

3. *De Motu*, p. 314 : « Sic proiectum levi impellente liberatum suam veram et intrinsicam gravitatem descendendo prae se fert. » A la suite de Benedetti, mais d'une façon originale, Galilée démontre qu'au moment du renversement de la direction du mouvement, il n'y aura pas d'arrêt, ainsi qu'on le croyait. Cf. *ib.*, p. 323 : « Caput... In quo contra Aristotelem et communem sententiam ostenditur in puncto reflexionis non dari quietem. » *Ib.*, p. 323 : « si enim semel quiescerent, semper deinde quiescerent. »

reté *praeter naturam* qui se trouve épuisée à cet instant, mais seulement son « surplus ». Le moment où commence la descente est, en effet, celui où la légèreté *praeter naturam* et la pesanteur naturelle s'équilibrent exactement. Le corps qui tombe n'est donc pas soumis à l'action de la pesanteur seule, mais aussi à celle de la légèreté précédemment imprimée ou, plus exactement, de ce qui en reste. Or, il en reste une quantité non négligeable (égale au poids) et, si elle n'est plus capable de faire monter le corps en question, elle est suffisante pour retarder son mouvement de descente. En effet, la force qui porte le corps vers le bas, ce n'est pas toute sa pesanteur, mais seulement le surplus de la pesanteur sur la légèreté impressée. Et c'est à mesure que ce surplus augmente (par suite de la diminution de la légèreté impressée qui s'épuise dans et par son action retardatrice) que la vitesse de la chute augmente également. Jusqu'au moment où, la légèreté ayant été entièrement épuisée, le corps, sous l'action de la pesanteur seule, se meut avec une vitesse désormais uniforme (1).

On le voit : la vitesse accélérée de la chute n'est, en réalité, qu'une vitesse progressivement dé retardée.

Mais, dira-t-on, cette solution ne vaut que pour les corps auxquels une « légèreté *praeter naturam* » aurait été effectivement imprimée, c'est-à-dire, elle ne vaut que pour les corps effectivement lancés vers le haut. Nullement, répond Galilée, elle vaut pour tous les corps. En effet, supposons qu'au moment même où un corps lancé vers le haut cesserait de monter et commencerait à descendre, il soit arrêté dans son mouvement : n'est-il pas clair qu'il garderait alors, emmagasinée en quelque sorte, toute la légèreté *praeter naturam* qu'il posséderait à cet instant ? Et que si, après un temps quelconque, nous le relâchions, son mouvement descendant ne se ressentirait aucunement de cet arrêt ? Nous pouvons donc assimiler le corps posé au haut d'une tour à un corps lancé à une hauteur égale (2). D'ailleurs, ce corps au haut de la tour n'éprouve-t-il pas de la part de son support une pression vers le haut (qui l'empêche de descendre), pression exactement égale à son poids (3) ? C'est cette pression qui lui imprime

1. *De Motu*, pp. 315 sq. : « Cap... in quo causa accelerationis motus naturalis in fine longe alia ab ea quam Aristotelici assignant, in medio affertur », p. 329. « Naturalis resumatur gravitas, atque idcirco remota causa, acceleratio desinat. » Il n'est peut-être pas inutile de rappeler que Descartes, lui aussi, avait admis que l'accélération de la chute n'avait lieu qu'au début, et que le corps tombant finissait par se mouvoir avec une vitesse presque uniforme. En fait, sans gravitation, l'accélération est inexplicable.

2. Voir *De Motu*, p. 336 sq.

3. *De Motu*, p. 296.

justement la légèreté outre-nature qui retardera le mouvement de sa chute. Et l'on peut considérer que tous les corps qui se trouvent sur la terre, étant éloignés de son centre, sont dans une situation analogue à celle des corps au sommet de la tour (1).

Or, nous l'avons déjà vu plus haut, les corps ne sont pas également capables de recevoir et de conserver l'*impetus*, la qualité motrice, la légèreté *præter naturam*. Les corps légers, notamment, en prennent moins et le conservent moins bien. C'est là justement la raison pour laquelle ils tombent, au début de la chute, *plus vite* que les corps lourds et denses qui, s'étant imprégnés de légèreté, ne la rendent qu'à contre-cœur (2).

La théorie que nous venons d'exposer — et dont Galilée se montre très fier — était, à vrai dire, bien moins originale qu'il ne le croyait, puisqu'elle avait été esquissée déjà par Hipparque (3) ; et aussi moins belle qu'il ne le pensait, puisqu'elle aboutit à des contradictions flagrantes. Mais elle nous montre bien l'esprit de la dynamique de l'*impetus*, et c'est en cela que consistent, pour nous, son intérêt et sa valeur. Aussi pouvons-nous renoncer à exposer ici les détails de cette dynamique, telle que la développe Galilée, et nous tourner maintenant vers un autre aspect de sa pensée, aspect que nous avons eu déjà l'occasion de frôler : l'aspect archimédien.

Nous avons déjà mentionné plus haut que Galilée, parlant de la légèreté (naturelle ou *supra naturam*), la définit comme cause de l'ascension, et que, d'autre part, la vitesse de la chute des corps est déterminée, selon lui (4), non pas par leurs poids absolus, mais par leurs poids spécifiques et relatifs. Précisions importantes (énoncées déjà par Benedetti) qui s'éclairent l'une par l'autre et qui, finalement, permettront à Galilée de transcender à la fois et l'aristotélisme et la dynamique de l'*impetus*, en leur substituant — ou, plus exacte-

1. Ce qui — mais Galilée ne le voit pas — est nettement incompatible avec une *vitesse constante* de la chute.

2. *De Motu*, p. 313 : « Mobile, quo levius erit, eo quidem facilius movetur dum motori est coniunctum. Sed, a movente relictum, brevi tempore impetum receptum retinet : facilius moveri, sed minus impetum receptum retinere. » Cf. pp. 333 sq. « caput... in quo causa assignatur, cur minus gravia in principio sui motus naturalis velocius moveantur quam gravia ».

3. Cf. *supra*, p. 31. Il est, à vrai dire, difficile d'admettre que Galilée ait pu croire à son originalité.

4. Cf. le texte cité *supra*, p. 61, n. 3 et 4.

ment, en essayant de leur substituer — une physique quantitative, dont Archimède lui fournira le modèle. La légèreté est ce qui fait qu'un corps s'élève (1) : de prime abord, cela semble n'être que la définition classique de la légèreté, cause de l'ascension des corps. En fait, c'est tout le contraire. La légèreté et la lourdeur ne sont plus comprises comme des causes qui produisent des effets déterminés ; elles sont, au contraire, définies à partir de leurs effets. La légèreté est ce qui fait que le corps monte ; la lourdeur est ce qui fait que le corps descend. Mais un corps « lourd » placé sur le plateau d'une balance s'élève lorsque l'autre plateau s'abaisse. Mais un morceau de bois qui tombe dans l'air s'élève lorsqu'il est placé au fond de l'eau. C'est que contrairement à l'opinion d'Aristote et conformément à la doctrine des « anciens », « lourd » et « léger » ne sont pas des qualités absolues (2), mais des propriétés relatives, ou mieux encore, de simples relations. Un corps est léger ou lourd, c'est-à-dire s'élève ou s'abaisse, selon les circonstances et selon le milieu où il est placé. S'il est plus lourd que celui-ci, il descend ; s'il est moins lourd, il monte. (Ainsi le bois dans l'air et dans l'eau.) Et la force (par conséquent aussi la vitesse) avec laquelle il descend ou monte est justement mesurée par la différence entre son poids à lui (spécifique) et le poids d'un volume égal du milieu dans lequel il se trouve (3). Ce qui implique que tout corps possède un *poids absolu*, déterminé par la quantité de matière qu'il comprend dans une unité de volume ; par là se trouve précisée la doctrine des « anciens » selon laquelle tous les corps sont pesants, et il n'y a pas, absolument parlant, de corps légers. Aristote s'est trompé une fois de plus (4).

Le raisonnement de Galilée — qui, d'ailleurs, ne fait que suivre

1. Voir *De Motu*, p. 289. « Cum gravia definiantur ea esse quae deorsum feruntur, levia vero quae sursum. »

2. Voir *De Motu*, p. 289. « Caput... in quo contra Aristotelem concluditur, non esse ponendum simpliciter leve et simpliciter grave : quae etiam si darentur, non erunt terra et ignis ut ipse credidit ; » cf. *supra*, pp. 29 sq. 49, 51.

3. Voir *De Motu*, p. 289 : « Grave et leve non nisi in comparatione ad minus gravia vel levia considerantur qui ante Aristotelem ; et hoc quidem, meo iudicio, iure optimo : Aristoteles autem 4^o Caeli, opinionem antiquorum confutare nititur, suamque huic contrariam confirmare. Nos autem, antiquorum in hoc opinione secuti. » Cf. le texte cité *supra*, p. 62, n. 2.

4. *De Motu*, p. 289 : « Quod si... per se, simpliciter et absolute... quaeratur utrum elementa gravia sint, respondemus, nedum aquam aut terram aut aerem, verum etiam et ignem, et si quid igne sit levius, gravitatem habere et demum omnia quae cum substantia quantitatem et materiam habeant coniunctam. » *Ib.*, p. 355 : « Gravitate corpus nullum expers esse, contra Aristotelis opinionem. » Thèse, en dernière analyse, démocratienne, que l'on retrouve déjà chez Nicole Oresme et chez Copernic. Galilée se réclame ici des « anciens » (p. 289) et de Platon (p. 292). Cf. p. 293 : « gravissimum non possit definiri aut mente concipi nisi quatenus minus gravibus substat... nec corpus levissimum esse id quod omni careat gravitate, hoc enim est vacuum, non corpus aliquod. »

celui de Benedetti — est, de toute évidence, une transposition du raisonnement archimédien (1). Or, cette extension de l'hydrostatique est lourde de conséquences très graves : elle implique notamment la substitution d'une échelle quantitative à une opposition de qualités.

Cette substitution, que Benedetti avait tenté avant lui, et qui était impliquée dans la doctrine des « anciens », Galilée en comprend fort bien l'importance. Aussi insiste-t-il là-dessus. La légèreté n'est pas une qualité (la lourdeur, distincte du *poids*, non plus) : elle est une résultante (2). Le mouvement vers le haut n'est donc pas un mouvement naturel (3). Les corps qui s'élèvent ne s'élèvent jamais par eux-mêmes, spontanément : s'ils s'élèvent, c'est *vi*, c'est parce qu'ils sont repoussés par d'autres, plus lourds qu'eux. Le seul mouvement naturel que reconnaît désormais Galilée est celui des corps pesants (et ils le sont tous, même l'air, même le feu) vers le bas, c'est-à-dire vers le centre du monde. C'est aussi le seul mouvement qui possède encore un but naturel : celui-ci manque au mouvement vers le haut.

La distinction entre poids absolu et poids relatif (et le poids que nous mesurons habituellement par nos balances est toujours relatif), l'affirmation répétée que la vitesse de la chute d'un corps est fonction de son poids relatif dans le milieu donné (et non de son poids absolu), nous amènent inévitablement à la conclusion — déjà admise par

1. *De Motu*, p. 275 : « Eadem vi, qua sphaera plumbea resistit ne sursum trahatur deorsum etiam fertur : ergo sphaera plumbea fertur deorsum tanta vi quanta est gravitas qua excedit gravitatem sphaerae aquae. Hoc autem licet in lancis ponderibus intueri. » Cf. p. 342.

2. *De Motu*, p. 270 : « Motus sursum fit a gravitate, non quidem mobilis, sed medii : ...celeritas motuum sursum, esse, sicut excessus gravitatis unius medii super gravitatem mobilis se habet ad excessum gravitatis alterius medii super gravitatem eiusdem mobilis. » *Ib.*, p. 259 : « in mobilibus etiam naturalibus, sicut et in ponderibus lancis, potest motuum omnium, tam sursum quam deorsum, causa reduci ad solam gravitatem. Quando enim quid fertur sursum, tunc attollitur a gravitate medii » ; cf. *ib.* p. 361 sqq. Sur la réduction de la légèreté à une différence de poids, et du mouvement *sursum* à un mouvement d'extrusion, conception adoptée par Nicole Oresme et, d'une manière différente, par Copernic, cf. *supra*, p. 29.

3. *De Motu*, p. 352 sq : « *Motus sursum nullum naturalem esse* : Condicio ex parte motus... est ut non possit in infinitum esse et ad indeterminatum, sed ut sit finitus et terminatus... ad aliquem terminum, in quo naturaliter quiescere possit... ut non ab extrinseca sed intrinseca moveatur causa... motum sursum, ratione qua elongatio quaedam est a centro, non posse esse naturalem. » *Ibid.*, p. 359 : « At simpliciter sursum, quo nihil magis sursum et quod etiam ut deorsum esse non possit, non solum actu non datur, verum neque ipsa cogitatione concipi potest. » *Ibid.*, p. 361 : « Motum sursum ex parte mobilis naturalem esse non posse » ; p. 363 : « Corpora sursum per extrusionem moventur. » p. 359 : « talem motum posse dici violentum. »

Benedetti pour des raisons semblables — que c'est dans le vide, et seulement dans le vide, que les corps pèsent leurs poids absolus (1) et tombent avec une vitesse qui est effectivement — étant fonction de leurs poids *absolus* — leur vitesse propre (2).

Cette conclusion, profondément opposée aux dogmes les plus fondamentaux de la physique d'Aristote (3), une fois acquise, peut être rattachée à la notion du mouvement, effet d'une force motrice imprimée ou incluse dans le mobile. En effet, nous l'avons déjà dit, dans cette conception-là, le mouvement n'est plus ce qu'il était pour Aristote, un processus, un passage d'un lieu à un autre lieu, d'un état à un autre état. Il n'est pas encore — il s'en faut de beaucoup — lui-même un « état » : c'est là la raison pour laquelle il ne se conserve pas automatiquement. Il est, nous l'avons vu, l'effet d'une force. Mais cette force étant tout entière comprise, ou incluse, dans le mobile, le mouvement du mobile n'implique, en principe, rien en dehors de lui-même (4). On peut fort bien, dans cette conception, se représenter un mobile (en mouvement) isolé du reste de l'univers. On peut aussi le placer dans le vide. La vitesse du mobile étant fonction de la force qui le meut, l'absence de résistance n'implique aucunement une vitesse infinie. Et si le mobile, animé d'un mouvement violent, se comporte toujours *aliter et aliter* et par rapport à lui-même (puisque sa vitesse sera à chaque instant autre et autre) et par rapport au centre du monde (puisque'il changera constamment de position), un mobile, animé d'un mouvement naturel, se compor-

1. Tout un chapitre est consacré par Galilée à réfuter l'enseignement d'Aristote sur l'impossibilité du vide, cf. *De Motu*, p. 276. « Quod si in vacuo ponderari possent, tunc certe, ubi nulla medii gravitas ponderum gravitatem minueret, eorum exactas perciperemus gravitates. Sed quia Peripatetici, cum principe suo, dixerunt, in vacuo nullos fieri posse motus et ideo omnia aequae ponderare, forte non absonum erit hanc opinionem examinare et eius fundamenta et demonstrationes pendere : haec enim quaestio est una eorum quae de motu sunt. »

2. *De Motu*, p. 294 : « Caput... in quo contra Aristotelem et Themistium demonstratur, in vacuo solum differentias gravitatum et motuum exacte discerni posse. » Themistius, avec Aristote, affirme l'égalité de vitesse des corps dans le vide : « Quanto autem haec falsa sint mox innotescet, cum, quomodo in solo vacuo possint vera gravitatum et motuum discrimina dari, et in pleno nulla haec inveniri posse, declaraverimus. »

3. *Ib.* 282 : « Dicere ex. gr. in vacuo non magis huc quam illuc, aut sursum quam deorsum, movebitur mobile, quia non magis versus sursum quam deorsum cedit vacuum sed undique aequaliter, puerile est : nam hoc idem dicam de aere ; cum enim lapis est in aere, quomodo magis cedit deorsum quam sursum, aut sinistrorsum quam dextrorsum, si aeris ubique eadem est raritas ?... cum dicunt : in vacuo non est neque sursum neque deorsum, quis hoc somniavit ? Nonne, si vacuum esset aer, vacuum prope terram esset centro propinquius vacuo quod esset prope ignem... Et, primo, Aristoteles peccat in hoc, quod non ostendit quomodo absurdum sit, in vacuo diversa mobilia eadem celeritate moveri, sed magis peccat... quare nec celeritates erunt aequales. » Cf. plus bas, p. 71 et plus haut p. 49.

4. Dans la dynamique de l'*impetus*, le mouvement absolu est donc possible.

tera, certes, *aliter et aliter* par rapport au centre du monde, mais par rapport à lui-même, sa vitesse étant (dans le vide) constante, il demeurera, au contraire, *idem et idem*.

Nous voyons bien : le mouvement s'émancipe ; le Cosmos se disloque ; l'espace se géométrise. Nous sommes sur la voie qui mène au principe d'inertie. Mais nous n'y sommes pas encore. En fait, nous en sommes très loin. Si loin que pour y arriver, nous devons abandonner en route et la notion du mouvement-effet et la distinction des mouvements en « naturel » et « violents (1) » et la notion et le nom même de « lieu ». Route très longue et très difficile ; et l'on sait que Galilée lui-même ne l'a pas entièrement parcourue.

Mais cela, c'est une autre histoire ; une histoire dont nous n'avons pas à nous occuper ici (2). A l'époque que nous étudions, Galilée vient seulement de s'engager sur la voie. Il y a encore, pour lui, un « lieu naturel », un seul : le centre du monde ; il y a un mouvement naturel, un seul également : celui qui va vers ce centre (3). Il y a même, encore, un résidu de l'ordre cosmique : les corps lourds se placent effectivement au — ou près du — centre du monde ; les corps plus légers en couches concentriques autour des premiers. Conception curieuse qui montre bien la difficulté qu'éprouve Galilée à se libérer des cadres traditionnels de la représentation du monde : l'ordre concentrique des éléments est conservé ; mais il est expliqué par des considérations géométriques : les corps les plus lourds étant les corps les plus denses, se placent naturellement là où il y a le moins de place pour recevoir la matière, c'est-à-dire au centre du globe de l'Univers (4), ainsi supposé réel.

1. Galilée en fait la critique : *De Motu*, p. 304 : « caput... in quo de motu circulari quaeritur, an sit naturalis an violentus. Motus... naturalis est dum mobilia, incedendo, ad loca propria accedunt ; violentus vero est dum mobilia, quae moventur, a proprio loco recedunt. Haec cum ita se habeant, manifestum est, sphaeram super mundi centrum circumvolutam neque naturali neque violento motu moveri. » *Ibid.*, p. 305 : « si sphaera esset in centro mundi, nec naturaliter nec violententer circumageretur, quaeritur, utrum, accepto motus principio ab externo motore, perpetuo moveretur, necne. Si enim non praeter naturam movetur, videtur quod perpetuo moveri deberet ; sed si non secundum naturam, videtur quod tandem quiescere debeat. »

2. Voir *infra* : *Galilée et le principe d'inertie*, c. I, § 2.

3. Exemple instructif de la persistance d'une notion « naturelle » : celle de la chute des graves. Il est curieux de constater que Copernic était parvenu à s'en débarrasser, tandis que Galilée ne réussira jamais à s'en défaire entièrement.

4. *De Motu*, p. 252 : « cap. Gravia in inferiori loco, levia vero in sublimi a natura constituta esse, et cur. Cum enim ut antiquioribus philosophis placuit, una omnium corporum sit materia, et illa quidem graviora sint quae in angustiori spatio plures illius materiae particulas includerent, ut iidem philosophi, immerito fortasse ab Aristotele 4 Caeli confutati assererant ; rationi profecto consentaneum fuit, ut quae in angustiori loco plus materiae concluderent, angustiora etiam loca, qualia sunt quae centro magis accedunt, occuparent. » *Cf. ib.*, p. 345.

Et pourtant, ce globe de l'Univers, qu'il est déjà devenu vague et imprécis ! En effet, dans sa critique de la notion aristotélicienne du mouvement naturel, là même où Galilée admet le caractère *naturel* du mouvement vers le bas, *deorsum*, il proteste contre le caractère naturel du mouvement vers le haut, *sursum*, et le fait non seulement parce que, tous les corps étant lourds, ce mouvement est toujours violent, mais encore parce qu'il ne possède pas de terme naturel. On ne peut pas toujours descendre. On peut, par contre, toujours aller plus haut (1).

Texte curieux qui montre bien comment — sans doute sous l'influence de Copernic (2) — s'opère, dans l'esprit de Galilée, une transformation graduelle. Le centre de l'Univers est toujours là. Mais la sphère du Cosmos s'élargit, devient indéfinie, perd, pour ainsi dire, sa circonférence. Il suffirait qu'elle devienne infinie (3) pour que, dans l'espace désormais homogène, disparaisse tout vestige du Cosmos antique, disparaissent tout « lieu » et toute direction privilégiés. Il suffirait ... mais aussi, quel effort de pensée implique ce « suffirait » ! Galilée ne franchit pas la borne. Seul Bruno — qui n'était ni astrologue ni physicien — a pu effectuer le pas décisif (4).

Revenons maintenant un peu en arrière. D'où vient cette curieuse physique mécanique — tous les mouvements des corps peuvent, dit Galilée bien souvent, être réduits au principe de la balance (5) — et hydromécanique que nous avons aperçu chez Benedetti et que nous venons de rencontrer chez Galilée ? Nous l'avons déjà

1. Cf. les textes cités, *supra*, p. 66.

2. L'influence de Copernic sur l'évolution de la pensée de Galilée a été mise en valeur par P. TANNERY, *Galilée et les principes de la dynamique*. Mémoires scientifiques, vol. VI, Paris, 1926, pp. 400 sq. cf. plus bas, III, pp. 45 sq.

Galilée est copernicien, en quelque sorte, *ab initio*. Et cela s'explique si l'on songe que J. B. Benedetti est un copernicien résolu. V. E. WOHNWILL, *Galilei und sein Kampf*, etc. v. I, p. 19 sq.

3. C'est en cela que M. S. HESSEN, — justement d'ailleurs — voit le sens de la révolution galiléenne, v. S. HESSEN, « Die Entwicklung der Physik Galileis und ihr Verhältnis zum physikalischen System von Aristoteles », *Logos*, v. XVIII, p. 339 sq.

M. Hessen ne nous paraît pas cependant apprécier à sa juste valeur le fait que Galilée lui-même n'a pas infinitisé l'Univers.

4. Voir P. DUHEM, *Études sur Léonard de Vinci*, III, p. 257 sq. et plus bas *Galilée et le principe d'inertie*, cap. I, § 2. Nous profitons de l'occasion pour insister sur ce cas — assez rare, — où la philosophie a devancé la science.

5. *De Motu*, p. 259 : « ...naturalium mobilium motus ad ponderum in lance motum congrue educatur. » Cf. *supra* p. 66 n. et 2.

dit bien souvent : elle provient en droite ligne d'Archimède. D'Archimède dont Galilée n'écrit jamais le nom sans l'accompagner des épithètes les plus laudatives et sous l'autorité duquel il va se placer (1). Avec bon droit, sans aucun doute.

D'ailleurs, Galilée ne fut pas le seul à admirer par-dessus tout Archimède. Depuis que Tartaglia — qui, à vrai dire, n'a pas su en tirer grand'chose — avait édité ses œuvres en traduction latine, sa gloire d'abord, son influence ensuite ne font que grandir. A tel point que Cardan, qui, très sérieusement, s'amuse à classer les grands hommes par ordre de précellence, assigne la première place — au-dessus d'Aristote — à Archimède, seul à son rang (2). Il est vrai que tout de suite, Scaliger proteste : mettre cet artisan au-dessus d'Euclide, au-dessus d'Aristote, au-dessus de Duns Scot et d'Occam ! Quelle ineptie ! Pourtant, l'opinion de Cardan est bien significative. Elle marque l'ascendant croissant d'Archimède. Quant à l'influence, il est bien visible que les deux meilleurs mécaniciens de l'époque, Guidobaldo del Monte et Jean Baptiste Benedetti, doivent le plus clair de leur pensée à Archimède. Et quant à Galilée, on peut dire qu'il a, en quelque sorte, grandi à l'école d'Archimède.

En effet, c'est par la *Bilancetta* (3) — traité de la balance hydrostatique — que le jeune Galilée débute dans la vie scientifique ; c'est à un travail sur le centre de gravité des solides, d'inspiration et de technique tout archimédienne, qu'il doit sa première chaire de mathématiques à l'Université de Pise ; et c'est en se mettant consciemment et résolument à l'école d'Archimède, en adhérant à la tradition de pensée qu'il représente — pour les « anciens » (4) contre Aristote — que Galilée arrive à dépasser la physique de la force impressée, à s'élever au niveau d'une physique mathématique, qui n'est autre chose qu'une dynamique archimédienne.

La physique de l'*impetus*, de l'élan, de la force impressée — nous l'avons déjà dit et répété, mais il convient de le redire, — était une réaction du sens commun, de l'expérience journalière et brute contre la cosmophysique théorique d'Aristote. Les notions qu'elle met en œuvre ne sont que des prolongements abstraits du sens commun.

1. *De Motu*, p. 300 : cité plus bas, p. 72.

2. Cf. P. DUBEM, *Études sur Léonard de Vinci*, III, p. 199.

3. Voir *Opere*, v. I, p. 210 sq.

4. *De Motu*, p. 359 : « Haec Aristoteles contra antiquos et nos pro antiquis. » Les anciens, estime E. Goldbeck, *Galileis Atomistik*, Bibliotheca Mathematica, N. F., vol. III/1, ce sont les atomistes grecs. Ce qui est parfaitement exact ; remarquons cependant que ce sont les « anciens » de la tradition scolaire, cf. *supra*, p. 29. C'est aussi Platon et Archimède.

Aussi — malgré le génie mathématique de Nicole Oresme, malgré la géométrisation de l'espace ultra-cosmique dans l'école parisienne — ne peuvent-elles pas rejoindre les notions mathématiques qui s'élaborent à côté d'elles.

Tout autres sont les notions que, suivant et dépassant l'exemple de Benedetti, Galilée, dès Pise, commence à employer pour son analyse du mouvement. Lorsqu'il étudie, par exemple, le mouvement d'un corps sur un plan incliné (qu'il réduit, d'ailleurs, à l'étude du levier) ; lorsqu'il nous montre que, sur un plan horizontal, une force aussi petite que l'on veut suffit pour mettre une sphère si grande que l'on veut en mouvement (1) ; ou lorsque, dans sa critique de la dynamique d'Aristote, et pour étayer sa propre théorie de la chute des corps dans le vide, il nous montre que l'accroissement de la vitesse du mobile, due à la diminution de la résistance, ne dépasse jamais certaines grandeurs finies (l'accroissement se faisant *asymptotique*) et que, par conséquent, la disparition totale de la résistance dans le vide n'a pas pour effet de rendre cette vitesse infinie (2) ; lorsque, en général, il étudie le mouvement dans le vide, etc., il se met d'emblée et consciemment en dehors de la réalité. Un plan absolument lisse, une sphère absolument sphérique, tous deux absolument durs : ce sont là des choses qu'on ne trouve pas dans la réalité physique (3).

1. *De Motu*, pp. 296, 298. Aussi le mouvement sur le plan horizontal n'est-il ni naturel ni *contra naturam*, p. 299 : « Amplius : mobile, nullam extrinsecam habens resistantiam, in plano sub horizonte quantulumcunque inclinato naturaliter descendet, nulla adhibita vi extrinseca... et idem mobile in plano quantulumcunque super horizontem erecto non nisi violenter ascendit : ergo restat, quod in ipso horizonte nec naturaliter nec violenter moveatur. Quod si non violenter movetur, ergo a vi omnium minima moveri poterit. Quod etiam aliter demonstrare possumus : nempe, quodcunque mobile nullam extrinsecam resistantiam patiens, a vi quae minor sit quacunque vi proposita, in plano quod nec sursum nec deorsum tendat, moveri posse. » Cf. p. 68, n. 1.

2. *De Motu*, p. 276 sq. : « Caput... ubi, contra Aristotelem, demonstratur, si vacuum esset, motum in instanti non contingere, sed in tempore. »

« Posuit enim ejusdem mobilis motus in diversis mediis eam, in celeritate, inter se proportionem servare, quam habent mediis subtilitates : quod quidem falsum esse, supra abunde demonstratum est... Et quod eodem loco scribit Aristoteles, quod impossibile est numerum ad numerum eam habere proportionem quam numerus ad nihil, verum quidem est de proportionem geometrica, et non solum in numeris sed in omni quantitate... Attamen hoc non est necessarium in proportionibus arithmetis : potest enim in his numerus ad numerum eam habere proportionem quam numerus ad nihil. Quare... si celeritas ad celeritatem non geometrica sed arithmetice dictam proportionem servaret, iam nullum absurdum sequeretur. At certe quidem celeritas ad celeritatem [se habet] sicut excessus gravitatis mobilis super huius medii gravitatem... Quapropter in vacuo quoque eadem ratione movebitur mobile, qua in pleno. » Sans doute dans le vide le mouvement sera-t-il le plus rapide. En effet, puisque : « Excessum super nihil est maius quam in medio », la chute sera *velocissima*. Cf. *supra*, pp. 49, 51.

3. *De Motu*, p. 296. : « Caput in quo agitur de proportionibus motuum eiusdem mobilis super diversa plana inclinata... manifestum est, grave deorsum ferri tanta vi, quanta esset ne-

Ce ne sont pas des concepts qu'on tire de l'expérience : ce sont des concepts qu'on lui suppose. Aussi ne faut-il pas s'étonner de voir que la réalité de l'« expérience » ne peut entièrement s'accorder avec la déduction (1). C'est pourtant cette dernière qui a raison. C'est elle, ce sont ses concepts « fictifs » qui nous permettent de comprendre et d'expliquer la nature, de lui poser des questions, d'interpréter ses réponses. En face de l'empirisme abstraitif, Galilée revendique le droit supérieur du mathématisme platonicien.

Toutefois ce n'est pas encore l'autorité du divin Platon (2) qui est invoquée en faveur des « licences mathématiques » de la nouvelle physique (ainsi en faveur de l'emploi de l'hypothèse du parallélisme des lignes de force de la pesanteur), c'est l'exemple du « suprahumain » Archimède (3).

Peut-on marquer plus clairement la filiation historique ? Peut-on plus nettement nous faire comprendre le sens de la révolution scientifique qui est en train de s'accomplir ? Après avoir rejeté la physique d'Aristote, après avoir tenté, sans succès, de construire lui-même une physique du sens commun, c'est une physique archimédienne que va désormais essayer de fonder Galilée (4).

Une physique archimédienne cela veut dire une physique mathématique déductive et « abstraite » : telle sera la physique que Galilée développera à Padoue. Physique de l'hypothèse mathématique ; physique dans laquelle les lois du mouvement, la loi de la chute des graves sont déduites « abstraitement », sans faire usage de la notion

cessaria ad illud sursum trahendum : hoc est fertur deorsum tanta vi, quanta resistit, ne ascendat », p. 298 : « Haec demonstratio intelligenda est nulla existente accidentali resistentia... : supponendum est, planum esse quoddammodo incorporeum... mobile esse expolitissimum, figura perfecta sphaerica. Quare omnia si ita disposita fuerint, quodcunque mobile super planum horizonti aequidistans a minima vi movebitur, imo et a vi minori quam quaevis alia vis. Et hoc, quia videtur satis creditu difficile... demonstrabitur hac demonstratione. »

1. *De Motu*, p. 300 : « Et haec quae demonstravimus, ut etiam supra diximus, intelligenda sunt de mobilibus ab omni extrinseca resistentia immunibus : quae quidem cum forte impossibile sit in materia invenire, ne miretur aliquis, de his periculum faciens, si experientia frustratur, et magna sphaera, etiam si in plano horizontali, minima vi non possit moveri. Accedit enim, praeter causas iam dictas, etiam haec : scilicet, planum non vere posse esse horizonti aequidistans. Superficies enim terrae sphaerica est, cui non potest aequidistare planum : quare plano in uno tantum puncto sphaeram contingente, si a tali puncto recedamus, necesse est ascendere... »

2. Cela viendra plus tard, lorsque Galilée aura compris que son mathématisme est du platonisme. V. *infra*, III, p. 120 sq., 127 sq.

3. *De Motu*, p. 300 : « Illic autem non me praeterit, posse aliquem obicere, me ad has demonstrationes tanquam verum id supponere quod falsum est : nempe, suspensa pondera ex lance, cum lance angulos rectas continere : cum tamen pondera ad centrum tendentia concurrerent. His responderem, me sub suprahumani Archimedis (quem nunquam absque admiratione nomino) alis memet protegere. » Cf. *infra*, III, p. 140.

4. Cf. E. MEYERSON, *Identité et Réalité*², Paris, 1926, p. 145 sq.

de force, sans recours à l'expérience sur des corps réels. Les « expériences » dont se réclame — ou se réclamera plus tard — Galilée, même celles qu'il exécute réellement, ne sont, et ne seront jamais, que des expériences de pensée (1). Les seules, d'ailleurs, que l'on pouvait faire avec les objets de sa physique. Car les objets de la physique galiléenne, les corps de sa dynamique, ce ne sont pas des corps « réels ». On ne peut pas, en effet, faire entrer des corps « réels » — réels dans le sens du sens commun — dans l'irréel de l'espace géométrique. Cela Aristote l'avait bien vu. Mais il n'avait pas compris qu'on pouvait leur supposer des corps abstraits, ainsi que l'avait préconisé Platon, ainsi que le fera le platonicien (2) Archimède. Or, ces corps abstraits, Archimède lui-même n'avait pas réussi à les douer de mouvement. Ce fut, ceci, l'œuvre de l'archimédien Galilée.

Or, c'est seulement pour ces corps abstraits, placés dans un espace géométrique, pour ces corps archimédiens, pour tout dire, que vaut la dynamique galiléenne. C'est à eux seuls aussi que s'applique le principe d'inertie. Et c'est seulement lorsque au Cosmos se sera substitué le vide réalisé de l'espace euclidien, lorsque aux corps, essentiellement et qualitativement déterminés, d'Aristote et du sens commun, se seront substitués ces « corps » abstraits d'Archimède, que l'espace aura cessé de jouer un rôle physique et que le mouvement aura cessé d'affecter ces mobiles. Ils pourront, désormais, demeurer indifférents à l'état — repos ou mouvement — dans lequel ils se trouvent, et le mouvement devenu un état, pourra, comme le repos dont il aura atteint le *status* ontologique, se conserver indéfiniment de lui-même sans que nous ayons besoin d'une cause pour expliquer ce fait.

1. Cf. Gal. GALILEI, *Le Mécaniche, Opère*, vol. II, p. 159 : *Quello che in tutte le scienze dimostrative è necessario d'osservarsi, doviamo noi... in questo trattato seguitare : che è di proporre le diffinitioni dei termini proprii di questa faculta, e le prime supposizioni, delle quali, come da fecondissimi semi, pullulano e scaturiscano conseguentemente le cause e le vere dimostrazioni delle proprietà di tutti gl' instrumenti mecanici... Adimandiano adunque gravità quella propensione di muoversi naturalmente al basso, la quale nei corpi solidi, si ritrova cagionata dalla maggiore o minore copia di materia dalla quale vengono costituiti... Momento è propensione di andare al basso, cagionato non tanto dalla gravità del mobile, quanto dalla disposizione che abbino tra di loro diversi corpi gravi ; mediante il qual momento si vedrà molte volte un corpo men grave contrapesare un altro di maggior gravità : come nella stadera si vede un picciolo contrapeso alzare un altro peso grandissimo... E dunque il momento quell'impeto di andare all'basso, composto di gravità, posizione e di altro, dal che possa essere tal propensione cagionata.*

2. Pour toute la tradition doxographique, Archimède est un « philosophe platonicien. »

La loi de la chute des corps

Descartes et Galilée

INTRODUCTION

LA loi de la chute des corps — la première des lois de la physique classique — a été formulée par Galilée en 1604 (1). Quinze ans plus tard, en 1619, elle le fut aussi par Beeckman (2). Beeckman, il est vrai, n'a pas fait le travail tout seul. Bon physicien, mais mathématicien médiocre (3), il a dû faire appel à l'aide de Descartes : c'est à celui-ci qu'il posa le problème d'intégration qu'il n'avait pas pu résoudre lui-même. On aurait tort cependant de réduire le rôle de Beeckman à celui d'une simple cause occasionnelle et d'attribuer à Descartes toute la gloire de la découverte. Le rôle de Beeckman, en fait, a été bien plus grand. Il ne s'est pas borné à poser le problème ; il a aussi indiqué à Descartes les principes de la solution : enfin c'est lui qui, mésinterprétant la réponse de Descartes, a énoncé — la présentant d'ailleurs comme l'œuvre de Descartes lui-même — la formule correcte de la loi ; celle même que Galilée avait trouvée quinze ans auparavant.

Descartes, en effet, s'était trompé dans sa réponse. La formule qu'il donna à Beeckman était erronée. Mais, chose curieuse, l'erreur qu'il commit fut la même que celle — ou plus exactement, complé

1. Dans une lettre à Paolo Sarpi, du 16 octobre 1604, v. *Opere*, Ed. Nazionale, v. X p. 115.

2. V. DESCARTES et BEECKMAN, *Varia* (*Œuvres de Descartes*, éd. Adam et Tannery, vol. X), p. 58 sq., *Physico-mathematica*, *id.*, p. 75 sq. Nous citons plus bas ces textes *in extenso*.

3. Les méthodes infinitésimales et la notion d'une variation continue répugnent à Beeckmann. Aussi essaye-t-il de retrouver les résultats de Descartes à l'aide d'une conception — et d'un calcul — finitistes. Cf. *ibid.* p. 61 sq.

mentaire de celle — qui, quinze ans auparavant, avait été commise par Galilée. Car celui-ci, aussi, s'était trompé (1).

Des rencontres de ce genre ne sont pas infrequentes dans l'histoire de la pensée scientifique. Les mêmes idées surgissent, les mêmes inventions se font, à peu près en même temps, dans des endroits et par des esprits bien différents. Tout le monde connaît les querelles de priorité... et tout le monde s'accorde sur l'intérêt que, pour l'histoire de la pensée scientifique, présentent ces étonnantes simultanéités.

Or, aucune de ces « rencontres », pas même les plus célèbres, celle de Newton et de Leibniz dans l'invention du calcul infinitésimal, ou celle de Carnot et de Clausius dans la découverte du principe d'entropie, ne nous paraît être aussi curieuse que la double rencontre de Galilée avec Beeckman et Descartes : la seule où à côté d'une rencontre dans la vérité nous en trouvions une dans l'erreur.

La loi de la chute des corps est une loi fort importante : c'est la loi fondamentale de la dynamique moderne (2). C'est, en même temps, une loi extrêmement simple ; elle s'épuise entièrement dans une définition : *la chute des corps est un mouvement uniformément accéléré* (3).

Or, dans l'invention de cette loi, si simple qu'aujourd'hui elle est immédiatement comprise par des enfants, Descartes et Galilée

se sont lourdement trompés. Comment expliquer leur erreur ? Les historiens de Galilée — pas plus que ceux de Descartes — n'insistent guère, d'habitude, sur cette mésaventure. Cela se comprend, d'ailleurs. Tout historien, tout biographe surtout, est un peu hagiographe. Aussi glisse-t-il, le plus souvent, sur les erreurs commises, sur les échecs subis par ses héros ; il ne les mentionne que pour les excuser. A quoi bon, d'ailleurs, s'attarder sur l'erreur ? L'important, n'est-ce pas le succès final, la découverte, et non les chemins tortueux que l'on a suivis et sur lesquels on a pu s'égarer ? L'historien-hagiographe a raison, sans doute. Ce qui importe pour la postérité, c'est effectivement la victoire, la découverte, l'invention. Et pourtant, pour l'historien de la pensée scientifique, du moins pour l'historien-philosophe, l'échec, l'erreur, surtout l'erreur d'un Galilée, d'un Descartes, sont quelquefois aussi précieux que leurs réussites. Ils le sont même, peut-être, davantage. Ils sont, en effet, très instructifs. Ils nous permettent — parfois — de saisir, et de comprendre le cheminement secret de leur pensée.

On pourrait nous objecter, sans doute, qu'il n'y a pas à chercher d'explication rationnelle de l'erreur. L'erreur est un effet de la faiblesse de notre esprit limité et borné, soumis, dans son fonctionnement aux conditions psychologiques et même biologiques. Tout le monde est capable d'erreur. Tout le monde se trompe. Personne ne fait exception. L'erreur s'explique suffisamment par un manque d'attention, une distraction ; par une « inadvertance » (1). Nous avouons ne pas pouvoir accepter l'objection. Du moins, pas entièrement. Toute erreur du raisonnement implique, sans doute, inadvertance. Et puisque Galilée et Descartes se sont trompés, ils s'en sont donc rendus coupables. Mais que cette double inadvertance (fait en soi déjà extrêmement curieux) les ait conduit à une erreur exactement similaire, voilà ce qui ne nous paraît pas pouvoir être effet d'un pur hasard. En soi, ce n'est certainement pas impossible. C'est néanmoins, par trop invraisemblable. La concordance dans l'erreur doit avoir quelque raison.

Le problème que nous venons de poser reste donc entier : en déduisant une loi extrêmement simple, Descartes et Galilée se sont trompés.

Ne serait-ce pas, par hasard, un indice que cette simplicité n'est qu'apparente ? Ou, si l'on préfère, un indice que la loi de la chute des corps n'est simple qu'à l'intérieur d'un certain système d'axiomes,

1. V. E. MACH, *Mechanik*⁸, Leipzig, 1921, p. 125 ; P. DUHEM, *Études sur Léonard de Vinci*, vol. III, *Les précurseurs parisiens de Galilée*, Paris, 1913, p. 566 sq.

2. V. DUHEM, *De l'accélération produite par une force constante*, Congrès International de Philosophie, II^e Session, Genève, 1905, p. 859 : « Aristote avait formulé cette loi : *Une force constante produit un mouvement uniforme dont la vitesse est proportionnelle à la force qui l'engendre*. Pendant près de deux mille ans, cette loi a dominé la mécanique. Aujourd'hui nous professons cette autre loi : *Une force constante engendre un mouvement uniformément accéléré et l'accélération de ce mouvement est proportionnelle à la force qui sollicite le mobile*. Cette loi est à la base de la dynamique moderne. » La formule de Duhem ne nous paraît pas exacte ; Aristote ignorait la notion moderne de la force. Aussi parlait-il (comme les scolastiques) de *cause* et non de *force*. Ce n'est pas la même chose.

3. L'énoncé complet de la loi de la chute des corps contient, en fait deux affirmations distinctes : a) la vitesse d'un corps qui tombe s'accroît proportionnellement au temps et b) l'accélération de la chute est la même pour tous les corps. L'honneur d'avoir formulé cette deuxième proposition est parfois attribuée à J. B. Benedetti : A tort cependant (cf. *supra*, I, pp. 50, 60, car Benedetti ne l'a admise que pour des corps de poids différents mais « de même nature ». Quant aux corps de « nature » différente, il avait cru qu'ils tombaient avec une vitesse proportionnelle à leur poids spécifique. C'est Galilée qui, le premier, — en employant un raisonnement analogue à celui de Benedetti — a établi que les graves, quels que soient leurs poids et leur « nature » tombent tous avec la même vitesse. Cf. *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, Giornata prima, *Opere*, v. VIII, 123 sq.

1. V. DUHEM, *Études sur Léonard de Vinci*, v. III, p. 570.

à partir d'un certain ensemble de notions ? Autrement dit, qu'elle présuppose et implique un certain nombre de conceptions déterminées — conceptions de l'espace, de l'action, du mouvement — qui elles, ne sont pas « simples » du tout ? Ou, si l'on veut encore, qui sont *trop* simples — comme toutes notions premières — et, par là même, bien difficiles à dégager (1) ?

1. Galilée

Le phénomène de la chute a de tout temps été pour la physique un sujet de méditation et d'étonnement. Il n'est donc pas surprenant que Galilée qui, dès sa jeunesse, à Pise, avait consacré l'effort de sa pensée à la solution du double problème de la chute — la chute proprement dite, mouvement vers le bas, et son accélération — ait continué à s'en préoccuper à Padoue : il comprenait fort bien qu'il s'agissait d'un théorème — et même du théorème — fondamental de la science nouvelle.

Or, voici ce qu'il écrit à Paolo Sarpi, dans cette lettre du 16 octobre 1604 que nous avons mentionnée plus haut (2) : « Réfléchissant aux problèmes du mouvement, pour lesquels, afin de démontrer les accidents observés par moi, il me manquait un principe absolument indubitable que je pourrais poser pour axiome, j'en suis venu à une proposition qui paraît suffisamment naturelle et évidente ; laquelle étant supposée, je démontre après tout le reste, notamment que les *espaces franchis par le mouvement naturel sont dans la proportion double du temps* et que, par conséquent, les *espaces franchis dans des temps égaux sont comme les nombres impairs ab unitate* et les autres choses. Et le principe est celui-ci : que le mobile naturel va en augmentant de vitesse dans la proportion même où il s'é-

1. V. *supra*, I. pp. 6, 9.

2. Galileo a Paolo Sarpi in Venezia, Padova, 16 ottobre 1604 (Opere, v. X, p. 115). « Ripensando circa le cose del moto, nelle quali, per dimostrare li accidenti da me osservati, mi mancava principio totalmente indubitabile da poter porlo per assioma, mi son ridotto ad una proposizione la quale ha molto del naturale et dell'evidente ; et questa supposita dimostre poi il resto, cioè gli spazii passati dal moto naturale esser in proporzione doppia dei tempi, et per conseguenza gli spazii passati in tempi eguali esser come i numeri impari ab unitate, o le altre cose. Et il principio è questo : che il mobile naturale vadia crescendo di velocità con quella proportion che si discosta dal principio del suo moto ; come v. g. cadendo il grave dal termine a per la linea abcd, suppongo che il grado di velocità che ha in c al grado di velocità che hebbe in b esser come la distanza ca alla distanza ba, et così conseguentemente in d haver grado di velocità maggiore che in c secondo che la distanza da è maggiore della ca. »

loigne de son point de départ ; comme, par exemple, si un grave tombe du point *a* par la ligne *abcd*, je suppose que le degré de vitesse qu'il a en *c* est au degré de vitesse qu'il avait en *b* comme la distance *ca* à la distance *ba* et ainsi, par conséquent, en *d* il aura un degré de vitesse plus grand qu'en *c* dans la mesure où la distance *da* est plus grande que la distance *ca*. »

Texte curieux — que nous aurons à confronter avec ceux de Descartes —, et qui marque fort bien le trait caractéristique de la logique galiléenne. Ce qu'il cherche, ce n'est pas une formule en quelque sorte descriptive, formule qui lui permettrait de calculer les grandeurs observables et mesurables du phénomène de la chute — ses « accidents » — vitesse, chemin parcouru par le mobile, etc. Bien au contraire : Galilée est *déjà* en possession d'une telle formule (nous laisserons de côté la question de savoir comment il est parvenu à cette possession) (1) ; il sait déjà que les *espaces* parcourus en *temps* égaux sont entre eux comme la série des nombres impairs ; il sait également que l'*espace* parcouru par le mobile est proportionnel au *carré des temps*... Il cherche cependant quelque chose de plus, et ce qu'il cherche, ce n'est pas le lien logique ou mathématique, qui unit ces deux propositions — ce lien, de toute évidence, il le connaît — mais un « principe » fondamental et évident qui permette de déduire ou, comme le dit Galilée, de « démontrer » les « accidents » du mouvement de la chute. On pourrait dire, en appliquant à Galilée le mot d'un physicien moderne, qu'il n'a aucune confiance en une observation non vérifiée théoriquement. L'épistémologie galiléenne n'est pas positiviste. Elle est archimédienne (2).

Autrement dit, la loi de la chute des corps, Galilée la possède. Mais il estime que cela ne suffit pas. Car cette loi, il ne l'a que comme fait. Il n'en comprend pas le pourquoi. Les corps tombent ; c'est un fait. De plus, lorsqu'ils tombent, leur mouvement s'accélère. Les espaces qu'ils franchissent en tombant sont entre eux comme les nombres impairs. Mais pourquoi tout cela ? Galilée estime qu'il faudrait le savoir.

1. Sur l'histoire, ou la préhistoire, de la loi de la chute des corps, voir P. DUHEM, *Études sur Léonard de Vinci*, VIII, *Les Précurseurs Parisiens de Galilée*, Paris, 1913, E. J. DIJKSTERHUIS, *Val en Worp*, Groningen, 1924, et E. BORCHERT, *Die Lehre von der Bewegung bei N. Oresme* (Beiträge zur Geschichte der Philosophie und Theologie des Mittelalters, Bd XXXI, fasc. 3), Münster, 1934.

2. L'interprétation « positiviste » de l'épistémologie galiléenne a été développée surtout par E. MACH. Voir *Mechanik* 8, p. 122 sq. Elle est aussi fautive que l'interprétation analogue de l'épistémologie de Newton.

Entendons-nous : ce qu'il faut, selon Galilée, expliquer, ou comprendre, ce n'est pas le fait même de la chute ; il ne s'agit pas de trouver la cause pour laquelle les *corps tombent* (1). Ce qu'il cherche, c'est l'essence du mouvement de la chute. Le mouvement que les corps exécutent en tombant est, en effet, un mouvement très particulier : un mode, un type bien déterminé, de mouvement qui se réalise — le même — partout où les corps tombent. C'est la nature de ce mode de mouvement, son essence, ou, si l'on préfère, sa *définition* (ce qui veut dire la même chose) qu'il s'agit de trouver. C'est elle qui formera ce principe évident et indubitable, axiome fondamental, qui permettra d'en déduire tout le reste.

Pourquoi les corps tombent, Galilée ne pouvait le savoir (2). Personne, avant Newton, ne pouvait l'expliquer (3). Avoir renoncé à l'explication causale au profit de la recherche de l'essence ou, comme on l'a dit, de la « loi » a été bien souvent considéré comme un beau titre de gloire pour Galilée. Or, ce renoncement (auquel Galilée, en fait, ne se résout que forcé), en rompant, ou du moins, en rendant plus lâche, le lien de sa pensée avec le réel, rendait sa tâche singulièrement plus difficile. L'erreur, par contre, s'y glissait d'autant plus facilement.

Nous reviendrons plus bas sur ces questions. Quoi qu'il en soit, dans son invention de l'essence du mouvement de la chute, Galilée commet une erreur. En effet, le « principe » qu'il adopte comme étant suffisamment évident et naturel — *la vitesse du mobile (en chute libre) est proportionnelle à la distance parcourue* — ne conduit nullement à la loi de la chute, telle qu'il vient de la formuler lui-même. Il conduit à une loi bien différente, et qu'il eût été incapable de calculer (4).

1. Galilée sait que cette cause lui échappe. Il sait qu'il ne sait pas ce qu'est la pesanteur, ou du moins, qu'il ne peut pas utiliser ses hypothèses et ses convictions. Cf. plus bas, p. 64.

2. Dès 1600, Gilbert suivi bientôt par Kepler, ramène la pesanteur à l'attraction. Et Galilée, sans aucun doute, partage cette conviction (voir plus bas, III, pp. 98 sq.). Mais l'attraction gilbertienne est une âme : et celle de Kepler, après avoir cessé d'être une âme, reste une force dirigée vers l'objet, c'est-à-dire quelque chose de plus mystérieux encore. Sur la physique de Gilbert, v. E. BURT, *The Metaphysics of Sir Isaac Newton. An essay on the metaphysical foundations of modern physical science*, London, 1925 ; sur Kepler, v. E. CASSIRER, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, vol. I, Berlin, 1911, pp. 328 sq.

3. On pourrait dire, sans doute, que Newton lui-même ne l'explique pas et que son attraction est aussi mystérieuse que la tendance des semblables à se réunir, dont font état Platon et les « anciens » et dont elle dérive du reste. Rien de plus juste. Aussi a-t-on toujours essayé de l'expliquer (v. E. MEYERSON, *Identité et Réalité*, Paris, 1926). Mais l'attraction newtonienne est une force non dirigée et qui épouse l'espace de la géométrie : cela suffit.

4. La formule correcte de la loi : *la vitesse du mobile est proportionnelle à la distance par-*

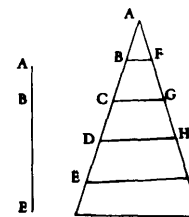
Le principe que Galilée voudrait poser comme fondement de sa dynamique — *la vitesse du mobile est proportionnelle au chemin parcouru* (au lieu du principe correct : *la vitesse du mobile est proportionnelle au temps écoulé*, principe que connaissait déjà Léonard de Vinci), n'est pas, ainsi que l'ont bien montré Wohlwill (1) et Duhem (2), une invention galiléenne. Et l'on pourrait tenter d'expliquer le caractère d'évidence que lui attribue Galilée par l'influence, consciente ou non, d'une tradition. Galilée croit comprendre : il ne fait, en réalité, que se souvenir. Telle est, en somme, l'explication de Duhem. Mais elle se borne à reculer le problème : comment se fait-il qu'un principe qui, bien que plausible, ne nous paraît aucunement évident, ait pu être adopté comme tel par des esprits qui, sans doute, ne valaient pas Galilée, mais étaient néanmoins des esprits remarquables ? Qu'y avait-il dans ce « principe » de tellement séduisant ? Un coup d'œil sur l'histoire du problème, nous permettra, croyons-nous, d'entrevoir la réponse.

Le principe que Galilée essaye de mettre à la base de sa « démonstration » a été formulé, avec toute la netteté désirable, par celui

courue serait celle d'une fonction exponentielle. V. P. TANNERY, *Mémoires scientifiques*, vol. VI, p. 441 et suiv.

1. V. E. WOHLWILL, « Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes », *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft*, vol. XIV et XV.

2. DUHEM, *De l'accélération produite par une force constante*, Congrès international de Philosophie, II^e Session, Genève, 1905. *Études sur Léonard de Vinci*, vol. III, *Les Précurseurs parisiens de Galilée*, 1913. Aux textes cités par Wohlwill et Duhem il convient d'ajouter celui de Michel Varro : Cf. M. VARRONIS Genevensis I. C. et cos. ord. *De Motu tractatus*, Genevae, Ex officina Jacobi Stoer, MDLXXXIV, p. 12 sq. : « Vis... naturalis, quaresquaelibet ad locum suum naturalem tendit, subjectum suum, motu continue et ordinatim crescente, movet. Illius autem motus causa est quod facilius id moveatur, quod in motu est, quam quod quiescit. Vis igitur eadem, subjectum quod iam in motu est premens, illud magis movebit, quam si quiescat, et magis motum, magis etiam movebit : ita ut eadem vis motione maior fiat, quam per se sit. Et haec est causa cur ictus, quo magis ab altero venit, eo vehementior sit. Motus autem huius spatia hanc celeritatis proportionem servant, ut quae est ratio totius spatij, per quod fit ille motus ad partem ipsius (utriusque initio inde sumpto, ubi est motus initium), eadem sit celeritas ad celeritatem. Exempli gratia, si vis aliqua per lineam ABE moveat, sitque AB illius lineae pars, quae erit ratio AE ad AB, eadem erit celeritas motus in puncto E ad celeritatem motus in puncto B. Cujusmodi proportio observatur in parallelis triangulum secantibus. Ut enim se habet AC ad AB, sic CG ad BF, et ut AD ad AC, sic DH ad CG. Itaque si in spatia aliquot dividatur totius motus spatium, finis secundi duplo citius ferretur quam finis primi : finis vero tertij triplo citius quam finis primi et sic deinceps. »



que l'on s'accorde à considérer comme son précurseur immédiat, J. B. Benedetti. Dans son *Livre contenant diverses spéculations mathématiques et physiques* Benedetti écrit en effet : « Aristote n'aurait pas dû déclarer qu'un corps est d'autant plus rapide qu'il s'approche davantage de son but, mais bien plutôt que le corps est d'autant plus prompt qu'il s'éloigne davantage de son point de départ (1). » L'opposition à la conception aristotélécienne est affirmée par Benedetti *expressis verbis*, et pourtant on pourrait se demander, de prime abord, si elle existe réellement. Est-ce que, en effet, un corps qui va de A en B, un corps qui tombe, par exemple, du haut d'une tour sur la terre, ou même un corps qui se dirige vers le centre de la terre, ne se rapproche pas de son but dans la mesure même où il s'éloigne de son point de départ ? Ou si l'on préfère, ne s'éloigne pas de son point de départ dans la mesure même où il s'approche de son but ? L'une et l'autre expression paraissent parfaitement équivalentes... D'ailleurs, Nicolo Tartaglia, qui le premier, semble-t-il, du moins parmi les modernes, a introduit dans la discussion la considération du point de départ, le dit avec beaucoup de bon sens : « Si un corps également grave se meut d'un mouvement naturel, plus il va s'éloignant de son principe ou s'approchant de sa fin, plus il va vite (2). »

Ajoutons que Benedetti lui-même est loin de négliger la considération du point d'arrivée, du but naturel du mouvement. En effet, au moment précis où il adresse à Aristote le reproche, et la correction (3), que nous venons de citer, il écrit : « Dans les mouvements naturels et rectilignes l'impression, l'impétuosité reçue croît continuellement, car le mobile a en lui-même sa cause mouvante, c'est-à-dire la propension à se rendre au lieu qui lui est assigné (4). » Et

1. V. J. Baptistae BENEDICTI, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, Taurini, MDLXXXV, « Disputationes de quibusdam placitis Aristotelis », Cap. XXIV, p. 184 : « Aristot. 8. cap. primi libri de coelo, dicere non deberet quod quanto propius accedit corpus ad terminum ad quem, tanto magis sit velox, sed potius, quod quanto longius distat a termino à quo, tanto velocius existit. Quia tanto major sit semper impressio, quanto magis movetur naturaliter corpus, et continuo novum impetum recipit, cum in se motus causa continet, quae est inclinatio ad locum suum eundi, extra quem per vim consistit. Neque etiam recte scripsit Aristot. 9. cap. lib. 8 physicorum et. 2. lib. primi de coelo esse aliquem motum ex recto et circulari mixtum, quod omnino impossibile est. » Cf. DUHEM, *De l'accélération*, etc., p. 885 et WOHLWILL, *op. cit.*, vol. XV, p. 394.

2. Nicolo TARTAGLIA, *La nuova scientia inventa da Nicolo Tartaglia*, l. I, prop. 1, cité par P. DUHEM, *op. cit.*, p. 875.

3. Reproche assez injuste, d'ailleurs, car dans sa *Physique*, Aristote ne néglige aucunement le point de départ : cf. *Physique*, VIII, 9, 265 B.

4. J. B. BENEDETTI, *op. cit.*, p. 184 : « causam moventem, id est propensionem eundi ad locum ei a natura assignatum. »

quelques lignes plus bas, pour expliquer l'accélération du mouvement de la chute, Benedetti ajoute (1) : « Car l'impression croît au fur et à mesure que le mouvement se prolonge, le corps recevant continuellement un nouvel *impetus* ; en effet, il contient en lui-même la cause de son mouvement, qui est l'inclination à regagner son lieu naturel hors duquel il est placé par violence. »

Comment, dans ces conditions, c'est-à-dire en exposant la pure conception cosmophysique d'Aristote, Benedetti peut-il estimer qu'il innove ? Quel est le sens du reproche qu'il lui adresse ? Et comment ne voit-il pas l'équivalence de sa proposition avec celle qu'il rejette ?

La question est importante. Mais, pour la résoudre, il faut partir justement de ces faits : du fait que Benedetti, tout en maintenant une conception aristotélécienne se sent en opposition avec Aristote ; ainsi que du fait que, substituant à la proposition d'Aristote (ou du moins à la proposition qu'il croit être telle) la sienne, qui lui est formellement équivalente, il l'en distingue et même, à l'encontre de Tartaglia, la lui oppose.

On pourra dire, sans doute, que la question que nous venons de poser n'a, en elle-même, aucune importance : la pensée de Benedetti étant obscure, et même assez confuse, ses glissements, ses inconséquences, s'expliquent par là même d'une manière suffisante. Or, certes, la pensée de Jean Baptiste Benedetti n'est rien moins qu'un modèle de clarté. C'est néanmoins une pensée vigoureuse et honnête. Il ne faut pas oublier, en outre, qu'une pensée — en général et aux époques de transition en particulier — peut être obscure et confuse, sans que, pour cela, elle perde toute valeur. Bien au contraire, ainsi que l'a fortement affirmé Duhem, et ainsi que l'a admirablement montré Émile Meyerson, c'est dans l'obscur et le confus que progresse la pensée. Elle chemine de l'obscur vers le clair. Elle ne va pas du clair au clair, ainsi que le voulait Descartes.

La pensée de Benedetti est sans doute confuse. Mais c'est parce que la tradition aristotélécienne s'y rencontre avec la tradition parisienne (la physique de l'*impetus*) et que sur cette double tradition se greffe une tradition plus récente, montante, de la physique archimédienne. Benedetti tout en étant ainsi, que nous l'avons dit, un partisan résolu de Copernic (2), ne peut abandonner la conception

1. J. B. BENEDETTI, *op. cit.*, p. 184 : « tanto major sit semper impressio, quanto magis movetur naturaliter corpus, et continuo novum impetum recipit, cum in se motus causam continet, quae est inclinatio ad locum suum eundi, extra quem per vim consistit. »

2. V. *supra*, I, p. 69, n. 2.

générale de la cosmophysique aristotélécienne — par quoi la remplacerait-il ? — mais il a néanmoins raison de se poser en adversaire d'Aristote. En effet, la physique de l'*impetus*, qui voit dans le mouvement l'effet de la force incluse dans le mobile, permet de détacher le mouvement du corps de la notion du but vers lequel il se dirige, permet d'isoler le corps en mouvement du reste de l'Univers (1). Benedetti a donc raison de ne pas admettre l'équivalence de l'éloignement du *terminus a quo* avec le rapprochement au *terminus ad quem*, puisque, justement, sa conception du mouvement permet de supprimer — en pensée sinon en fait — le *terminus ad quem*. Le mobile qui se met en mouvement sous l'influence d'une force part nécessairement de quelque part : du lieu où il était en repos ; on ne peut donc pas se passer, pour définir son mouvement, de la notion du *terminus a quo*. Mais ce terme suffit ; le mobile, sous l'influence de la force qui l'anime, part — en mouvement rectiligne — dans une certaine direction. Il ne se dirige pas vers un certain but (que ce but, en fait, existe ou n'existe pas). Ce qui est évident pour le mouvement violent : lorsque l'on frappe une balle, l'*impetus* que l'on lui imprime détermine immédiatement la vitesse et la direction de son mouvement. On peut, en le faisant, viser à atteindre un but. En soi, ce n'est nullement nécessaire.

Étendons cette conception au cas du mouvement naturel. Le mobile — le corps grave (ou léger) se meut (ou se met en mouvement), dans une certaine direction : le bas (ou le haut). Il ne va pas vers un but. Aussi faut-il — à l'encontre d'Aristote — parler de l'éloignement du point de départ, non du rapprochement au point d'arrivée (2). Ce qui, à son tour, implique une conséquence très grave : le mouvement d'un mobile est entièrement déterminé par son état passé, nullement par son état futur (3).

La conception que Benedetti se fait du mouvement diffère de

1. Sur la physique de l'*impetus*, en dehors des œuvres citées de P. Duhem et de Wohlwill, voir E. J. DIJKSTERHUIS, *Val en Worp*, Groningen, 1924 ; R. MARCOLONGO, « La meccanica di Leonardo da Vinci », *Atti della Reale Accademia delle Scienze fisiche e matematiche di Napoli*, vol. XIX, 1932 ; E. BORNHEIM, *Die Lehre von der Bewegung bei Nicolaus Oresme* (Beiträge zur Geschichte der Philosophie und Theologie des Mittelalters, Bd. XXXI, fasc. 3), Münster, 1934.

2. A des éloignements égaux, quel que soit le point de départ, correspondront donc toujours des accélérations égales ; conception que l'on trouve encore chez Galilée et qui lui fait commettre l'erreur de croire que la valeur de g est partout et toujours la même. Cf. plus bas, III, p. 115.

3. La notion de l'*impetus*, élaborée, comme on sait, pour l'explication du mouvement violent, permet, ou même implique, une élimination partielle du finalisme ; elle permet, en effet, de concevoir le mouvement comme produit par une cause interne qui, cependant, n'est plus déterminée par une fin.

celle que s'en fait Tartaglia. Ou, si l'on préfère, la conception de l'espace qui sous-tend le raisonnement de Benedetti — la même conception que celle qui a sous-tendu les raisonnements du jeune Galilée (1) — diffère de celle de Tartaglia. L'équivalence qui existe pour ce dernier n'existe point pour Benedetti et ceci justement parce que dans son espace, espace non plus physique mais géométrique, le mouvement — rectiligne — pourrait se prolonger indéfiniment. Ce qu'il ne peut ni chez Tartaglia ; ni, encore moins, chez Aristote.

Le mouvement, pour Benedetti, est un effet de la force (*impetus*) incluse dans le mobile ; et son espace est un espace non physique, mais géométrique : aussi comme nous l'avons vu, pour lui, le mouvement dans le vide est parfaitement admissible. Mais son espace n'est, toutefois, pas entièrement géométrique ; nous voulons dire qu'il n'est pas entièrement homogène. Il y a encore pour lui des directions privilégiées : le bas et le haut. Son espace est archimédien ou, plus exactement, épïcúrien.

Nous n'allons pas, bien entendu, essayer de refaire ici l'histoire du problème de la chute et développer toutes les explications (variation de la résistance, réaction du milieu, etc.) que les théoriciens du moyen âge avaient imaginées pour rendre compte du fait surprenant de l'accélération (2). Nous serons obligés, cependant, de rappeler l'explication née de la notion de l'*impetus*, à laquelle se sont arrêtés les précurseurs immédiats de Galilée.

La théorie de l'*impetus*, ainsi que nous l'avons vu, consiste à concevoir le mouvement comme l'effet produit par une cause interne au mobile. Cette cause — l'*impetus* — on se la représente d'une manière assez vague, l'assimilant à une forme, à une qualité, à une force. C'est cette force, imprimée au mobile par l'action du moteur extérieur — le choc — qui, persistant dans le corps mù, explique la continuation de son mouvement. Il suffit d'assimiler la pesanteur — ou la légèreté — naturelle des corps à un tel *impetus* pour expliquer, d'une manière analogue, le mouvement naturel et le mouvement violent, pour faire comprendre que le mouvement naturel et le mouvement violent, ou, plus exactement, leurs *impetus* peuvent s'additionner

1. Voir *supra*, *À l'aube de la Science Classique*, pp. 28 sq.

2. Voir les ouvrages cités *supra*, p. 7, n. 1 et 2 et p. 10, n. 1.

dans un seul et même mobile ; il suffit de se représenter un corps — mobile — soumis, pendant son mouvement, à l'action successive d'impulsions ou de chocs lui imprimant des *impetus* nouveaux, pour avoir une explication tolérable du mouvement accéléré de la chute.

Cette théorie, élaborée par les nominalistes parisiens, était assez populaire chez les penseurs du xvi^e siècle. Piccolomini (1), Cardan, Scaliger (2) — après Leonardo da Vinci — l'admettent. Benedetti l'expose avec toute la clarté désirable.

Les *impetus* s'accumulent, là notamment où ils sont imprimés au mobile avant que l'influence du premier *impetus* — ou des *impetus* précédents — ne se soit évanouie. Le point est d'importance : l'*impetus*, en effet, étant une cause efficiente qui produit le mouvement comme son effet, s'épuise en le produisant. Il s'ensuit que tout *impetus* se fatigue, c'est-à-dire, s'affaiblit par le fait même du mouvement du corps qu'il anime ; aussi le mouvement se ralentit-il,

1. Alexandri PICCOLOMINI, *In mechanicas questiones Aristotelis paraphrasis paulo quidem plenior*, ad Nicolaum Ardninghellum Cardinalem aapliissimum. Excussum Romae, apud Antonium Bladium Asulanum, MDXLVII cap. XXXVIII, quaestio trigesimatertia (DUNEM, *De l'accélération*, etc., p. 882 sq.). « Il faut remarquer qu'il y a deux sortes de gravité ou de pesanteur ; l'une qui a sa source dans la nature même du corps ; l'autre superficielle, que les Grecs nomment ἐπιπόρευσις. Celle-ci n'est point autre chose qu'un certain *impetus* non permanent qui peut ou bien s'acquiescer dans le corps même mû par sa propre tendance (qui vel acquiritur in re ipsa ex suo nutu motu) ou bien être imprimée par un moteur mouvant violemment. En effet, lorsqu'une pierre tend vers le bas, elle devient sans cesse plus rapide, parce que sans cesse, par suite du mouvement, elle acquiert une plus grande pesanteur (j'entends parler de la pesanteur superficielle)... De même lorsqu'une pierre est projetée violemment, elle reçoit une certaine gravité ou une certaine légèreté superficielle imprimée par ce qui la projette. Ce n'est pas autre chose qu'un *impetus* accidentellement acquis, qui mout la pierre violemment et qui la rend comme mobile d'elle-même jusqu'à ce que cet *impetus* vienne à s'alanguir et à s'évanouir. Cette pesanteur ou légèreté superficielle ne saurait devenir durable ni parfaite, car la forme substantielle du corps qui la subit, à savoir, la pesanteur ou légèreté qui est naturelle à ce corps, s'oppose à ce qu'elle s'imprime parfaitement et profondément... La vertu impulsive prend fin, ce qui peut arriver, soit par la résistance de quelque objet qui repousse le mobile, soit par la tendance du mobile lui-même, effort qui résulte de sa propre nature et qui devient plus puissant que cette gravité ou légèreté superficielle... Aussitôt que la véritable pesanteur surpasse, par la puissance de son effort, l'*impetus* que le moteur a imprimé dans la pierre, elle cesse de se mouvoir violemment et, par son mouvement propre, elle tend en bas. » Cf. *Études sur Léonard de Vinci*, v. III, p. 197.

2. Julii Cesarii SCALIGERI, *Exotericarum exercitationum liber XI^{us}, De Subtilitate ad Hieronimum Cardanum*, Lutetiae apud Vasconium a MDLXVII, cité par DUNEM, *De l'accélération*, etc., p. 885. Exerc. LXXVII. *Quamobrem mota rota facilius movetur postea* : « Les corps pesants une pierre, par exemple, n'ont rien qui favorise la mise en mouvement : ils y sont, au contraire, tout à fait opposés. La pierre que l'on met en mouvement sur un plan horizontal ne se meut pas de mouvement naturel... Pourquoi donc la pierre se meut-elle plus aisément après que le mouvement a commencé ? Parce que, conformément à ce que nous avons dit ci-dessus au sujet du mouvement de projectiles, la pierre a déjà reçu l'expression du mouvement. A une première part du mouvement en succède une seconde ; et, parfois, la première de nouveau. De sorte que, bien qu'un seul moteur exerce son action, les mouvements qu'il imprime en cette succession sont multiples. Car la première impulsion est gardée par la seconde et la seconde par la troisième. » Cf. *Études sur Léonard de Vinci*, v. III, p. 201.

et tout corps, une fois mis en mouvement, tend-il à revenir au repos. Pour qu'il y ait accélération, il faut que le nouvel *impetus*, le nouveau choc, poussée ou traction, intervienne tant que l'*impetus* antérieur subsiste encore, c'est-à-dire, tant que le corps se meut.

Appliquée au problème de la chute, la théorie de l'*impetus* aboutit, dans ses formes les plus élaborées, à l'une des conceptions suivantes :

Ou bien on admet que, dans le premier instant de la chute, la pesanteur confère au grave un mouvement (un degré de vitesse) déterminé ; par suite de quoi, au second moment, le corps en question apparaît comme animé ou doué de sa pesanteur naturelle (constante) et, en plus d'une certaine pesanteur accidentelle, fonction de la vitesse dont il est animé. Unies dans leur action, la pesanteur naturelle plus la pesanteur accidentelle confèrent au grave un nouveau degré de vitesse, plus grand, naturellement, que le premier, et ainsi de suite. On peut donc dire que la pesanteur (totale) du corps s'accroît continuellement au fur et à mesure de la chute, ce qui, à son tour, explique l'accroissement de vitesse.

Ou bien on admet que la pesanteur naturelle produit dans le grave un *impetus* qui le porte vers son but, ou dans la direction naturelle de son mouvement, et que, avant que cet *impetus* ne se soit épuisé, la pesanteur y produit un second, qui s'ajoute au premier et ainsi de suite, de sorte que le grave « augmente toujours sa vitesse, puisque se trouve conjointe à lui une vertu mouvante perpétuelle ».

Conceptions fort subtiles, sans doute, mais, ainsi qu'avec beaucoup de bon sens l'ont observé les aristotéliens de plus stricte observation (1), au fond, illogiques : dans la première hypothèse, en effet, on assimile l'*impetus* — cause du mouvement, à son produit ou effet ; dans la seconde, on conçoit la pesanteur non plus comme une force ou cause, mais comme une source dont procèdent les *impetus* qui s'accumulent dans le mobile.

Dans les deux conceptions les *impetus* naissent à chaque instant du temps, ainsi que l'avait déjà, plus clairement qu'aucun de ses successeurs, formulé Léonard de Vinci : « La gravité qui descend libre acquiert à chaque degré de temps un degré de mouvement et, à chaque degré de mouvement, un degré de vitesse (2). »

1. Voir A. LANGE, p. 34.

2. *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, ms. de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 44, verso. Paris, 1890, cité par DUNEM, *De l'accélération*, etc.,

Comment se fait-il alors que Léonard lui-même, et après Léonard, Benedetti et, après lui, Michel Varron affirment la proportionnalité de la vitesse non pas au temps écoulé, mais à l'espace parcouru ? Il est visible qu'ils croient à l'équivalence de ces deux énoncés et ce pour une raison bien simple : à chaque instant du temps correspond en effet un point de l'espace parcouru. Or si, comme le dit Duhem (1), « pour tirer de cette loi : *la vitesse du mouvement d'un grave est proportionnelle à la durée de la chute, cette autre loi : l'espace parcouru par le grave est proportionnel au carré de la durée de la chute*, il eût fallu que Léonard possédât la notion de vitesse instantanée, ou en d'autres termes la notion de *fluxion* ou de *dérivée* », pour remarquer, malgré la correspondance biunivoque des points de durée (des instants) aux points du parcours, la non-équivalence de ces deux grandeurs, il eût sans doute fallu que Léonard, et ses successeurs, aient eu en leur possession les premières notions du calcul intégral.

D'ailleurs, après Archimède, après Nicole Oresme, ce ne serait, peut-être, pas trop que de le leur demander. Mais ne soyons pas trop sévères ; n'accablons pas Léonard et Benedetti, en les voyant, à l'aide de la notion équivoque du mouvement prolongé, passer allègrement du temps à l'espace, de la durée du parcours à la trajectoire parcourue. Il est plus facile — et plus naturel — de *voir*, c'est-à-dire, d'*imaginer*, dans l'espace, que de *penser* dans le temps.

Duhem nous explique fort bien pourquoi ni Léonard de Vinci, ni Benedetti, n'ont pu formuler la loi exacte de la chute. Pourquoi il fut réservé à Galilée de le faire. Il ne nous explique pas, toutefois, pourquoi, de deux relations équivalentes, ou que, du moins, ils croyaient être telles (vitesse proportionnelle au temps écoulé,

p. 870 sq. « La gravité qui descend, à chaque degré de temps acquiert un degré de mouvement de plus que le degré du temps passé, et de même un degré de vitesse de plus que le degré de temps passé. Donc à chaque quantité doublée de temps, la longueur de la descente est doublée, ainsi que la vitesse du mouvement. », *ibid.*, fol. 45. recto : « La gravité qui descend libre, acquiert à chaque degré de temps un degré de mouvement et, à chaque degré de mouvement, un degré de vitesse. Disons qu'au premier degré du temps le poids acquiert un degré de mouvement et un degré de vitesse : au second degré du temps, il acquerra deux degrés de mouvement et deux degrés de vitesse et ainsi de suite comme il est dit ci-dessus. » Cf. *Études sur Léonard de Vinci*, v. III, pp. 514 sq. Sur la physique de Léonard de Vinci, v. R. MARCOLONGO, « La meccanica di Leonardo da Vinci », *Atti della Reale Accademia delle scienze fisiche e matematiche di Napoli*, v. XIX, 1932.

1. P. DUHEM, *De l'accélération*, etc., p. 872.

vitesse proportionnelle au chemin parcouru), Léonard, ainsi que plus tard Galilée et Descartes, choisissent résolument la seconde. La raison nous en semble à la fois très profonde, et très simple. Elle git tout entière dans le rôle joué dans la science moderne par les considérations géométriques, par l'intelligibilité relative des relations spatiales (1).

Le processus dont est sortie la physique classique consiste dans un effort de rationaliser, autrement dit de géométriser l'espace et de mathématiser les lois de la nature. C'est, à vrai dire, du même effort qu'il s'agit, car géométriser l'espace ne veut pas dire autre chose que d'appliquer au mouvement des lois géométriques. Et comment — avant Descartes — pourrait-on mathématiser quelque chose sinon en le géométrisant ?

De plus, ainsi que nous venons de le dire, il est plus « naturel », plus « facile », d'imaginer dans l'espace que de penser dans le temps. Et la conception à laquelle s'arrêtent et Léonard, et Benedetti, et Galilée, paraît en effet suffisamment « naturelle ». Car, si l'on se représente, comme le fait Benedetti, des corps graves tombant à travers son espace archimédien, n'est-on pas « naturellement » poussé à admettre qu'ils tombent d'autant plus vite qu'ils s'éloignent davantage de leur point de départ ? C'est-à-dire, qu'ils tombent de *plus haut* ? Ou qu'ils tombent *plus bas* ? N'est-il pas naturel de rendre leur vitesse fonction de l'espace parcouru ? Prenons l'exemple d'un corps qui tombe de la hauteur de cent pieds. Il arrive à terre avec une certaine vitesse. Si, maintenant, nous le laissons tomber d'une hauteur double, il arrivera à terre avec une vitesse plus grande. Qu'y a-t-il de plus « naturel » que de faire dépendre cette vitesse du seul élément qui, dans les deux cas, diffère : de la hauteur de la chute, c'est-à-dire, de la longueur du chemin parcouru ? Et quoi de plus naturel que d'admettre un rapport entre la variation de hauteur et l'accroissement de vitesse, poser la vitesse comme fonction de la hauteur, admettre même une proportionnalité stricte ? — Dire : un corps qui tombe d'une hauteur double acquiert en tombant une vitesse double (2) ? Et, par rapport

1. L'espace est rationnel — ou du moins, le schéma du rationnel — tandis que le temps est dialectique. Cf. E. MEYERSON, *Identité et Réalité* ³, Paris, 1926., pp. 27 sq., 276 sq., 280 sq., *De l'explication dans les sciences*, Paris, 1921, vol. I, pp. 151 sq., 261 sq. ; II, pp. 204 sq., 377 sq., 380 sq.,

2. C'est en cela que consiste l'erreur. Car il est parfaitement exact que la vitesse dépend de la hauteur, et même, qu'elle ne dépend que de la hauteur : c'est là le postulat de la dynamique galiléenne. Cf. plus bas, III, pp. 89 sq.

à cette conception-là, est-ce que l'idée de faire dépendre la vitesse avec laquelle un corps qui tombe parcourt l'espace qu'il franchit, non de cet espace, mais du temps qu'il mettra à le parcourir, du temps qui, visiblement, est lui-même fonction de sa vitesse, ne paraît pas peu « naturelle » et même extrêmement, et inutilement, compliquée (1) ?

Ce qui force la pensée à attribuer au temps, à la durée, une valeur et un rôle éminent dans la chute c'est, évidemment, le fait que la notion du temps est impliquée dans celle du mouvement ; mais aussi — et peut-être surtout — c'est l'analyse, ou l'explication, causale de celle-ci. Les impulsions, les *impetus* se succèdent dans le temps ; leur action est, en premier lieu, dans le temps, et seulement d'une façon dérivée dans l'espace. Oublions un instant la relation causale, la production de la chute, du mouvement, de l'accélération : du même coup, n'étant plus retenue sur la pente, la pensée glisse « naturellement » vers l'espace ; la dynamique, sans pouvoir s'arrêter au stade de la cinématique, se transforme en géométrie. Et c'est là la raison pour laquelle Galilée qui, à Pise déjà, avait reconnu l'impossibilité de fonder sur la notion d'*impetus* une dynamique mathématique, qui, ainsi que nous l'avons vu, à la recherche de cause substitue celle de l'essence, glisse, du premier coup, dans ce que nous pourrions appeler la géométrisation à outrance.

Dès ses premiers travaux, à Pise, l'effort du jeune Galilée, archi-

1. Galilée s'en rend parfaitement compte. Aussi, lorsque dans les *Discorsi*, il proposera sa définition du mouvement, uniformément accéléré — accéléré par rapport au temps, — il mettra dans la bouche de Sagredo l'objection suivante (*Discorsi, Opere*, vol. VIII, p. 203) : *Sagr.* « Autant que je le comprends pour l'instant, il me paraît que l'on obtiendrait une plus grande clarté si l'on pouvait définir, sans changer de concept : le mouvement uniformément accéléré est celui dans lequel la vitesse augmente comme augmente l'espace parcouru. De telle manière, par exemple, que la vitesse acquise par le mobile dans une chute de quatre coudées soit double de celle qu'il aurait acquise s'il était tombé un espace de deux, et celle-ci double de celle qu'il aurait après la première coudée. Parce qu'il me semble qu'on n'a pas à douter que le grave qui vient de la hauteur de six coudées n'ait une force de percussion double de celui qu'il aurait s'il était tombé de trois mains, triple de celui qu'il aurait en tombant de deux, et sextuple, de une.

Salv. « Je me console assez d'avoir eu un tel compagnon dans l'erreur. Et je puis vous dire que votre raisonnement a tant de vraisemblance et de probabilité, que notre auteur lui-même, lorsque je le lui ai proposé, n'a pas nie, d'être, lui aussi, pendant quelque temps, tombé dans la même erreur. Mais ce qui, après, m'a extrêmement émerveillé, a été de voir montrer avec quatre paroles très simples, non seulement la fausseté mais l'impossibilité... de deux propositions qui ont tant de vraisemblance suprême que, les ayant proposées à beaucoup de gens, j'en ai trouvé personne qui ne me l'accorde librement. » Cf. *plus bas*, pp. 24, n. 2, la contre-objection de Galilée.

médien et platonicien (1), est dirigé vers un but déterminé : celui de mathématiser la physique. Personne avant lui — pas même Benedetti — n'avait poursuivi ce but aussi consciemment, aussi patiemment, aussi obstinément. Il essaye, tout d'abord, de mathématiser la physique d'Aristote : effort qui aboutit à un échec. Il renouvelle son effort en prenant pour base la notion d'*impetus* ; il aboutit, une fois de plus, à un échec. On le comprend d'ailleurs — *post faciam* — fort bien. Comment, en effet, traduire mathématiquement la notion d'*impetus*, notion vague et confuse, toute proche de l'expérience sensible, notion d'une qualité qu'on ne peut mesurer en elle-même ? Comment calculer l'épuisement progressif de l'élan ? On ne pourra le faire qu'en substituant à cette notion obscure celles de mouvement et de force vive : transformation radicale, masquée — et favorisée — par le maintien d'une terminologie périmée (2). Comment admettre l'accumulation, dans le mobile, des *impetus* successifs ? On ne pourra le faire, là encore, qu'au prix d'une transformation radicale de la conception primitive, en substituant à la notion de leur engendrement par une cause interne celle de l'action répétée de causes externes (3) (attractions ou chocs), produisant chacune un effet perdurant.

Ce sont là des transformations que Galilée n'effectuera sans doute pas entièrement : il faudra attendre Descartes et Newton. Mais, nous avons vu que dès ses premiers travaux, à Pise, le jeune Galilée découvre les vices des raisonnements des Benedetti, des Cardan, des Tartaglia. Toute leur doctrine se fonde sur un paralogisme, ou sur une équivoque. Il est contradictoire d'admettre qu'une cause constante puisse produire un effet variable. La chute d'un grave dans un espace archimédien, ne peut, d'aucune manière, être un mouve-

1. Les historiens de la pensée scientifique en général, et ceux de Galilée en particulier, ont rarement tenu compte de son platonisme profond et conscient. Même ceux qui l'ont remarqué — E. STRAUSS (cf. l'introduction à sa traduction du *Dialogo, Dialoge über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme*, Leipzig, 1891, p. XLVI) ; E. CASSIRER (cf. *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*², vol. I, Berlin, 1911, p. 389) ; M. BURTT, (*The Metaphysics of Sir Isaac Newton. An essay on the metaphysical foundations of modern physical science*, London, 1925, pp. 71) et L. OLSEN (cf. *Galilei und seine Zeit*, Halle, 1927, pp. 164-174), ne nous semblent pas avoir estimé à sa juste valeur ni l'importance réelle de ce platonisme, ni son caractère conscient. Cf. *plus bas*, III, p. 54, n. 2 et pp. 118 sq.

2. On pourrait nous objecter qu'une formule d'épuisement — analogue aux formules de Fourier, — est parfaitement concevable et qu'elle pourrait trouver place dans une physique du type de Kepler. Sans doute. A condition justement de « supposer » à l'*impetus* — résidu de l'élan, de l'effort musculaire, — une grandeur.

3. Il est intéressant de constater que même dans les théories mettant en jeu l'attraction mutuelle des corps (Kepler ou Newton), on divisera la relation réciproque en lui substituant deux rapports unilatéraux.

ment qui, de lui-même, augmenterait sa vitesse. L'admettre serait admettre une création *ex nihilo*. Une cause constante ne peut produire d'effet qui ne soit constant. La chute des graves s'effectue donc à une vitesse constante. Et si, de fait, un corps qui tombe accélère son mouvement — jusqu'à ce qu'il n'atteigne sa vitesse propre — c'est qu'il est, au début, retardé.

Cette conception ingénieuse, dans laquelle le lecteur a sans doute reconnu celle de Hipparque (1), est malheureusement contradictoire en elle-même ou, plus exactement, incompatible avec une conception géométrique de l'espace, puisqu'elle suppose nécessairement la notion d'une tendance du grave vers un but, la notion de la distance du grave de son but ; et qui, alors, ne laisse plus de place à une vitesse constante de la chute (2).

Galilée essaye donc autre chose. Il tente, s'inspirant directement cette fois-ci d'Archimède, de construire une physique en termes, ou, si l'on veut, sur le modèle, de l'hydrodynamique. Suivant l'inspiration des « anciens » il abandonne toute distinction qualitative entre « lourd » et « léger » ; laisse tomber la notion du mouvement naturel vers le « haut » ; tout mouvement sera, désormais, expliqué par la réaction — quantitativement déterminée — du corps avec son milieu ambiant.

Une autre tentative, à peu près contemporaine, s'efforce de ramener les lois du mouvement à celles du levier. On pourrait dire que Galilée essaye de construire une physique de liaisons rigides (3).

Nous ne savons pas pour quelles raisons Galilée n'a pas poursuivi plus avant sa tentative de construire cette physique hydrodynamique ; pas plus que celle de fonder une physique de liaisons rigides. Mais, peut-être, est-il permis de faire une hypothèse : la physique hydrodynamique, de même que celle des liaisons rigides, exigent un espace physique ; n'admettent ni la géométrisation complète de l'espace, ni même le mouvement dans le vide. Or, le mouvement dans le vide, la géométrisation de l'espace, ce sont des éléments essentiels de la physique galiléenne ; l'apport décisif pour lui de la

1. V. *supra*, I, p. 63. Galilée (*De Motu, Opere*, vol. I, p. 321, cf. ДУНЕМ, *De l'accélération*, p. 892), affirmé avoir lu l'exposé de la théorie de Hipparque par Alexandre après avoir formé lui-même sa conception. Cela se peut. Il n'en reste pas moins qu'elle avait été exposée par Bonamico, v. plus haut, p. 31.

2. On peut admettre — bien qu'il ne nous le dise pas — que Galilée n'a pas manqué de découvrir le caractère fallacieux de la théorie de Hipparque.

3. Voir plus haut, I, 65 sq.

physique de l'*impetus*. Abandonnant cette dynamique, Galilée gardera toujours ses conquêtes.

Nous devons insister sur l'importance capitale de l'abandon, par Galilée, de la notion de l'*impetus*, cause interne du mouvement du mobile. Sans doute conservera-t-il le terme (1) ; mais sa signification sera complètement transformée : de cause du mouvement, l'*impetus* deviendra son effet. Quant à la conception de l'*impetus*, cause du mouvement, elle disparaît purement et simplement. Notion bâtarde, confuse, obscure, elle n'est, dans sa pensée, remplacée par rien. Ou, ce qui veut dire la même chose, elle est remplacée par celles de vitesse et de mouvement. A Pise déjà, en étudiant les cas abstraits, et privilégiés (les cas simples) du mouvement : mouvement circulaire « autour d'un centre », mouvement horizontal, limite entre le mouvement accéléré de la descente et celui, retardé, de la montée, Galilée a appris que, dans ces cas-là, contrairement au sens même de la théorie de l'*impetus*, le mouvement semblait pouvoir perdurer éternellement (2). Les théoriciens de l'*impetus*, ou du moins certains d'entre eux (ainsi Piccolomini et déjà Buridan), affirmaient, il est vrai, que, dans certains cas — le cas du mouvement circulaire notamment — l'*impetus* était éternel (immortel). L'*impetus*, disait-on, n'a alors aucune résistance à vaincre ; pourquoi, dès lors, s'affaiblirait-il ? Raisonnement où l'on peut sans doute reconnaître un pressentiment confus d'une vérité, mais que Galilée ne pouvait admettre tel quel. L'*impetus*, défini comme cause du mouvement, devait, il le voyait bien, s'épuiser dans sa production. S'il restait, cependant, égal à lui-même, c'est que, dans le fait de la continuation du mouvement, il ne jouait aucun rôle. Ce n'est pas l'*impetus* qui maintient et fait durer le mouvement : celui-ci se conserve tout seul. Et puisque mouvement implique vitesse comme son caractère essentiel, dire que le mouvement se conserve tel quel veut dire aussi que la vitesse se conserve également. Le mouvement, ainsi que la vitesse, et même surtout cette dernière, modifient en quelque sorte leur statut ontologique : d'effets produits par une cause et qui ne durent et n'existent que tant que dure l'action de la cause

1. Newton l'emploie encore.

2. V. plus haut, I, p. 70.

qui les produit (exemple : pression), ils deviennent des entités relativement indépendantes, qui se conservent d'elles-mêmes, comme de lui-même se conserve le repos d'un corps qui ne se meut pas (1). Ceci pour le mouvement « abstrait ». Quant au mouvement « concret » ou « mécanique », c'est à Padoue que Galilée en élabore la notion qui, progressivement, se dégage, et s'affranchit du magma confus de la doctrine de l'*impetus*. A Padoue, en effet, dans le cours de mécanique qu'il y professe, Galilée formule sa notion du *moment*, poids multiplié par la vitesse. Notion pressentie sans doute déjà par l'auteur des *Questions mécaniques* (2) et, encore plus par les théoriciens de l'*impetus* dans leur conception de la pesanteur accidentelle qu'ils faisaient naître du mouvement même du grave, de sa vitesse, ou plus exactement de son *impetus*. Duhem a eu bien raison d'insister sur ce fait. Duhem n'a pas remarqué, toutefois, la transformation décisive que cette conception subit chez Galilée (3).

La notion galiléenne du *moment* implique en effet pour le mouvement — ou la vitesse — concrets cette élévation en dignité ontologique dont nous venons de parler ; nul besoin d'*impetus*-cause, nul besoin d'intermédiaire quelconque : le mouvement se combine directement avec la pesanteur. Bref, le mouvement, ou la vitesse, se substituent purement et simplement à l'*impetus*. Substitution, on le voit bien, grosse de conséquences très graves : en effet, tandis que l'*impetus* produisant le mouvement ne pouvait pas se conserver, et le mouvement, par conséquent devait nécessairement perdre de vitesse et finalement aboutir au repos, le mouvement, ou la vitesse, promus au rang d'entités indépendantes, peuvent bien se conserver indéfiniment. Le corps, une fois mis en mouvement, n'a plus besoin

1. Le repos et le mouvement deviendront ainsi des *stats*, et posséderont la même dignité ontologique. Or, pour Aristote et la scolastique, le repos n'est qu'une privation, tandis que le mouvement est un processus. Il en résulte que le repos dure sans cause (une privation n'a pas besoin de cause pour durer), tandis que le mouvement n'existe que comme effet de la cause qui l'entretient. Aussi le principe *cessante causa cessat effectus* s'applique-t-il à lui. V. plus bas, p. 49.

2. *Questiones Mechanicæ*, II, 24.

3. La persistance de la terminologie — Newton parle encore de l'*impetus* — a trompé Duhem qui n'a pas remarqué la transformation profonde que cette notion, ou ce terme, subissent chez Galilée. C'est cette incompréhension qui explique, mais ne justifie pas, des jugements comme celui-ci, où chaque mot est faux (P. DUHEM, *De l'accélération*, etc., p. 888) : « ... au risque de heurter les idées reçues et contredire des légendes, il nous faut affirmer ces propositions : Les opinions professées par Galilée au sujet de la dynamique portent l'empreinte profonde des principes péripatéticiens : elles s'écartent fort peu des doctrines admises par bon nombre de physiciens du xvi^e siècle : elles retardent notablement sur les intuitions de quelques-uns de ses prédécesseurs. » Des jugements analogues dans *Les Origines de la Statique*, vol. I, Paris, 1905, pp. 260 sq. et les *Études sur L. de Vinci*, vol. III, pp. 560 sq., ne sont pas mieux fondés.

de s'arrêter ; ni même d'amoindrir sa vitesse. Les bases de la solution correcte du problème de la chute, par là même, sont acquises.

Lorsque, en 1604, Galilée aborde à nouveau le problème de la chute des graves, il possède, ainsi que nous l'avons vu, les formules qui lient la durée de la chute à l'espace parcouru ; il possède, nous venons de le faire voir, le principe cardinal de la conservation du mouvement et de la vitesse. Il renonce, par contre, à tout essai d'explication causale, et ne cherche qu'un principe, un axiome, qui permette de déduire les lois descriptives de la chute. Or, nous l'avons vu également, c'est la considération causale qui, dans l'analyse du mouvement (du mouvement en général, et de celui de la chute en particulier), mettait au premier plan la notion du temps. Il n'est donc pas étonnant que la renonciation à l'explication causale renforce la tendance à la géométrisation, donc à la spatialisation. Au lieu de penser le mouvement, Galilée se le représente. Il voit la ligne, l'espace parcouru avec une vitesse variable. Et c'est cette ligne — trajectoire — qu'il prend pour argument de la fonction, vitesse. L'effort de géométrisation, soutenu et corroboré par l'imagination, non entravé par la pensée causale, dépasse le but qu'il s'était assigné : le but de la dynamique était de mathématiser le temps ; or, Galilée l'élimine. L'effort fourni aboutit à un échec. Échec que Galilée ne remarque pas d'abord. Car en refaisant en sens inverse le raisonnement qui, des formules descriptives correctes l'avait amené à un principe erroné, il retrouve, en partant de ce principe, les conséquences justes dont il était parti.

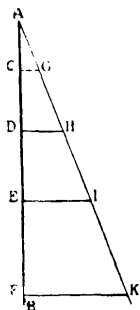
Voilà ce qu'il écrit en effet (1) :

Je suppose (et peut-être pourrai-je le démontrer) que le grave tombant naturellement va en augmentant sans cesse sa vitesse dans la mesure où s'accroît la distance du point dont il part ; ainsi, par exemple, si le grave part du point *a* et tombe par la ligne *ab*, je suppose que le degré de vitesse dans le point *d* sera d'autant plus grand que le degré de vitesse en *c*, que la distance *da*

1. GALILEO GALILEI, *Frammenti attenenti ai Discorsi*, etc., *Opere*, vol. VIII, p. 373. « Io suppongo (e forse potrò dimostrarlo) che il grave cadente naturalmente vada continuamente accrescendo la sua velocità secondo che accresce la distanza dal termine onde si parti : come v. g. partendosi il grave dal punto *a* e cadendo per la linea *ab*, suppongo che il grado di velocità nel punto *d* sia tanto maggiore che il grado di velocità in *c*, quanto la distanza *da*

est plus grande que ca ; ainsi le degré de vitesse en c sera au degré en d comme ca à da et ainsi dans chaque point de la ligne ab le grave se trouvera avoir un degré de vitesse proportionnel à la distance de ce même point du terme a . Ce principe me paraît très naturel, et il répond bien à toutes les expériences constatées avec les machines et les instruments qui agissent par le choc, où le choc est d'un effet d'autant plus grand que la hauteur de la chute est plus grande. Et ce principe admis, je démontrerai tout le reste.

« Que la ligne ak fasse un angle quelconque avec la (ligne) af , que les parallèles cg , dh , ei , fk , soient tirées par les points c , d , e , f . Et puisque les lignes fk , ei , dh , cg sont entre elles comme les (lignes)



fa , ea , da , ca (entre elles), il s'ensuit que les vitesses, dans les points f , e , d , c , sont comme les lignes fk , ei , dh , cg . Les degrés de vitesse s'accroissent donc dans tous les points de la ligne af , selon l'accroissement des parallèles tirées de ces mêmes points. En outre, puisque la vitesse avec laquelle le mobile est venu de a en d est composée de tous les degrés de vitesse qu'il a acquis dans tous les points de la ligne ad , et que la vitesse avec laquelle il a franchi la ligne ac est composée de tous les degrés de vitesse qu'il a acquis dans tous les points de la ligne ac , il s'ensuit que la vitesse avec laquelle il a franchi la ligne ad est à

la vitesse avec laquelle il a franchi la ligne ac dans la même proportion que toutes les lignes parallèles tirées de tous les points de la

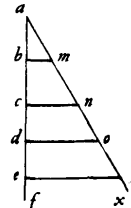
est plus grande que ca , et ainsi le degré de vitesse en c sera au degré de vitesse en d comme ca à da , et ainsi dans chaque point de la ligne ab le grave se trouvera avoir un degré de vitesse proportionnel à la distance de ce même point du terme a . Ce principe me paraît très naturel, et il répond bien à toutes les expériences constatées avec les machines et les instruments qui agissent par le choc, où le choc est d'un effet d'autant plus grand que la hauteur de la chute est plus grande. Et ce principe admis, je démontrerai tout le reste.

Faccia la linea ak qualunque angolo con la af e per li punti c , d , e , f , siano tirate le parallele cg , dh , ei , fk : e perchè le linee fk , ei , dh , cg sono tra di loro come le fa , ea , da , ca , adunque le velocità ne i punti f , e , d , c sono come le linee fk , ei , dh , cg . Vanno dunque continuamente crescendo i gradi di velocità in tutti i punti della linea af secondo l'incremento delle parallele tirate da tutti i medesimi punti. In oltre, perchè la velocità con la quale il mobile è venuto da a in d è composta di tutti i gradi di velocità auti in tutti i punti della linea ad , e la velocità con che ha passata la linea ac è composta di tutti i gradi di velocità che ha auti in tutti i punti della linea ac adunque la velocità con che ha passata la linea a d alla velocità con che ha passata la linea ac , ha quella proporzione che hanno tutte le linee parallele tirate da tutti i punti della linea ad sino alla ah , a tutte le parallele tirate da tutti i punti della linea ac sino alla ag : e questa proporzione è quella che ha il triangolo adh al triangolo acg , cioè è il $\square^o$ ad al $\square^o$ ac . Adunque le velocità con che si è passata la linea ad , alla velocità con che si è passata la linea ac , ha doppia proporzione di quella che ha da a a ca . E perchè la velocità alla velocità ha contraria proporzione di quella che ha il tempo al tempo (imperò che il medesimo è crescere la velocità che sciemare il tempo), adunque il tempo del moto in ad al tempo del moto in ac ha subduplicata proporzione

ligne ad jusqu'à ah ont à toutes les parallèles tirées de la ligne ac jusqu'à la ligne ag ; et cette proportion est celle du triangle adh au triangle acg , c'est-à-dire, celle du carré de ad au carré de ac ; ainsi, la vitesse avec laquelle la ligne ad a été franchie est à la vitesse avec laquelle a été franchie la ligne ac en proportion double de la proportion de da à ca . Et puisque le rapport de la vitesse à la vitesse est l'inverse du rapport du temps au temps (car accroître la vitesse est la même chose que diminuer le temps), il s'ensuit que la durée du mouvement suivant ad est à la durée du mouvement suivant ac en rapport sous-double de celui de la distance ad à la distance ac . Les distances du point de départ sont donc comme les carrés des temps, et, par conséquent, les espaces franchis dans des temps égaux sont entre eux comme les nombres impairs ab *unitate* ; ce qui correspond à ce que j'ai toujours dit et aux expériences observées. Et ainsi toutes les vérités s'accordent. Et si ces choses-là sont vraies, je démontre que la vitesse, dans le mouvement violent, décroît avec la même proportion qu'elle s'accroît dans le mouvement naturel s'accomplissant le long de la même ligne droite. »

di quella che ha la distanza ad alla distanza ac . Le distanze dunque dal principio del moto sono come i quadrati de i tempi, e, dividendo, gli spazii passati i tempi eguali sono come i numeri impari ab *unitate* : che risponde a quello che ho sempre detto e con esperienze osservate ; e così tutti i veri si rispondono.

E se queste cose son vere, io dimostro che la velocità nel moto violento va decrescendo con la medesima proporzione, con la quale, nella medesima linea retta, cresce nel moto naturale. Imperò che sia il principio del moto violento il punto b ed il fine il termine a . E perchè il progetto non passa il termine a , adunque l'impeto che ha auto in b fu tanto, quanto poteva cacciarlo sino al termine a : e l'impeto che il medesimo progetto ha in f è tanto, quanto può cacciarlo al medesimo termine a : e sendo il medesimo progetto in e , d , c , si trova congiunto con impeti potenti a spingerlo al medesimo termine a , nè più, nè meno : adunque l'impeto va giustamente calando secondo che scema la distanza del mobile dal termine a . Ma secondo la medesima proporzione delle distanze dal termine a va crescendo la velocità, quando il medesimo grave caderà dal punto a , come di sopra si è supposto e confrontato con le altre prime nostre osservazioni e dimostrazioni : adunque è manifesto quello che volevamo provare. » cf. anssi p. 380 et 383 : « Assumo, cum esse cadentis mobilis per lineam ad accelerationem, ut proportionem spaciū peracti crescat velocitas ita, ut velocitas in c ad velocitatem in b sit ut spaciū ca ad spaciū ba , etc. Cum autem haec ita se habeant, ponatur ax cum al angulum continens, sumptisque partibus ab , bc , cd , de , etc., aequalibus, protrahantur bm , cn , do , ep , etc. Si itaque cadentis per al velocitates in b , c , d , e , locis se habent ut distantiæ ab , ac , ad , ae , etc., ergo se quoque habebunt ut lineæ bm , cn , do , ep .



Quia vero velocitas augetur consequenter in omnibus punctis lineæ ae , et non tantum in adnotatis b , c , d , ergo velocitates illæ omnes sese respiciunt ut lineæ quæ ab omnibus dictis punctis lineæ ae ipsis bm , cn , do æquidistanter producantur. Istæ autem infinitæ sunt et constituunt triangulum aep : ergo velocitates in omnibus punctis lineæ ab ita se habent ad velocitates in omnibus punctis lineæ ut triangulum abm ad triangulum acn , et sic de reliquis, hoc est in duplicata proportionem linearum ab , ac .

Quia vero pro ratione incrementi accelerationis tempora quibus motus ipsi fiunt debent imminui, ergo tempus quo mobile permeat ab ad tempus quo permeat ac erit ut ab linea ad eam quæ inter ab , ac , media proportionalis existit. »

Le raisonnement de Galilée est plausible. Et néanmoins faux, parce que, ainsi qu'on le voit facilement, il contient une double erreur (1). Il est vrai, sans doute, que les rapports des vitesses sont inverses de ceux des temps ; à condition que la base de comparaison c'est-à-dire, l'espace parcouru, soit le même, et non, comme dans notre cas, différent. Et il est tout aussi vrai que la vitesse totale du mobile est la somme des vitesses (instantanées) qu'il acquiert en tous les points de son parcours ; comme elle est également la somme des vitesses qu'il acquiert en tous les instants de son mouvement. Mais ces « sommes » ne sont pas semblables : l'accroissement constant et uniforme par rapport au temps ne le sera pas par rapport à l'espace et inversement, et notamment les « sommes » de vitesses qui s'accroissent en fonction linéaire de l'espace parcouru ne pourront pas être représentées par des triangles. Cette représentation ne vaut que pour une croissance uniforme par rapport au temps. Galilée, une fois de plus, géométrise à outrance et transfère à l'espace ce qui vaut pour le temps.

Il est curieux de constater que Galilée remarquera son erreur (2) (l'erreur dans le choix du principe-définition du mouvement accéléré de la chute), tandis que, quoi qu'en dise Duhem, Descartes ne le fera jamais. Il est encore plus curieux de constater que le raisonnement par lequel Galilée essaye de démontrer l'absurdité du principe qui, au début, lui paraissait tellement « naturel », est lui-même parfaitement erroné (3).

Mais peut-être n'est-ce pas ce raisonnement spécieux (et qui présuppose la connaissance de la méthode de déduction correcte) qui a guidé la pensée de Galilée. Il est plus vraisemblable de supposer

1. Cf. DUHEM, *Études sur Léonard de Vinci*, vol. III, p. 570 sq.

2. Voici le raisonnement de Galilée (V. *Discorsi*, etc., *Opere*, Vol. VIII, p. 204) que DUHEM (*op. cit.*, p. 578), ainsi que CAVERNI (*Storia del metodo sperimentale in Italia*, vol. IV, Bologna, 1895, p. 295) trouvent concluant : « Lorsque la vitesse a la même proportion que les espaces franchis ou à franchir, ces espaces seront franchis en temps égaux. Car si la vitesse avec laquelle le grave franchit l'espace de quatre coudées était double de la vitesse avec laquelle il a franchi les deux premiers pieds (puisque l'espace est double de l'espace) les temps de ces mouvements seraient égaux. Mais un même mobile ne peut franchir les quatre coudées et les deux, en même temps, si ce n'est dans un mouvement instantané, et nous avons vu que le grave qui tombe exécute son mouvement dans le temps, et passe les deux pieds en un temps moindre que les quatre. Par conséquent, il est faux que la vitesse s'accroît comme l'espace. » Ce raisonnement contient une erreur analogue à celle du raisonnement que nous avons rapporté plus haut : Galilée applique ici au mouvement dont la vitesse augmente proportionnellement à l'espace parcouru un calcul qui ne vaut que pour le mouvement uniformément accéléré (par rapport au temps). Voir E. MACH, *Mechanik* 2, Leipzig, 1921, p. 245 et P. TANNERY, *Mémoires Scientifiques*, vol. VI, p. 400 sq.

3. Une déduction correcte aurait conduit Galilée aux formules trouvées par Descartes, v. plus bas, p. 42.

que son échec lui apparut plus directement : dans le fait même que son « principe axiomatique » ne pouvait pas jouer le rôle qu'il lui voulait assigner ; il était, cela va de soi, impossible d'en déduire les formules descriptives (1). Il était même impossible — pour Galilée — de l'utiliser correctement. Il est probable que cela avait suffi ; il est probable qu'un examen réitéré du problème fit voir à Galilée où était son erreur. Elle gisait, à n'en pas douter, dans la négligence de « l'affinité suprême du mouvement et du temps (2) ». Et, peut-être aussi, dans la négligence du facteur causal. L'éloge qu'il fit plus tard de la notion d'attraction formulée par Gilbert (3), l'admiration qu'il a toujours professée pour le grand physicien anglais (4), rendent cette hypothèse assez vraisemblable (5) : le corps qui tombe accélère son mouvement parce que, à chaque instant suivant, il subit la même action instantanée — l'attraction — de la terre. Et la formule — définition essentielle — du mouvement accéléré doit prendre pour base non l'espace mais le temps.

2. Descartes

Tournons-nous maintenant vers Descartes.

C'est en 1618 qu'Isaak Beeckman fit, par hasard, la connaissance de M. du Perron. Beeckman ne mit pas trop de temps à découvrir les dons extraordinaires dont la nature avait comblé le jeune Français (6). Aussi s'adressera-t-il à Descartes pour lui demander de l'aider à résoudre le redoutable problème de la chute accélérée des graves.

L'histoire de la collaboration Beeckman-Descartes, véritable comédie des erreurs, a été contée déjà plus d'une fois (7). Nous croyons cependant qu'il n'est pas inutile de nous y arrêter encore.

Beeckman ne demande pas à Descartes pourquoi, en général,

1. La formule serait, en effet, une fonction exponentielle.

2. Expression de Galilée, V. *infra*, p. 55.

3. Voir plus bas, III, p. 98, n. 3.

4. Galilée n'adoptera cependant jamais les théories de Gilbert ; et jamais n'essayera d'utiliser la notion gilbertienne d'attraction pour formuler la théorie de la chute des corps. On peut se l'expliquer facilement : la physique de Gilbert est animiste et, avant Newton personne, même pas Kepler, ne saura mathématiser l'attraction.

5. Cf. P. DUHEM, *De l'accélération*, p. 907.

6. Descartes, d'ailleurs, ne laissait pas volontiers sa lumière sous le boisseau. Cf. *Journal de Beeckman*, DESCARTES, *Œuvres*, éd. A. T., t. X, p. 331 : « Is dicebat mihi se in arithmetice et geometricis nihil amplius optare : id est se tantum in iis his novem annis proficisse quantum humanum ingenium capere possit. »

7. Voir surtout P. DUHEM, *Études sur Léonard de Vinci*, vol. III, *Les Précurseurs parisiens de Galilée*, Paris, 1913, pp. 566 sq. et G. MILHAUD, *Descartes savant*, Paris, 1920, pp. 25 sq. Cf. aussi J. SIRVEN, *Les années d'apprentissage de Descartes*, Paris, 1928.

les corps tombent ; il le sait. Sans doute l'a-t-il appris chez Gilbert (1), ou chez Kepler. Les corps tombent, parce que la terre les attire. Il ne demande pas, non plus, pourquoi ils s'accélèrent : il le sait également. Les corps s'accélèrent en tombant parce qu'ils sont, à chaque instant du mouvement, attirés à nouveau par la terre, et que ces attractions nouvelles leur confèrent, à chaque instant, un degré de mouvement nouveau, tandis que le mouvement dont ils étaient animés, demeure. Dès 1613, en effet, Beeckman avait formulé cette proposition importante : *ce qui est une fois mis en mouvement, demeure en mouvement éternellement*. Dès 1613, il connaissait la loi de conservation du mouvement (2).

1. L'œuvre de Gilbert, (GUILIELMI GILBERTI COLCHESTRENSIS *De Magnete...* Londini, MDC) qui faisait de la terre un aimant et expliquait la chute par l'attraction terrestre a eu un très grand retentissement, et a joué un rôle de tout premier plan dans l'évolution, et la transformation, des conceptions physiques. Aussi sera-t-il hautement loué par Galilée, et suivi par Kepler, Gassendi et Newton. Sans doute, la conception que Gilbert se faisait de l'attraction — force merveilleuse et comparable à l'âme — était-elle contraire à l'esprit de la science nouvelle et par là même inutilisable pour Galilée et Descartes. Mais c'est justement là dessus que portera l'effort de Gassendi et de Newton : transformer l'attraction gilbertienne en une force non dirigée vers son objet.

2. *Journal de Beeckman*, 1613, DESCARTES, *Œuvres*, éd. A. T., Vol. X, p. 60, note f : « Mota semel nunquam quiescunt, nisi impediuntur. Omnis res semel mota nunquam quiescit, nisi propter externum impedimentum. Quoque impedimentum est imbecillius, eo diutius mota movetur : si enim aliquid in altum projiciatur si nullo circulariter moveatur, ad sensum non quiescit ante reditum in terram ; et si quiescat tandem id non fit propter impedimentum aequabile, sed propter impedimentum inaequabile, quia alia atque alia pars aeris vicissim rem motam tangit. » Ne confondons pas, cependant, ainsi qu'on le fait encore trop souvent, ainsi, par exemple, que le fait Duhem (cf. *De l'accélération*, etc., p. 904) et avant lui, Wohlwill, la loi de conservation du mouvement avec la loi d'inertie. La loi de l'inertie implique la persistance du mouvement *en ligne droite* ; la loi de la conservation du mouvement n'implique rien de tel. Aussi Beeckman croit-il à la persistance du mouvement circulaire et nous explique-t-il la persistance du mouvement circulaire des planètes par celle, facilement observable, d'un candélabre suspendu à un fil, car il pense que la loi de conservation est valable d'une manière générale (A. T. v. X, p. 225) : « eo modo quo in recto motu valeat hoc theorema : quod semel movetur semper eo modo movetur dum ab extrinseco impediatur. In vacuo vero nulla tales consideratio habenda ; magnum enim corpus, parvum, grave, leve, magna aut parva superficie, hac sive illa figura, etc. semper eo modo quo semel motum est, pergit moveri, his accidentibus nihil impedimenti afferentibus. Praeterea cum candelabra eo modo moventur quo dico annum motum terrae fieri, si abscisso fune fieri posset, ut candelabra in aere elevata manerent neque deciderent, sed ut astra in caelo, sic haec in aere vagarentur, nulla ratio videtur esse cur non pergerent circulariter moveri, usque dum sapienter aeri occurrando impedita ». Le cas de Beeckman n'est pas unique : Hobbes croira comme lui à la persistance du mouvement circulaire ; aussi ce n'est pas à lui, ni même à Galilée, mais uniquement à Descartes que revient la gloire d'avoir, le premier, clairement conçu et formulé la loi d'inertie.

Ces lignes étaient écrites, et même imprimées, lorsque la publication par M. Cornélis DE WAARD de nouveaux fragments du *Journal* de Beeckman (*Correspondance du P. Marin Mersenne*, vol. II, Paris, 1936), pp. 118 sq. 123 sq., 235 sq., 280 sq. etc., a modifié sensiblement l'image que l'on se faisait, ou plus exactement, que l'on ne se faisait pas du physicien hollandais, et nous a fait regretter amèrement que son précieux journal soit resté inédit. En effet, Beeckmann, on s'en rend compte maintenant, mérite pleinement l'appellation de *vir ingeniosissimus* dont l'avait gratifié Descartes ; et, ce qui plus est, il nous apparaît désormais

Tout cela, et c'est beaucoup, c'est toute la structure physique du problème (1), Beeckman le sait donc *avant* de rencontrer Descartes ; mais, comprenant parfaitement (bien mieux que Descartes) le côté *physique* de la question, il est incapable de le dominer *mathématiquement*. Des principes qu'il possède, il ne peut déduire les consé-

comme un chaînon de première importance dans l'histoire de l'évolution des idées scientifiques ; enfin, son influence sur Descartes semble avoir été beaucoup plus profonde que l'on n'a pu le supposer jusqu'ici ; en particulier, plusieurs des lois du mouvement et du choc formulées par Descartes dans ses *Principes* ont leurs modèles dans celles qu'avait établies Beeckman (cf. *Correspondance*, II, App. I, A, pp. 633 sq.) ; en outre, érudit et bien au courant de la littérature scientifique contemporaine il a, sans doute, transmis à Descartes la connaissance d'ouvrages que celui-ci n'avait pas lus.

Beeckman appartient au courant de pensée que l'on peut qualifier de Brunien-Gilbertien. Comme Bruno il admet l'infinité de l'Univers et un nombre infini d'étoiles fixes ; comme lui il est partisan du vide qu'il identifie avec l'éther et la matière subtile ; comme Gilbert et Kepler c'est dans cet éther qu'il voit la source et l'agent de l'attraction ; bien avant Descartes et Pascal il explique la montée des liquides dans les tubes fermés par la pression atmosphérique ; et, ce qui ici nous intéresse tout particulièrement, c'est avant Descartes qu'il formule le principe de la conservation du mouvement, rejette la notion de l'*impetus* et donne une réponse correcte au problème du jet. Ainsi, dès 1620 il proclame que *Motus a Deo semel creatus non minus quam corporeitas ipsa in aeternum conservatur*, et si, ne sachant comment expliquer de ce point de vue le fait indubitable de l'arrêt (donc de la disparition du mouvement) lors du choc des corps morts, il écrit (*Correspondance*, II, p. 123) : « His ita positis, nunquam motus in vacuo potest intelligi ad celeriores motum vergere, sed omnia tandem spectare ad quietem propter aequales occurrentes. Unde sequitur Deum opt. max. solum potuisse motum conservare movendo semel maxima corpora minima celeritate, quae deinceps reliqua ad quietem semper spectantia perpetuo resuscitant et vivificant », dès 1629 il affirme que cette disparition n'est qu'apparente et que le mouvement se conserve en se divisant entre les parties et les atomes qui composent les corps (cf. *ibid.*, p. 259 sq.). — Dès 1644 il s'oppose à la notion de l'*impetus* (*ib.*, p. 236) : « Lapis, projectus in vacuo, perpetuo movetur ; obstat autem ei aer, qui novus semper ei occurrit atque ita efficit ut motus ejus minuat. Quod vero philosophi dicunt vim lapidi imprimi, absque ratione videtur ; quis nempe posse concipere, quid sit illa aut quomodo lapidem in motu contineat, quae in parte lapidis sedem figat ? Facillime autem mente quis concipiat in vacuo motum nunquam quiescere, quia nulla causa mutans motum, occurrit ; nihil enim mutatur absque aliqua causa mutationis, » et en 1648, dans un des *Corrolaires* des thèses qu'il avait soutenu à Caen, il proclame (*ib.*, p. 237) : « Lapis e manu emissus pergit moveri non propter vim aliquam ipsi accedentem, nec ob fugam vacui, sed quia non potest non perseverare in eo motu, quo in ipsa manu existens movebatur. » — Les mérites de Beeckman, on le voit, sont immenses. Ne les exagérions toutefois pas, et ne lui attribuons pas, comme le fait son savant éditeur, l'invention du principe d'inertie (cf. *Correspondance*, II, p. 122, 236, 272). Car lorsque M. Cornélis de Waard écrit (p. 236) : « dans la première de ces notes il l'applique seulement à tort au mouvement céleste et circulaire, mais peu de temps après (juillet 1613-avril 1614) il l'étend aux mouvements rectilignes : « Omnis res semel mota, nunquam quiescit nisi propter externum impedimentum : quoque impedimentum est imbecillius, eo diutius mota movetur »... il commet justement la même erreur que Beeckman lui-même, qui affirme (*ib.*, p. 360) « Id quod semel movetur in vacuo, semper movetur, sive secundum lineam rectam seu circularem tam super centro suo, qualis est motus diurnus Terrae et annuus, » sans remarquer, — ce dont nous ne lui faisons nullement grief — que la conservation du mouvement circulaire, et celle du mouvement rectiligne, sont rigoureusement incompatibles.

1. Il faudra attendre trente ans au moins, jusqu'au *De motu impresso a motore translato* de Gassendi (Paris, 1643) — et encore ! — pour retrouver une conception aussi claire du mécanisme de la chute. Nous insistons sur les mérites de Beeckman parce qu'ils nous semblent avoir été un peu trop méconnus.

quences ; il ne peut trouver la formule qui lui permette de calculer la vitesse, et le chemin parcouru par le grave (1).

Et c'est cela qu'il demande à Descartes.

Il lui demande donc (2) : « En admettant mes principes, à savoir que ce qui est mis en mouvement se meut éternellement dans le vide, et supposant un vide entre la terre et la pierre qui tombe, peut-on savoir quel est l'espace qu'un corps qui tombe parcourra en une heure, si l'on sait combien il parcourt en deux heures ? »

La formulation de la question est curieuse. Beeckman ne demande pas, ainsi qu'il semblerait naturel de le faire : peut-on savoir quel espace parcourra, en deux heures, un corps qui tombe, lorsque l'on sait combien il parcourt en une seule ? il pose, ainsi que nous avons vu, la question inverse.

Il est visible que Beeckman, qui voit la chute non plus, certes, comme un mouvement « naturel », mais comme l'effet d'une attraction terrestre sur le corps qui, en lui-même, n'éprouve aucune tendance à se mouvoir d'un côté plutôt que d'un autre, et même, en général, à se mouvoir du tout (le corps reste naturellement en repos si quelque force extérieure ne le met en mouvement, alors il persévère dans son nouvel état de mouvement comme il se maintenait dans le repos), ne peut, à nouveau, concevoir la chute que comme un mouvement ayant un but naturel et normal — la terre — et non plus, comme Benedetti ou le jeune Galilée, comme un mouvement pouvant se prolonger indéfiniment (3). Aussi se le représente-t-il comme un mouvement allant de A en B : du sommet d'une tour, ou d'un point quelconque au-dessus de la terre, jusqu'à celle-ci. C'est ce mouvement-là — le mouvement total — que nous pouvons mesurer, c'est-à-dire, mesurer la distance parcourue et le temps employé. C'est de là que nous devons partir pour en reconstituer, par l'analyse, les phases antérieures (4).

1. Ce qui, disons-le en passant, infirme l'opinion de Duhem sur la diffusion générale, au XVI^e et au XVII^e siècle de la formule ou de la règle d'Oresme (v. DUHEM, *Études sur L. de Vinci*, v. III, p. 580 sq. et passim). Notre impression, au contraire, est qu'elle est à peu près inconnue.

2. Voir DESCARTES et BEECKMAN, *Physico mathematica*, Œuvres, A. T., v. X, p. 75 sq.

3. Il est curieux de constater que la conception de Beeckman, très naturelle, en somme, pour un copernicien, et qui constitue un progrès notable par rapport à celle de Benedetti et du jeune Galilée, se rapproche, d'autre part, de la conception traditionnelle de la chute, mouvement dirigé vers un but.

4. Galilée, on l'a vu — et on le verra encore — ne raisonne pas ainsi. Il part toujours de la conception benedettienne d'un espace archimédien et étudie le mouvement de la chute comme un type particulier du mouvement. Il ne part pas du cas concret.

Ce n'est pas exactement de la même manière que Descartes concevra le mouvement de la chute. Aussi sa réponse sera-t-elle inexacte. Mais Beeckman ne le verra pas.

En effet, voilà ce que, selon Beeckman, à la question « pourquoi la pierre tombant dans le vide, tombe avec une vitesse toujours plus grande » répond Descartes « en partant des principes » de Beeckman (1) : « Lorsqu'un vide existe entre le corps et la terre, le corps se meut vers le bas, vers le centre de la terre, de la manière suivante : dans le premier moment, il franchit autant d'espace qu'il peut le faire par suite de la traction (2) de la terre ; dans le deuxième [moment], il persévère dans ce mouvement auquel s'ajoute un nouveau mouvement de traction, de telle façon que, dans ce deuxième moment, il franchit un espace double. Dans le troisième moment, le double espace se maintient (3), auquel s'ajoute, par suite de la traction de la terre, un troisième, de telle façon que, dans un seul moment, il franchit un espace triple du premier. »

Ces considérations, qui, comme nous le verrons tout à l'heure, sont une transposition beeckmanienne du raisonnement cartésien, permettent de résoudre correctement le problème posé et de calculer le temps de la chute. Poursuivons donc le compte rendu de Beeckman (4) : « Mais, comme ces moments sont indivisibles, l'espace que

1. V. *Journal de Beeckman*, in DESCARTES, Œuvres, éd. A. T., vol. X, p. 58. « Lapis cadens in vacuo cur semper celerius cadat : Moventur res deorsum ad centrum terrae, vacuo intermedio spatio existente, hoc pacto : Primo momento, tantum spacium conficit, quantum per terrae tractionem fieri potest. Secundo, in hoc motu perseverando superadditur motus novus tractionis, ita ut duplex spacium secundo momento peragretur. Tertio momento, duplex spacium perseverat, cui superadditur ex tractione terrae tertium, ut uno momento triplum spacii primi peragretur ».

2. Passage d'une importance capitale parce qu'il montre bien toute la différence qu'il y a entre la notion d'attraction et celle de tendance : l'attraction agit du dehors, elle tire le corps vers la terre. Le mouvement de la chute est donc — *horribile dictu* — un mouvement violent. Sans doute, Kepler, en rendant l'attraction mutuelle, rendra-t-il la situation moins choquante ; mais Descartes assimilera définitivement le mouvement naturel de la chute au mouvement violent produit par le choc. V. plus bas, pp. 51 sq.

3. « Le double espace se maintient » — *duplex spatium perseverat* — la vitesse double, c'est-à-dire celle qui fait, en un moment, franchir un espace double, se maintient.

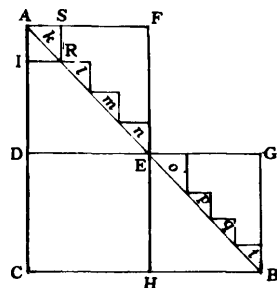
4. *Journal de Beeckman*, A. T., v. X, p. 58. « Lapis cadentis tempus supputatum : Cum autem momenta haec sint individua, habebit spacium per quod res una hora cadit ADE. Spacium per quod duabus horis cadit, duplicat proportionem temporis, id est ADE ad ACB, quae est duplicata proportio AD ad AC. Sit enim momentum spatii per quod res una hora cadit alicujus magnitudinis, videlicet ADEF. Duabus horis perficiet talia tria momenta, scilicet AFEGBHCD. Sed AFED constat ex ADE cum AFE ; atque AFEGBHCD constat ex ACB cum AFE et EGB id est cum duplo AFE.

Sic si momentum sit AIRS, erit proportio spatii ad spacium, ut ADE cum *klmn*, ad ACB cum *klmnopq*, id est etiam duplum *klmn*. Ast *klmn* est multo minus quam AFE. Cum igitur proportio spatii peragrati ad spacium peragratum constet ex proportionem trianguli ad triangulum, adjectis utrique termino aequalibus, cumque haec aequalia adjecta semper

le corps franchit dans sa chute, dans une heure, sera ADE. L'espace qu'il franchira en deux heures (en tombant) double la proportion du temps, c'est-à-dire, ADE à ACB, qui est la double proportion de AD et AC. Que le moment de l'espace, que le corps franchit en tombant en une heure, soit d'une grandeur quelconque, par exemple ADEF. En deux heures, il franchira trois moments pareils, c'est-à-dire AFEGBHCD. Mais AFED se compose de ADE avec AFE. Et AFEGBHCD se compose de ACB avec AFE et EGB, c'est-à-dire, avec le double de AFE.

« Ainsi, si le moment est AIRS, la proportion des espaces sera ADE avec *klmn* à ACB avec *klmnopqt*, c'est-à-dire encore une fois, le double de *klmn*. Mais *klmn* est beaucoup plus petit que AFE. Comme donc la proportion de l'espace franchi à l'espace franchi se compose de la proportion d'un triangle à un autre triangle, auxquels termes [de la proportion] sont ajoutées des [grandeurs] égales, et comme ces adjonctions égales deviennent d'autant plus petites que les moments de l'espace sont plus petits, il s'ensuit que ces adjonctions deviennent de quantité nulle, lorsque le moment est de nulle grandeur. Or, tel est le moment de l'espace par lequel tombe le corps. Reste donc que l'espace par lequel tombe le corps en une heure se rapporte à l'espace par lequel il tombe en deux heures comme le triangle ADE au triangle ACB.

« Si donc l'expérience était faite que le corps tombant en deux heures franchit 1.000 pieds, le triangle ABC contiendra 1.000 pieds (1).



eo minora fiant quo momenta spatii minora sunt : sequitur haec adjecta nullius quantitatis fore quando momentum nullius quantitatis statuitur. Tale autem momentum est spatii per quod res cadit. Restat igitur spatium per quod res cadit una hora se habere ad spatium per quod cadit duabus horis, ut triangulum ADE ad triangulum ACB.

Haec ita demonstravit M. Perron, cum ei ansam prae buissem, rogando an possit quis scire quantum spatium res cadendo conficeret unica hora, cum scitur quantum conficiat duabus horis, secundum mea fundamenta, viz. quod semel movetur, semper movetur, in vacuo et supponendo inter terram et lapidem cadentem esse vacuum. Si igitur experientia compertum sit, lapidem cecidisse duabus horis per mille pedes, continebit triangulum ABC 1000 pedes. Hujus radix est 100 pro linea AC quae respondit horis duabus. Bisecata ea in D, respondet AD uni horae. Ut igitur se habet proportio AC ad AD duplicata, id est 4 ad 1, sic 1000 ad 250, id est ACB ad ADE. »

1. Notons en passant que, de même que Galilée, Descartes représente l'espace parcouru par le corps qui tombe, non pas par une ligne, mais par une surface. C'est que ni Galilée, ni Descartes, ne pensent en premier lieu à l'espace parcouru ; ils pensent au mouvement effectué. Le « moment » indivisible dont parle Descartes n'est pas un « instant » : c'est exactement la même chose que le « degré de vitesse » dont parle Galilée : c'est un mouvement

De cela, la racine est 100 pour la ligne AC qui correspond à deux heures. Divisée en moitiés égales en D, AD correspondra à une heure. Comme donc se comporte la proportion double de AC à AD, c'est-à-dire comme 4 à 1 se comportent aussi 1.000 à 250, c'est-à-dire ACB à ADE. »

La solution est à la fois élégante et juste : les espaces parcourus sont reconnus être proportionnels aux carrés des temps. Mais ce n'est pas la solution de Descartes : Beeckman, on le sait bien, s'était trompé en interprétant la réponse de M. du Perron (1). Voici, en effet, le double compte rendu que nous a laissé Descartes lui-même.

Dans ses *Cogitationes Privatae*, Descartes note, brièvement (2) : « Il m'est arrivé, il y a peu de jours, de me lier d'amitié avec un homme fort ingénieux, qui m'a posé la question suivante :

« Une pierre, dit-il, descend de A en B en une heure ; elle est perpétuellement attirée par la terre avec la même force, et ne perd rien de la vitesse qui lui a été imprimée par l'attraction précédente. Or, ce qui se meut dans le vide, se meut, d'après lui, éternellement. On demande en combien de temps elle franchira un espace donné. »

Notons, tout d'abord, que Descartes reconnaît avoir reçu de Beeckman et la question, et les principes de la solution (3). Principes qui n'ont pas, pour lui, comme pour Beeckman, une valeur de vérité ; ce ne sont, pour Descartes, que des hypothèses ; hypothèses que, d'ailleurs, il comprend imparfaitement. Cela ne l'empêche pas de résoudre le problème posé ; et même d'en donner deux solutions différentes. Le pauvre Beeckman n'en demandait pas tant ; il voulait savoir comment les pierres tombent. Descartes ne s'en contente pas, et lui explique comment elles pourraient tomber (4).

ou une vitesse instantanée, le minimum, ou, si l'on préfère, la différentielle du mouvement. Comme tel — mouvement — il a nécessairement deux dimensions. Aussi la figure (le triangle ou le rectangle) représentant-ils littéralement la somme des « moments » ou « degrés de vitesse » infinis. C'est ce que Duhamel nous semble pas avoir compris.

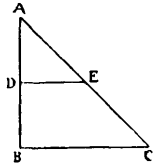
1. V. P. DUHAMEL, *Études sur L. de Vinci*, v III, p. 570 et G. MILHAUD, *Descartes savant*, p. 27.

2. *Cogitationes Privatae* (A. T., vol. X, p. 219 sq.) : « Contigit mihi ante paucos dies familiaritate uti ingeniosissimi viri, qui talem mihi quaestionem proposuit : *Lapis, aiebat, descendit ab A ad B una hora ; attrahitur autem a terra perpetuo eadem vi, nec quid deperdit ab illa celeritate quae illi impressa est priori attractione. Quod enim in vacuo movetur semper moveri existimabat. Queritur quo tempore tale spatium percurrat.* »

3. On sait que Descartes niera, plus tard, avoir jamais appris quelque chose de Beeckman. Cf. *Lettre à Mersenne*, 4 nov. 1630 (A. T., vol. I, p. 171 sq.) et *Lettre à Beeckman* lui-même (A. T., vol. I, p. 157 sq.).

4. M. E. Gilson a déjà noté ce trait caractéristique de l'esprit cartésien : Descartes se préoccupe beaucoup moins de l'établissement d'un fait que de son explication. V. E. GILSON, *Études sur le rôle de la pensée médiévale dans la formation du système cartésien*, Paris, 1930.

Voici donc sa réponse (1) : « J'ai résolu la question. Dans le triangle isocèle rectangle, ABC représente l'espace (le mouvement) ; l'inégalité de l'espace du point A à la base BC, l'inégalité du mouvement (2). Par conséquent, AD sera franchi dans le temps qui est représenté par ADE ; et DB dans le temps représenté par DEBC : où il faut remarquer que l'espace moindre représente le mouvement plus lent.



Mais ADE est la troisième partie de DEBC : par conséquent, AD sera franchi trois fois plus lentement que DB. »

« Mais on pourrait aussi poser cette question autrement : à savoir [en admettant] que la force attractive de la terre soit égale à celle qu'elle fut au premier moment : et qu'une nouvelle soit produite, tandis que la précédente demeure. Dans ce cas-là, le problème se résoudrait par la pyramide. »

Curieuse adjonction ! On voit bien à quel point le problème du mécanisme physique de la chute est étranger à l'esprit de Descartes. Que Beeckman l'ait effectivement résolu ne l'arrête guère. Et il imagine un autre cas « possible », un cas où la *force attractive* croîtrait d'instant en instant ; alors, au deuxième moment, le corps serait attiré avec une force double ; au troisième, avec une force triple, etc. Dans ce cas-là, bien entendu, le corps tomberait beaucoup plus vite (3).

Comment un tel accroissement de la « force attractive » serait-il possible ? Descartes ne se le demande pas. En fait, ce n'est pas en physicien, c'est en mathématicien pur, en pur géomètre, qu'il voit le problème : il s'agit d'établir un rapport entre deux séries de grandeurs variables. Pourquoi ne pas essayer, pendant qu'on y est, une hypothèse amusante ?

Descartes est un géomètre, un mathématicien pur. C'est là, semble-

1. *Cogitationes Privatae*, A. T., X, p. 219 : « Solvi quaestionem. In triangulo isoscelo rectangulo, ABC spatium [motum] repraesentat ; inaequalitas spatii a puncto A ad basin BC, motus inaequalitatem. Igitur AD percurritur tempore, quod ADE repraesentat ; DB vero tempore quod DEBC repraesentat : ubi est notandum minus spatium tardiorum motum repraesentare. Est autem AED tertia pars DEBC : ergo triplo tardius percurret AD quam DB. Aliter autem proponi potest haec quaestio, ita ut semper vis attractiva terrae aequalis sit illi quae primo momento fuit : nova producitur, priori remanente. Tunc quaestio solvetur in pyramide. »

2. « L'inégalité du mouvement » — *motus inaequalitatem* — veut dire : la variation de la vitesse.

3. Le problème se résoudrait par la pyramide — *solvetur in pyramide* — c'est-à-dire les vitesses croîtraient comme les cubes et non plus comme les carrés.

et-il la raison pour laquelle il ne saisit pas très bien les « principes » de Beeckman et donne à sa question une réponse erronée. Il voit le problème — et le phénomène étudié — tout autrement que Beeckman.

De même que Beeckman, il part de la chute achevée. Mais, à l'encontre de Beeckman, il la voit, en quelque sorte, arrêtée. Ou, si l'on préfère, de la chute, il ne garde que sa trajectoire. Ou, si l'on veut encore, instinctivement, il élimine le temps.

La ligne ADB — qui, pour Beeckman représentait le temps écoulé (1) — représente pour lui, naturellement, la trajectoire parcourue. Et le problème se transforme : une trajectoire est parcourue avec une vitesse « uniformément variable » ; le problème est donc de déterminer la vitesse à chaque point de trajet. Les triangles ADE, ABC qui, pour Beeckman, représentaient l'espace parcouru (le trajet), représentent, pour Descartes, le mouvement du mobile, c'est-à-dire la « somme des vitesses » réalisées. Et, très plausiblement, il conclut : la « somme des vitesses » étant triple, l'espace DB sera franchi trois fois plus vite. Le temps se retrouve, mais trop tard ; la géométrisation à outrance, la spatialisation, l'élimination du temps — là où on ne peut l'éliminer —, la négligence du côté physique, causal, du processus amènent Descartes — comme jadis Galilée et, avant lui, Benedetti et Michel Varron — à concevoir le mouvement uniformément accéléré comme un mouvement dont la vitesse s'accroît proportionnellement au chemin parcouru, et non proportionnellement au temps écoulé.

Or, s'il nous est, en effet, loisible de donner à nos notions des définitions arbitraires, il nous faut aussi — c'est là la leçon que nous donnera Galilée — tâcher de saisir l'essence des phénomènes dans la nature. C'est-à-dire, il nous est interdit de négliger les causes et d'oublier le temps.

Nous venons de dire que Descartes n'a pas bien saisi les « principes » de la physique de Beeckman. On pourrait aller plus loin,

1. Il est curieux de noter que pour Beeckman, comme pour Galilée (v. *supra*, pp. 22 et 23 ; *Dialogo*, p. 251, *Discorsi e dimostrazioni*, g. III, l. II, prop. 1 et 2), le flux du temps est toujours représenté par une verticale et non, comme nous le faisons habituellement, par une horizontale.

et dire qu'il n'a pas compris le progrès accompli par son ami (1). Il est vrai que Beekman lui-même ne le comprend pas très bien. Le texte des *Physico-mathematica*, en confirmant notre analyse des sources de l'erreur cartésienne, nous semble démontrer pleinement cette incompréhension. Aussi le citerons-nous en entier (2).

« Dans la question posée, où l'on imagine que, à chaque instant (3), une force nouvelle s'ajoute [à celle] avec laquelle le corps grave tend vers le bas, je dis que cette force augmente de la même manière dont augmentent les lignes transversales *de, fg, hi*, et d'autres transversales infinies que l'on peut imaginer entre elles. Que si je le démontrerais, j'admettrai pour premier minimum ou point du mouvement (4) causé par la première force attractive de la terre que l'on peut imaginer, le carré *alde*. Pour le deuxième minimum du mouvement, nous aurons le double, notamment *dmgf* : en effet, la première force qui était dans le premier minimum, demeure, et

1. Ce progrès décisif consiste : a) Dans l'affirmation nette de la loi de la conservation du mouvement qui est ainsi libéré de la conception de l'*impetus* ; b) dans l'élimination de toute cause intérieure au mobile. Pour la première fois dans l'histoire de la physique un effet variable pourra être expliqué par l'action successive, ou prolongée, d'une force constante.

2. DESCARTES et BEECKMAN, *Physico-mathematica*, *Œuvres*, éd. A. T., vol. X, p. 75 sq. : « In proposita quaestione, ubi imaginatur singulis temporibus novam addi vim qua corpus grave tendat deorsum, dico vim illam eodem pacto augeri, quo augentur lineae transversae *de, fg, hi*, et aliae infinitae transversae quae inter illas possunt imaginari. Quod ut demonstrarem, assumam pro primo minimo vel puncto motus, quod causatur a primo quae imaginari potest attractiva vi terrae, quadratum *alde*. Pro secundo minimo motus, habebimus duplum, nempe *dmgf* : pergit enim ea vis quae erat in primo minimo, et alia nova accedit illi aequalis. Item in tertio minimo motus, erunt 3 vires : nempe primi, secundi et tertii minimi temporis, etc. Hic autem numerus est triangularis, ut alias forte fusius explicabo, et apparet hunc figuram triangularem *abc* repraesentare. Immo, inquires, sunt partes protuberantes *ale, emg, goi*, etc. quae extra trianguli figuram exeunt. Ergo figura triangulari illa progressio non debet explicari. Sed respondeo illas partes protuberantes oriri ex eo quod latitudinem dederimus minimis, quae indivisibilia debent imaginari et nullis partibus constantia. Quod ita demonstratur. Dividam illud minimum *ad* in duo aequalia in *q* ; iamque *arsq* est [primum] minimum motus, et *qted* secundum minimum motus, in quo erunt duo minima virium. Eodem pacto dividamus *df, fh*, etc. Tunc habebimus partes protuberantes *ars, ste*, etc. Minores sunt parte protuberante *ale*, ut patet. Rursum, si pro minimo assumam minorem, ut *ax*, partes protuberantes erunt adhuc minores, ut *axγ*, etc. Quod si denique pro illo minimo assumam verum minimum, nempe punctum, tum illae partes protuberantes nullae erunt, quia non possunt esse totum punctum, ut patet, sed tantum media pars minimi *alde*, atqui puncti media pars nulla est. Ex quibus patet, si imaginetur, verbi gratia lapis ex *a* ad *b* trahi a terra in vacuo per vim quae aequaliter ab illa semper fluat, priori remanente, motum primum in *a* se habere ad ultimum qui est in *b*, ut punctum *a* se habet ad lineam *bc*. Mediam vero partem *gb* triplo celerius pertransiri a lapide, quam alia media pars *ag*, quia triplo majori vi a terra trahitur : spatium enim *fgbc* triplum est spatii *afg*, ut facile probatur. Et sic proportionem dicendum de caeteris partibus. »

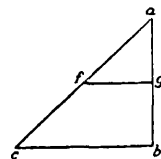
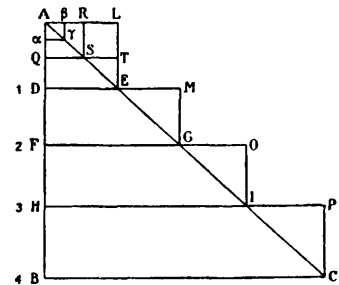
3. Notons ce « à chaque instant » — *singulis temporibus* ; dès que Descartes pense « force », il pense aussi « temps ».

4. Minimum ou point du mouvement — *minimum vel punctum motus* — c'est exactement la même chose que ce que Descartes appelle aussi « moment » et que ce que Galilée et ses prédécesseurs appellent « degré de vitesse ».

une autre, nouvelle, s'y ajoute, égale à la précédente. De même, dans le troisième minimum du mouvement, il y aura trois forces, à savoir : celles du premier, second, et troisième minimum du temps, etc. Or, ce nombre est triangulaire comme ailleurs je l'expliquerai peut-être plus longuement, et il apparaîtra représenter la figure du triangle *abc*. Cependant, diras-tu, il y a là des parties dépassantes, *ale, emg, goi*, etc., qui sortent de la figure du triangle. Par conséquent, la figure du triangle ne saura pas exprimer la progression en question. Or, je réponds que ces parties dépassantes proviennent de ce que nous avons donné une extension à ces minima qu'il faut ima-

giner comme indivisibles et comme n'étant composés d'aucunes parties. Ce que l'on démontre de la manière suivante. Je divise ce minimum *ad* en deux parties égales en *q* ; alors *arsq* sera le (premier) minimum du mouvement, et *qted* le second minimum du mouvement, dans lequel il y aura deux minima de forces. De la même manière, nous diviserons *df, fh*, etc. Alors, nous aurons des parties dépassantes *ars, ste*, etc. Elles sont plus petites que la partie dépassante *ale*, ainsi qu'il est évident. Allons plus loin. Si, pour un minimum, j'admets un minimum moindre, tel que *ax*, les parties dépassantes seront encore plus petites, telles que *axγ*, etc. Que si, enfin, pour ce minimum, je prends le minimum véritable, c'est-à-dire, le point, alors ces parties dépassantes seront nulles, car elles ne pourront être le point tout entier, mais seulement une moitié du minimum *alde*, ainsi qu'il est évident, et que la moitié d'un point est nulle.

« D'où il est clair que si nous nous imaginions, par exemple, une pierre qui, dans le vide, serait entraînée par la terre de *a* en *b* par une force qui en émanerait éternellement d'une manière égale, tandis que la précédente demeurerait, le mouvement premier en *a* se rapporterait au dernier qui est en *b*, comme le point *a* se rapporte à la ligne *bc*. Quant à la moitié *gb*, elle serait franchie par la pierre trois fois plus vite que l'autre moitié *ag*, car il serait entraîné par la terre avec une force trois fois plus grande.



En effet, l'espace $fgbc$ est triple de l'espace afg , comme il est facile de prouver. Et ainsi, proportionnellement, doit-on le dire des autres parties. »

Il est difficile de s'imaginer un texte qui unirait, comme celui-ci, une suprême élégance mathématique (1) avec la plus irrémédiable confusion physique. Descartes, décidément, n'a pas compris les « principes » de Beeckman ; aussi laisse-t-il, tout simplement, tomber la conquête intellectuelle de celui-ci : le principe de la conservation du mouvement. Il le remplace par celui de la force. Il part de cette idée que la *vitesse* est proportionnelle à la *force* (2) ; et en conclut qu'une force constante produit une vitesse constante. Il retombe donc dans la conception classique de la physique de l'*impetus*. Il s' imagine que si le corps qui tombe accélère son mouvement, c'est parce qu'il est plus fortement attiré par la terre à la fin de son mouvement qu'à son début ou, pour parler son langage, parce que la force attractrice de la terre produit dans la pierre une force motrice grandissante : aussi additionne-t-il (le passage que nous citons correspond à la première hypothèse étudiée dans le texte des *Cogitationes Privatae* que nous avons cité plus haut) les forces agissantes, et non simplement les vitesses (3).

On a l'impression que Descartes, tout en acceptant — hypothétiquement — le principe de Beeckman, le principe de conservation du

1. P. DUHEM (*op. cit.*, p. 576) écrit à ce propos : « Ce que Beeckman avait dit...[il faudrait, bien entendu, dire : Descartes], était d'une autre exactitude et d'une autre portée que les raisonnements du Mécanicien de Pise. » Les raisonnements du « Mécanicien de Pise » n'étaient pas aussi mauvais que le dit Duhem ; ils consistaient, ainsi qu'on l'a vu, et ainsi qu'on le verra plus bas, dans une utilisation de la géométrie des indivisibles de Cavalieri. Quant au raisonnement cartésien, on le retrouve, à peu de choses près, chez Gradi (V. CAVERNI, *Storia del metodo sperimentale in Italia*, vol. IV, Bologna, 1895, p. 306 sq.).

2. Idée parfaitement juste si, comme Descartes, on élimine le temps et se représente l'action de la force comme intemporelle ou instantanée ; alors, ainsi que le dira Newton (*Philosophiae naturalis principia mathematica*, Londini, 1687, Axiomata sive leges, Lex II, p. 12) il est hors de doute que « Si vis aliqua motum quamvis generat, dupla duplum, tripla triplum generabit, sive simul et semel, sive gradatim et successive impressa fuerit. » Sur l'instantanéisme de Descartes, v. le beau travail de M. Jean Wahl, *Le rôle de l'idée de l'instant dans la philosophie de Descartes*, Paris, 1920.

3. Nous avons déjà dit que Beeckman lui-même est loin de se comprendre, de comprendre ce qui est impliqué par son « principe ». Ce qui est entièrement confirmé par les textes publiés par M. Cornelis de Waard. Beeckman se comprend, en quelque sorte, si peu, qu'il nie la continuité de l'accélération dans la chute, et adopte la théorie d'un mouvement non ininterrompu (v. *Correspondance du P. Marin Mersenne*, vol. II, p. 291 sq.). D'ailleurs, il admet, comme Aristote, que le corps, lancé en l'air, s'arrête avant de rebrousser chemin. On le voit bien, aussi paradoxal que cela ne paraisse, la notion nouvelle du mouvement est loin d'être claire pour lui, et c'est à Descartes qu'il sera réservé de la tirer au clair et d'en pénétrer toutes les implications. Mais il n'y arrivera que dix ou même quinze ans plus tard, à l'époque des *Regulae* et du *Monde*, lorsqu'il se décidera à ne voir dans le mouvement que ce qu'y voient les mathématiciens.

mouvement, s'en méfie. On a l'impression que, cherchant à résoudre le problème de la chute, il préfère se passer des notions élaborées par Beeckman, notions visiblement encore trop nouvelles pour lui, trop insolites, trop difficiles. En effet, la notion du mouvement que Beeckman — implicitement — met en jeu (c'est la notion du mouvement de la physique classique) se place, en quelque sorte, à la frontière étroite entre le mathématique (le géométrique) et le physique (le temporel). Elle est très difficile à dégager, et la difficulté qu'un Descartes éprouve à la saisir, à se maintenir sur cette limite exacte entre le physique et l'espace pur serait — s'il n'y en avait pas d'autres — une preuve suffisante de cette difficulté. C'est là la raison pour laquelle Descartes l'évite ; le mouvement, entité paradoxale, qui est un état du mobile et qui, néanmoins, passe d'un mobile à l'autre ; qui incarne le changement et qui, en même temps, se maintient identique à elle-même, lui semble un être bâtard ; et volontairement autant qu'instinctivement il remplace cette notion par celles, plus massives — et plus claires, plus facilement *imaginables* (1) —, de force motrice d'une part, de trajectoire de l'autre.

Pourtant, il réussit brillamment sa déduction mathématique. On le comprend sans peine : formellement il n'y a, en effet, aucune différence entre le problème de Beeckman et celui que lui substitue Descartes. Qu'il s'agisse de forces, d'espaces, de vitesses, peu importe ; il s'agit toujours d'une seule et même chose, à savoir : de calculer le rythme de variation d'une grandeur qui s'accroît uniformément par rapport au temps. Et lorsqu'il pense à la force attractive, Descartes pense nécessairement à une variation, ou à une production, dans le temps. C'est lorsqu'il essaie de traduire les résultats de son intégration en termes d'espace que, emporté par l'élan de la représentation imaginative et de sa tendance à la géométrisation à outrance, il tombe dans l'erreur que, chose curieuse, même avec sa physique de la force, il pouvait, en principe, éviter (2). S'il y tombe, c'est que, substituant la trajectoire au mouvement, il fait de la trajectoire — et non plus du temps — l'argument de sa fonction.

La traduction — réinterprétation — cartésienne des idées de

1. La physique de Descartes est — hélas ! — une physique *imaginative*, et bien souvent, en physique, une conception claire n'est pour lui qu'une conception clairement imaginée. Cf. L. BRUNSCHVIG, « Métaphysique et Mathématique chez Descartes », *R. M. M.* 1927 et plus bas, pp. 63 sq.

2. Il n'avait besoin que de maintenir strictement le parallélisme entre force et vitesse et de continuer à penser causalement, c'est-à-dire, en fonction du temps.

Beeckman nous semble tellement curieuse, et tellement révélatrice en même temps des tendances profondes de l'esprit humain, des difficultés qu'il a dû vaincre, pour arriver à cette notion du mouvement que, dix ans plus tard, Descartes déclarera simple et claire au point de ne pas exiger et de ne pas admettre de définition, que nous nous en voudrions de ne pas l'éclairer par un autre texte encore. Le lecteur, espérons-nous, ne nous en voudra pas de le faire.

« Cette question, poursuit Descartes (1), peut être résolue encore d'une autre manière, plus difficile. Que l'on s'imagine la pierre demeurer dans le point a , l'espace entre a et b étant vide. Et que, pour la première fois, aujourd'hui à neuf heures par exemple, Dieu crée en b une force attractive de la pierre ; et que dans les instants suivants, il crée par la suite des forces d'attraction toujours nouvelles, égales à celle qu'il créa au premier instant, lesquelles, jointes aux forces créées antérieurement, entraînent la pierre de plus en plus fortement, et d'autant plus fortement que, dans le vide, ce qui est mu une fois se meut éternellement ; et admettons que la pierre, qui était en a , parvient en b à dix heures. Si l'on demande en combien de temps elle parcourra la première moitié du chemin, c'est-à-dire ag et en combien de temps celle qui reste, je réponds que la pierre descend par la ligne (2) ag en $1/8$ d'heure et par la ligne gb en $7/8$ d'heure. Alors, en effet, il faut faire une pyramide sur la base triangulaire dont la hauteur soit ab et qui soit divisée d'une manière quelconque, ensemble avec la pyramide entière, par des lignes transversales équidistantes de l'horizon. La pierre parcourra les parties inférieures de la ligne ab d'autant plus vite qu'elles participeront à de plus grandes sections de la pyramide entière (3). »

Descartes n'a pas tort de considérer cette manière d'envisager la

1. DESCARTES et BEECKMAN, *Physico-mathematica*, (Œuvres, éd. A. T., vol. X, p. 77. « Aliter vero potest haec quaestio proponi difficilius, hoc pacto. Imaginetur lapis in puncto a manere, spatium inter a et b vacuum ; iamque primum, verbi gratia, hodie hora nona Deus creet in b vim attractivam lapidis ; et singulis postea momentis novam et novam vim creet, quae aequalis sit illi quam primo momento creavit ; quae iuncta cum vi ante creata fortius lapidem trahat et fortius iterum, quia in vacuo quod semel motum est semper movetur ; tandemque lapis, qui erat in a , perveniat ad b hora decima. Si petatur quanto tempore primam median partem spatii confecerit, nempe ag , et quanto reliquam : respondeo lapidem descendisse per lineam ag tempore $1/8$ horae ; per spatium gb , $7/8$ horae [visiblement erreur : intervertir les chiffres]. Tunc enim debet fieri pyramis supra basin triangularem, cuius altitudo sit ab , quae quocunque pacto dividatur una cum tota pyramide per lineas transversas aequedistantes ab horizonte. Tanto celerius lapis inferiores partes lineae ab percurrat, quanto maioribus insunt totius pyramidis sectionibus. »

2. La ligne, comme toujours chez Descartes, représente la trajectoire.

3. C'est-à-dire proportionnellement à la troisième puissance. Nous sommes dans la deuxième hypothèse des *Cogitationes Privatae*.

question comme « plus difficile ». En effet, il adopte, cette fois-ci, le principe Beeckmanien de la conservation du mouvement. Mais à ce principe, il surajoute — et l'on comprend qu'il invoque le concours divin — un accroissement constant de la force attractive. Chose curieuse ! De tous les cas possibles que Descartes examine, il y en a un seul qu'il n'étudie pas : c'est celui justement que Beeckman lui avait proposé.

Comment se fait-il que Beeckman n'ait pas remarqué l'erreur commise par Descartes, et n'ait pas revendiqué pour lui-même la gloire d'une solution exacte ? On ne pourra, sans doute, jamais l'expliquer entièrement. Il faut admettre le fait : Beeckman, qui poursuit la solution d'un problème *physique*, qui pose à Descartes une question déterminée — une question mathématique — applique naturellement la réponse reçue au problème posé. Et là où Descartes parle espace, Beeckman, lui, comprend temps (1). Plus exactement, là où Descartes glisse du temps à l'espace, Beeckman, lui, évite le glissement. Aussi, commettant, par rapport à Descartes, mais dans le sens inverse, l'erreur que commet celui-ci par rapport à lui-même, arrive-t-il à rétablir, en quelque sorte, la situation. Telle est, en gros, l'explication de G. Milhaud (2). Et nous devons avouer que nous n'en voyons pas d'autre. Il faut admettre le fait : Beeckman ne remarque pas que la solution de Descartes diffère de celle qu'il lui attribue. Il ne remarque pas que les principes physiques de cette solution ne sont pas les siens. Et c'est à Descartes qu'il attribue la solution qu'il transcrit.

Ne serait-ce pas là un indice que, pour Beeckman, le problème était surtout mathématique, et que c'est dans sa solution — l'effectuation de l'intégration — qu'il voit le mérite de son jeune ami ?

On pourrait, nous semble-t-il, aller plus loin encore. Si Beeckman ne voit pas la différence de sa solution (vitesse proportionnelle au temps écoulé) et de celle de Descartes (vitesse proportionnelle à l'espace parcouru), c'est que, pour lui, elle n'existe pas ; c'est que, ces deux solutions, il les croit équivalentes (3).

1. Cf. P. DUHEM, *Études sur Léonard de Vinci*, III p. 570.

2. V. G. MILHAUD, *op. cit.*, p. 28 sq.

3. On aurait ici, en quelque sorte, la répétition de la situation exemplifiée plus haut par L. de Vinci et Benedetti.

Ceci, sans doute, paraîtra à nos lecteurs extrêmement peu vraisemblable. Pourtant... N'oublions pas, en effet, que Beeckman, bon physicien sans doute, est un mathématicien fort médiocre : or, nous verrons que Descartes lui-même, mathématicien génial s'il en fut, n'a jamais su ni reconnaître l'erreur qu'il avait commise, ni même, en retrouvant chez Galilée la formule exacte (1), reconnaître qu'elle différerait de celle qu'il avait, jadis, proposée. Par quoi l'on peut voir, une fois de plus, combien les idées simples et claires, auxquelles la physique classique et la philosophie cartésienne nous ont habitués, avaient été difficiles à dégager et à saisir. Même pour un Galilée. Même pour un Descartes.

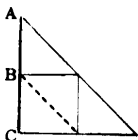
Dix ans après sa rencontre mémorable avec Beeckman, Descartes eut, une fois de plus, l'occasion de s'occuper du problème de la chute des corps. Ce fut, cette fois-ci, son ami Mersenne qui lui posa la question. Et la réponse de Descartes diffère du tout au tout de celle qu'il avait fournie à Beeckman (2). Sauf en un point : tout comme il y a dix ans Descartes donne à son ami une formule fautive ; la même formule que jadis, formule où la vitesse du mobile est une fonction non du temps écoulé, mais de l'espace parcouru.

1. Voir *Lettre à Mersenne*, du 14 août 1634 (A. T., vol. I, p. 303 ; A.M.I v. p. 265), où Descartes dit avoir feuilleté le *Dialogue* de Galilée que Beeckman lui avait prêté du samedi au lundi : « Le sieur Beeckman vint icy samedi au soir et me presta le livre de Galilée ; mais il l'a remporté à Dort ce matin, en sorte que je ne l'ay eu entre les mains que 30 heures. Je n'ay pas laissé de le feuilletter tout entier et je trouve qu'il philosophe assés bien du mouvement, encore qu'il n'y ait que fort peu des choses qu'il en dit, que je trouve entièrement véritable ; mais, à ce que j'en ay pu remarquer, il manque plus en ce où il suit les opinions desia reçues, qu'en ce où il s'en esloigne. Excepté toutefois en ce qu'il dit du flux et reflux, que je trouve qu'il tire un peu par les cheveux. Je l'avois aussy expliqué en mon Monde par le mouvement de la terre, mais en une façon toute différente de la sienne.

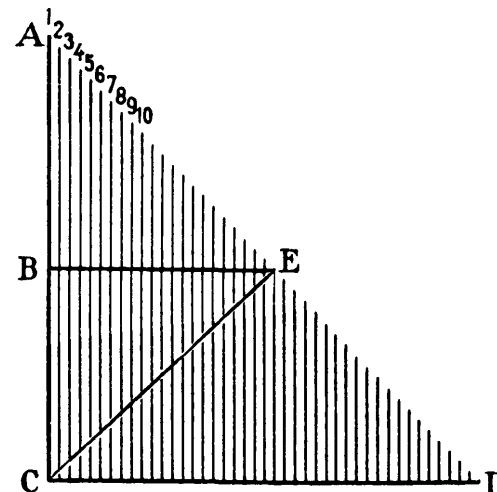
« Je veus pourtant bien avouer que j'ai rencontré en son livre quelques-unes de mes pensées, comme entre autres deus que je pense vous avoir autrefois écrites. La première est que les espaces par où passent les cors pesans quand ilz descendent, sont les uns aux autres comme les quarrés des tems qu'ilz employent à descendre, c'est-à-dire que si une bale employe trois momens à descendre depuis A jusques a B, elle n'en employera qu'un a le continuer de B jusques a C, etc., ce que je disois avec beaucoup de restrictions, car en effect il n'est jamais entièrement vray comme il pense le demonstrier. » La restriction de Descartes est curieuse ; elle se comprend, d'ailleurs, parfaitement bien dans sa physique : la solution de Galilée présuppose le vide, et l'attraction ; or, Descartes, désormais, n'admet ni l'une, ni l'autre. Mais ce n'est pas cela qui nous intéresse ici : c'est le fait que Descartes croit avoir

retrouvé chez Galilée sa propre solution du problème qui en est toute différente. Sur cette différence, voir l'article de P. Tannery que nous avons cité *supra*, p. 24, n. 2

2. Il est curieux de constater que P. Duhem les croit identiques (v. DUHEM, *op. cit.*, p. 569). D'ailleurs, pour comprendre le raisonnement de Descartes, Duhem se voit obligé de retourner le dessin qui l'accompagne (p. 566).



« Premièrement, écrit Descartes (1), je suppose que le mouvement qui est une fois imprimé en quelque cors y demeure perpétuellement, s'il n'en est osté par quelque autre cause, c'est-à-dire que ce qui, dans le vide, a une fois commencé à se mouvoir, se meut toujours et avec la même vitesse (2). Supposez donc un poids, existant en A, poussé par sa gravité vers C. Je dis que si, dès qu'il a commencé à se mouvoir, sa gravité l'abandonne, il ne persévérera pas moins dans le même mouvement jusqu'à ce qu'il ne parvienne en C. Mais



alors, il ne descendra ni plus ni moins rapidement de A en B que de B en C. Or, comme il n'en est pas ainsi, mais comme il garde sa gravité qui le pousse vers le bas et qui, à chaque moment, ajoute des forces nouvelles pour la descente, il en résulte qu'il franchit l'espace BC beaucoup plus rapidement que AB, car en le parcourant

1. *Lettre à Mersenne* du 13 nov. 1629, A. T., v. I, p. 71 ; éd. Adam-Milhaud, v. I, p. 85 sq.

2. Remarquons cette précision : Beeckman avait dit seulement : se meut éternellement de la même manière : Descartes précise : avec la même vitesse. Sans doute, Beeckman ne l'entendait pas autrement : pour lui, cela allait sans dire. Mais il fallait le dire, car un corps pouvait bien se mouvoir éternellement sans garder sa vitesse et même, se mouvoir « de la même manière », par exemple, en s'accéléralant, ou au contraire, en se ralentissant toujours. La loi de la conservation du mouvement implique sans doute la conservation de la vitesse mais il est nécessaire de l'expliciter. Il suffira à Descartes d'y ajouter celle de la direction pour formuler la loi d'inertie. Adjonction suffisante, mais aussi absolument indispensable. Aussi, contrairement à ce que pensent Duhem (*De l'accéléralation*, etc., p. 901) et M. de Waard (*Correspondance*, vol. II, pp. 236, 237), ni Descartes, ni Beeckman n'ont, dans aucun des textes que nous avons cités, formulé le principe d'inertie.

il retient tout l'*impetus* par lequel il était mu à travers l'espace AB et, en plus, il s'y ajoute un nouveau, à cause de la gravité qui, de nouveau, le pousse à chaque instant nouveau. Quant à la proportion dans laquelle cette vitesse augmente, elle se démontre par le triangle ABCDE ; la première ligne, en effet, dénote la force de vitesse imprimée dans le premier moment, la seconde, la force impressée au deuxième moment, la troisième, la force conférée au troisième moment et ainsi de suite. Ainsi se forme le triangle ACD qui représente l'accroissement de la vitesse du poids dans sa descente de A en C, et ABE qui représente l'accroissement de vitesse dans la première moitié de l'espace que parcourt ce poids ; et le trapèze BCDE qui représente l'augmentation de la vitesse dans la seconde moitié de l'espace que parcourt le poids, notamment BC. Et comme le trapèze BCDE est trois fois plus grand que le triangle ABE, ainsi qu'il est clair, il s'ensuit que le poids descendra trois fois plus vite de B en C que de A en B ; c'est-à-dire, s'il descend de A en B en trois moments, il descendra de B en C en un seul moment. C'est-à-dire que, en quatre moments, il parcourra deux fois plus de chemin qu'en trois et, par conséquent en 12 moments deux fois plus qu'en 9 et en 16 moments, quatre fois plus qu'en 9, et ainsi de suite (1). »

Nous venons de dire que la solution du problème de la chute que Descartes envoie à Mersenne est très différente de celles qu'il a conçues sous l'influence de Beeckman. En effet, la notion d'attraction, si heureusement utilisée par celui-ci, a disparu complètement ; Descartes, en fait, en revient à la conception de l'*impetus* et son interprétation de la chute ne diffère que très peu de celles qui furent données par Benedetti ou Scaliger (2) : la gravité, qualité essentielle du corps et qui engendre à chaque instant un *impetus* nouveau pousse ce corps vers le bas ; l'accélération (transposition en termes

1. Le mouvement de la chute, tel que se le représente Descartes, est plus rapide qu'il n'est en réalité. En effet, le chemin parcouru en 3 et 4 « moments » est comme 3^2 et 4^2 , c'est-à-dire, comme 9 et 16. Il n'est donc pas « deux fois » plus grand pendant le quatrième « moment ». Si Descartes s'était souvenu de ce calcul, cinq ans plus tard, lorsqu'il parcourait le *Dialogue*, il n'aurait pas pu croire à l'identité de sa solution avec celle de Galilée. En effet, tandis que chez Galilée, les chemins parcourus dans les temps successifs sont *sicut numeri impares ab unitate*, il ne le sont pas chez Descartes. Mais à l'époque où Descartes lisait Galilée, il avait perdu tout espoir de pouvoir donner une solution numérique exacte du problème de la chute réelle. Et le cas abstrait, étudié par Galilée (et, jadis par lui-même), de la chute dans le vide ne l'intéresse plus : la conception du vide est absurde et une physique des idées claires ne peut en faire nul emploi.

2. V. *supra*, p. 11 sq.

d'*impetus* de la conception formée en termes d'attraction) (1) provient du fait que ces *impetus* sont engendrés successivement à chaque instant nouveau ; en effet, chaque *impetus* produit un mouvement d'une vitesse constante ; c'est donc uniquement par la sommation d'*impetus* nouveaux que peut s'expliquer l'accélération. Le principe de Beeckman — conservation du mouvement — est, il est vrai, affirmé désormais sans restriction (et sans mention de Beeckman), mais, chose infiniment curieuse, est ramené à la conservation de l'*impetus*.

La déduction de la formule du mouvement de la chute, mouvement uniformément accéléré, diffère également des déductions précédentes. Sauf, ainsi que nous l'avons déjà dit, dans l'identité de la formule finale. De même qu'auparavant, Descartes glisse du temps à l'espace, du physique au géométrique.

En effet, tant qu'il pense au mécanisme réel — physique — de l'accélération, Descartes voit les *impetus* surgir et s'engendrer l'un après l'autre dans les moments successifs du temps. Dès que, par contre, il passe à l'étude mathématique du mouvement, il substitue immédiatement l'espace au temps, l'espace franchi au temps écoulé.

La figure qui lui sert de base pour sa déduction n'est, à vrai dire, pas très claire. Elle diffère des figures de jadis, sauf en un point : la ligne AC, celle qui va de haut en bas, représente la trajectoire de la chute. Comme jadis, la pensée de Descartes succombe à la tentation de l'imagination géométrique. Son raisonnement semble être le suivant : au premier instant de la chute, le premier *impetus* produit un mouvement qui — à lui seul — transporterait le corps vers C avec une vitesse donnée. Cet *impetus* agit sur toute l'étendue du parcours ; aussi est-il représenté par la ligne AC qui symbolise la trajectoire entière. Le second *impetus* produit un mouvement d'une vitesse (absolue) égale à celle qui fut produite par le premier. Mais il n'intervient pas dès le début du mouvement ; il happe le corps, pour ainsi dire, à quelque distance du point A ; le troisième n'intervient qu'encore plus loin (2) et ainsi de suite. Aussi l'ensemble

1. La gravité engendre successivement des forces instantanées, des *impetus* qui meuvent le corps et qui se conservent au cours de son mouvement. L'*impetus* ici — comme chez Cardan, et comme parfois chez Galilée lui-même — s'identifie, en fait, avec le mouvement et la vitesse. Héritage d'une conception ancienne à l'intérieur d'une physique nouvelle. Quant à l'abandon de la notion d'attraction, elle est bien caractéristique de la pensée cartésienne ; à cette notion obscure (action à distance) Descartes préfère visiblement celle de la gravité.

2. Ces distances sont, bien entendu, infiniment petites.

des *impetus* est-il représenté par l'ensemble des tronçons du trajet — chemin parcouru — le long desquels ils agissent.

Descartes a oublié, pour ainsi dire, que les *impetus* interviennent *successivement*, ou, si l'on préfère, cette succession, il la voit étalée en espace sur la trajectoire du parcours (1). N'ayant pu — même en 1629 — saisir pleinement la notion nouvelle du mouvement que le principe de sa conservation met en jeu, il en est toujours à dissocier la conception causale et l'analyse mathématique, l'évolution temporelle et la représentation géométrique de la chute.

Mersenne — ne lui en veuillons pas — n'avait pas très bien compris l'explication de Descartes. Celui-ci revient donc à la charge (2) : Dans votre dernière lettre, écrit-il à Mersenne, « vous me demandez pourquoi je dis que la vitesse est imprimée [au corps] par la gravité comme *un* dans le premier moment de la chute, et comme *deux* dans le second moment, etc. Je réponds, sans vous offenser, que je ne l'ai pas entendu ainsi ; mais que la vitesse s'imprime par la gravité comme *un* au premier moment, et derechef comme *un* dans le second moment par la même gravité, etc. Or, *un* au premier moment, et *un* au second, font *deux*, et *un* au troisième font *trois*, et ainsi [la vitesse] croît en proportion arithmétique. Or, j'estimais l'avoir suffisamment prouvé de ce que la gravité accompagne éternellement le corps dans lequel elle est ; et elle ne peut accompagner le corps si ce n'est en le poussant constamment vers le bas. Aussi, si nous supposons, par exemple, qu'une masse de plomb tombe vers le bas en vertu de la force de la gravité, et que dès le premier moment après le commencement de la chute, Dieu retire du plomb toute gravité, de telle façon que, après cela, la masse du plomb ne soit pas plus lourde que si elle était de l'air, ou des plumes, cette masse n'en continuerait pas moins à descendre, surtout dans le vide, comme elle a commencé de descendre ; et l'on ne peut donner aucune raison pourquoi sa vitesse diminuerait, et non pas augmenterait. Or, si après quelque temps, Dieu restituait à ce plomb sa gravité, et cela pour un seul instant, lequel étant écoulé, il la retirerait à nouveau, est-ce que dans ce second moment, la force de gravité ne pousserait pas le plomb autant qu'elle le fit au premier moment ? Ce qui peut être dit des autres moments. D'où il suit certainement que, si vous laissiez tomber une balle *in spatio plane*

1. Ce qui, en un certain sens est parfaitement juste : l'accélération se produit effectivement en chaque point de parcours.

2. *Lettre à Mersenne*, 18 déc. 1629. A. T., vol. I, p. 89 ; éd. Adam-Milhaud, v. I p. 97 sq., en latin dans le texte.

vacuo de 50 pieds de haut, de quelle matière qu'elle puisse être, elle emploiera toujours justement trois fois autant de temps aux 25 premiers pieds qu'aux 25 derniers. Mais dedans l'air, c'est tout autre chose... ». Cette nouvelle explication n'ajoute, à vrai dire, rien de nouveau à ce que Descartes disait à Mersenne dans sa lettre précédente. Notons, une fois de plus, combien la conception cartésienne s'est à nouveau rapprochée de celle des théoriciens de l'*impetus* : la gravité, cause adjointe au mobile qui le pousse vers le bas ! C'est du Benedetti tout pur (1). Notons en outre que, en marge, Descartes ajoute : « Il faut se souvenir que nous avons admis qu'un corps, une fois mû, se mouvra éternellement dans le vide, et je vais le démontrer dans mon traité » ; notons enfin, que, dans cette même lettre, en parlant de Beeckman, Descartes dit : « il admet, *comme moi* (souligné par nous) que ce qui, une fois, a commencé de se mouvoir continuera à se mouvoir par sa propre force (*sua sponte*), s'il n'est arrêté par quelque force extérieure, et donc, dans le vide, se mouvra éternellement... »

Dans les années qui vont suivre, Descartes aura bien des fois encore l'occasion de revenir sur le problème de la chute. Jamais plus, cependant, il n'essayera d'en donner la formule, jamais plus il ne tentera d'en établir la loi. C'est que, autour de 1630, la pensée de Descartes subit une évolution très profonde. Tellement profonde, et tellement radicale que l'on pourrait la nommer une révolution. La réflexion méthodique, la méditation sur la pensée humaine et ses rapports avec la réalité, préoccupations dont les *Regulae ad directionem ingenii* nous offrent l'expression magnifique, commencent à porter leurs fruits. Aussi, pour reconstruire la physique — et le monde physique — Descartes va-t-il désormais procéder « selon l'ordre des raisons » et non selon celui des matières.

Nous n'avons pas besoin d'insister sur l'importance décisive de cette révolution intellectuelle (2). Il nous suffira de noter que ce renversement des ordres permet à Descartes de saisir, et de nous présenter, avec une clarté insurpassable, le nouveau concept du

1. Cf. *A l'aube de la science classique*, p. 47 sq.

2. Voir les ouvrages bien connus de M. L. BRUNSCHVICG, *La Causalité physique et l'expérience humaine*, Paris, 1925 et *Le Progrès de la conscience dans la philosophie occidentale*, Paris, 1927.

mouvement, fondement de la science nouvelle ; d'en déterminer la structure et la nature ontologique ; d'exprimer, avec une netteté parfaite tout ce qui n'était qu'obscurément pressenti et implicitement contenu dans la pensée d'un Beeckman et d'un Galilée — tout ce que nous avons dû « expliciter » au cours de notre étude ; enfin, de formuler le principe d'inertie ; conquêtes qui mettent Descartes-savant au même rang que Descartes-philosophe ; c'est-à-dire, au premier.

Mais, chose curieuse, cette même révolution intellectuelle fait perdre à Descartes toutes les acquisitions concrètes de la « science nouvelle », de cette physico-mathématique qui s'élaborait sous ses yeux ; à la création de laquelle il avait lui-même si puissamment aidé.

Le fait est connu. La physique de Descartes, telle que nous la présentent les *Principes*, ne contient plus de lois mathématiquement exprimables (1). Elle est, en fait, aussi peu mathématique que celle d'Aristote. Et quant au problème de la chute des graves, les *Principes* le passent sous silence.

Est-ce un hasard ? Est-ce une nécessité ? La question nous paraît d'importance.

La décision de ne procéder que du clair au clair, en avançant dans l'ordre, et en commençant par le commencement, c'est-à-dire « par les idées les plus simples et les plus faciles » implique, on le sait bien, la mathématisation complète de la nature — ce qui, pratiquement, veut dire sa géométrisation (2) ; elle implique aussi la nécessité d'un développement systématique et d'une construction, ou reconstruction, à partir d'idées simples et claires, de toutes les notions impliquées, et employées, dans la physique ; elle implique, enfin, l'abandon définitif de toutes les idées « obscures » dont la physique — même la physique mathématique — fait un usage suffisamment abondant.

A ces nouvelles convictions de Descartes, les lettres à Mersenne donnent une expression d'une clarté parfaite. « Il est impossible de rien dire de bon et de solide touchant la vitesse, sans avoir expliqué au vrây ce que c'est que la pesanteur, et ensemble tout le système du monde », lui écrit-il le 12 septembre 1638 (3). Et dans sa fameuse critique de Galilée, où Descartes reconnaît — à contre-cœur —

1. Voir E. BRÉHIER, *Histoire de la philosophie*, t. II, Paris, 1928, p. 93 sq.

2. V. E. MEYERSON, *Identité et Réalité*, Paris, 1926, p. 282 sq. ; *La déduction relativiste*, Paris, 1925, pp. 135 sq.

3. *Lettre à Mersenne*, 12 sept. 1638, A. T. v. II, p. 355.

que Galilée « philosophe beaucoup mieux que le vulgaire (1) », ce que Descartes lui reproche avant tout, c'est d'avoir procédé « sans ordre » et de ne pas avoir poussé l'analyse des notions employées jusqu'au bout (2) ; donc de garder, et d'employer telles quelles, des notions — ainsi celles de la pesanteur, et du vide — qui crient, pour ainsi dire, leur provenance sensible, au lieu d'essayer de les reconstruire à partir des idées simples et claires, des idées purement intellectuelles de l'étendue et du mouvement.

Dès l'automne 1631, Descartes, en effet, écrivait à Mersenne : « Je ne me dédis point de ce que j'avois dit touchant la vitesse des poids qui descendroient dans le vuide : car supposant le vuide comme tout le monde l'imagine, le reste est démonstratif ; mais je croy qu'on ne scauroit supposer le vuide sans erreur. Je tâcheray d'expliquer *quid sit gravitas, levitas, durities*, etc., dans les deux chapitres que je vous ay promis de vous envoyer dans la fin de cette année ; c'est pourquoy je m'abstiens de vous en écrire maintenant (3). » Il faut expliquer *quid sit gravitas, levitas, durities*, etc. ; et il faut expliquer tout cela à partir de la notion du mouvement, la notion la plus simple que nous possédions (4).

1. *Lettre à Mersenne*, 11 oct. 1638, DESCARTES, *Œuvres*, éd. A. T., vol. II, p. 380 : « Je trouve, en général qu'il philosophe beaucoup mieux que le vulgaire, en ce qu'il quitte le plus qu'il peut les erreurs de l'Eschole, et tasche à examiner les matières physiques par des raisons mathématiques. En cela je m'accorde entièrement avec luy et je tiens qu'il n'y a pas d'autre moien pour trouver la vérité. Mais il me semble qu'il manque beaucoup en ce qu'il fait continuellement des digressions et ne s'arreste point à expliquer tout à fait une matière ; ce qui monstre qu'il ne les a point examinées par ordre, et que, sans avoir considéré les premières causes de la nature, il a seulement cherché les raisons de quelques effets particuliers, et ainsi qu'il a basti sans fondement ».

2. D'un certain point de vue, la critique que Descartes fait de la science galiléenne est juste, en principe, sinon en fait. Descartes, en effet, reproche à Galilée de faire une physique mathématique, *contraire au sens commun et à l'expérience journalière* (cf. *Le Monde*, A. T., vol. XI, p. 41) sans en avoir le droit ; c'est-à-dire, sans l'appuyer à une métaphysique. En principe, Descartes a raison. En fait, il a tort : Galilée est un platonicien.

3. *Lettre à Mersenne*, oct.-nov. 1631, A. T., vol. I, p. 228. En 1638 (*Lettre à Mersenne* du 11 oct. 1638 que nous venons de citer), Descartes écrira (A. T., vol. II, p. 386) : « Il suppose que la vitesse des poids qui descendent, s'augmente toujours esgalement, ce que j'ay autrefois creu comme luy ; mais ie croy maintenant scavoir par demonstration qu'il n'est pas vray, » — puisque justement la déduction galiléenne se fonde sur la notion du vide et néglige — ce qui est impossible — la résistance et la force motrice qui détermine l'accélération. Enfin en 1640, Descartes écrira : (*Lettre à Mersenne*, 30 août 1640, A. T., vol. III, p. 164 sq.) : « Je vous ay desia écrit plusieurs fois que ie ne croy point que la vitesse des corps qui descendent s'augmente toujours *in ratione duplicatâ temporum*, mais qu'elle peut bien s'augmenter à peu près en cette sorte, au commencement qu'ils descendent, bien que cela ne puisse continuer ; et mesme que, lorsqu'ils sont parvenus à certaine vitesse, ils ne la peuvent plus augmenter ; et cecy est confirmé par ce que vous écrivez des gouttes de pluye, etc. » — Remarquons en passant que, depuis qu'il la croit fausse, Descartes ne revendique plus la paternité de la loi.

4. Cf. *Regulae ad directionem ingenii*, XII ; *Œuvres*, éd. A. T., v. X, pp. 419, 420.

Assertion paradoxale : le problème du mouvement n'a-t-il pas été le problème de la philosophie depuis — au moins — Aristote ? Les gros *De Motu* ne remplissent-ils pas les bibliothèques philosophiques ? Descartes a bien conscience du caractère surprenant de son assertion. Aussi, nous dit-il, qu'il ne s'agit pas du tout du mouvement des philosophes. Il s'agit de tout autre chose. « Les philosophes supposent » en effet « plusieurs mouvemens qu'ils pensent pouvoir estre faits sans qu'aucun corps change de place... Et moy, je n'en connois aucun, que celui qui est plus aisé à concevoir que les lignes des Geometres : qui fait que les corps passent d'un lieu en un autre et occupent successivement tous les espaces qui sont entre-deux (1). »

Les philosophes se sont rendus coupables de plus d'un méfait encore. Ainsi « ils attribuent au moindre de ces mouvemens un estre beaucoup plus solide et plus véritable qu'ils ne font au repos, lequel ils disent n'en estre que la privation. Et moy je conçois que le repos est aussi bien une qualité, qui doit estre attribuée à la matière, pendant qu'elle demeure en une place, comme le mouvement en est une qui luy est attribuée, pendant qu'elle en change (2) ».

D'où il suit d'une manière évidente que le mouvement *n'est pas un processus*, mais *un status*, et c'est en tant que tel qu'il suit, dans le nouveau « Monde » construit par la pensée de Descartes, les lois qui, dans l'« ancien », s'appliquaient aux *états*. Aussi, la première des « règles » selon lesquelles Dieu fait agir la matière est-elle : « Que chaque partie de la matière, en particulier, continue toujours d'estre en un mesme *estat* (3), pendant que la rencontre des autres ne la contraint point de le changer. C'est-à-dire que... 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 » (4).

Cette loi de conservation n'est pas inconnue des philosophes. Au contraire, ils l'admettent pour beaucoup de choses, entre autres, pour le repos, mais « ils en ont excepté le Mouvement, qui est pourtant la chose que je désire le plus expressément y comprendre. Et ne pensez pas pour cela », ajoute Descartes, « que j'aye dessein de les contre-

1. *Le Monde*, A. T., vol. XI, p. 39.

2. *Ibid.*, p. 49.

3. Souligné par nous.

4. *Le Monde*, A. T., XI, p. 38.

dire : le mouvement dont ils parlent, est si fort différent de celui que j'y conçois, qu'il se peut aisément faire, que ce qui est vray de l'un ne le soit pas de l'autre (1). »

Descartes, nous le savons bien, a raison : son mouvement-état, le mouvement de la physique classique, n'a plus rien de commun avec le mouvement-processus de la physique d'Aristote et de la Scolastique. Et c'est là la raison pour laquelle ils obéissent dans leur être à des lois parfaitement différentes : tandis que dans le Cosmos bien ordonné d'Aristote le mouvement-processus a, *d'une manière évidente*, besoin d'une cause qui l'entretienne, dans le Monde-étendue de Descartes, le mouvement-état se maintient, *évidemment*, de lui-même, et se poursuit indéfiniment en ligne droite dans l'infini de l'espace pleinement géométrisé que la philosophie cartésienne a ouvert devant lui.

Encore une fois, nous n'avons pas besoin d'insister sur l'importance et le caractère décisif de l'œuvre cartésienne qui, avec une sûreté incomparable, achève la démolition du Cosmos et trace les cadres de l'ontologie nouvelle. Mais voyons maintenant le revers de la médaille.

Le mouvement cartésien, ce mouvement qui est la chose la plus claire et la plus aisée à connaître, n'est pas, Descartes nous l'a dit, le mouvement des philosophes. Mais ce n'est pas, non plus, le mouvement des physiciens. Ni même des corps physiques. C'est le mouvement des géomètres. Et des êtres géométriques : le mouvement du point qui trace une ligne droite, le mouvement d'une droite qui décrit un cercle... Mais ces mouvements-là, à l'encontre des mouvements physiques, n'ont pas de vitesse, et ne se font pas dans le temps. La géométrisation à outrance — ce péché originel de la pensée cartésienne — aboutit à l'intemporel : elle garde l'espace, elle élimine le temps (2). Elle dissout l'être réel dans le géométrique. Mais le réel se venge.

La loi de la chute des corps, telle que l'avaient jadis formulée Descartes (nous laissons de côté le fait qu'il s'était trompé en la formulant) et Beeckman, telle que, entre temps, l'avait formulée Galilée, était sans nulle doute une loi « abstraite » ; une loi qui ne pouvait pas se réaliser telle quelle dans l'expérience journalière

1. *Ibid.*

2. Il est à noter que pour Descartes et les cartésiens, l'étendue est substance ou attribut essentiel, tandis que la durée se confond avec l'être et le temps n'est qu'un mode. Et même un mode subjectif.

de l'homme. En effet, elle supposait l'existence du vide ; et, à parler strictement, n'était valable que dans le vide puisqu'elle faisait abstraction de la résistance de l'air. Elle supposait, en outre, ainsi que l'avait expressément formulé Descartes, que l'action de la pesanteur était toujours égale à elle-même. Suppositions que l'on ne pouvait admettre que tant que l'on ne savait pas la nature véritable de la pesanteur. Or, Descartes la connaît désormais : la pesanteur n'est nullement une qualité simple et dernière du corps ; ni, non plus, l'expression de l'attraction du corps lourd par la terre. Elle résulte d'une poussée, du fait que le corps est poussé vers la terre par une nuée de particules, par la matière subtile qui tourne en tourbillon autour du globe terrestre (1). On voit donc combien admettre le vide est contraire au bon sens : non seulement le vide est, en soi, impossible ; non seulement l'acceptation de son existence nous forcerait à admettre la notion obscure et magique d'une action à distance (attraction), mais encore, d'une façon plus concrète, l'assomption du vide ne faciliterait aucunement la chute des graves : au contraire, elle la rendrait impossible : « Il est certain, écrit Descartes, que si la matière subtile qui tourne autour de la terre n'y tournoit pas, aucun cors ne serait pesant ... (2) »

Or, dans ce que Descartes avait jadis « mandé » à Mersenne touchant la chute des graves, il ne « supposait pas seulement le vuide ; mais aussi que la force qui faisoit mouvoir cette pierre, agissoit toujours également, ce qui répugne apertement aux lois de la Nature : car toutes les puissances naturelles agissent plus ou moins, selon que le sujet est plus ou moins disposé à recevoir leur action ; et il est certain qu'une pierre n'est pas également disposée à recevoir un nouveau mouvement, ou une augmentation de vitesse, lorsqu'elle se meut desia fort vite, et lorsqu'elle se meut fort lentement (3) ». Il s'ensuit que l'accélération n'est pas uniforme ; la base même du raisonnement s'écroule donc.

1. *Lettre à Mersenne*, 16 octobre 1639, A. T., vol. II, p. 593 sq. « Pour entendre comment la matière subtile qui tourne autour de la terre chasse les cors pesans vers le centre, remplissez quelque vaisseau rond de menues dragées de plomb, et meslez parmi ce plomb quelques piéces de bois, ou autre matière plus legere que ce plomb, qui soient plus grosses que ces dragées, puis, faisant tourner ce vaisseau fort promptement, vous esprouverez que ces petites dragées chasseront toutes ces piéces de bois, ou autre telle matière, vers le centre du vaisseau, ainsy que la matière subtile chasse les cors terrestres, etc. » Sur la théorie cartésienne de la gravitation, cf. l'excellent ouvrage de M. P. MOUTY, *Le développement de la physique cartésienne*, Paris, 1934.

2. *Lettre à Mersenne*, 25 décembre 1639, A. T., vol. II, p. 635.

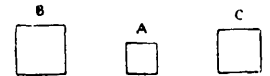
3. *Lettre à Mersenne*, oct.-nov. 1631, A. T., v. I, p. 230 ; A. M., v. I, p. 211.

On pourrait s'étonner que Descartes semble ainsi méconnaître sa propre loi de la relativité du mouvement qu'il affirmera cependant *expressis verbis* (1). On pourrait s'étonner aussi qu'il parle de puissances naturelles... puisque de « puissances naturelles », dans le Monde de Descartes, ce Monde de la Géométrie réifiée, il n'y en a qu'une seule : le *Mouvement*. Mais pour cette puissance-là, la proposition de Descartes est pleinement valable. En effet, dans le Monde de Descartes, il n'y a qu'un seul mode de communication entre les substances : le contact. Et un seul mode d'action : le choc. Or, il est évident que la force du choc qu'éprouve un corps de la part d'un autre qui se meut avec une vitesse donnée dépend de son propre état de mouvement. Aussi, les chocs successifs qu'éprouve un corps qui tombe, seront de plus en plus faibles et sa vitesse, au lieu de croître indéfiniment, se rapprochera d'une limite : de la vitesse de la matière subtile elle-même. Voici, en effet, comment s'explique l'accélération du grave en chute libre : « La matière subtile pousse au premier moment le cors qui descend, et luy donne un degré de vitesse ; ...ce qui se fait *ferè rationem duplicatam*, au commencement que les cors descendent. Mais cette proportion se perd entierement, lors qu'ils ont descendu plusieurs toises, et la vitesse ne s'augmente plus, ou presque plus (2). »

Or, puisque le mécanisme de la chute se décompose en celui du choc, il est évident que la nature, c'est-à-dire, la constitution physique du grave, doit y jouer un rôle déterminant. En effet, de même que les corps sont plus ou moins perméables à la lumière, de même ils opposent une plus ou moins grande résistance au passage des particules de la matière subtile ; ce qui veut dire qu'ils subissent leurs chocs plus ou moins. Il s'ensuit qu'ils tombent avec une vitesse inégale. Et Descartes, effectivement, écrit à Mersenne : « Pour ce

1. Voir plus bas, III pp. 117. En fait, Descartes ne méconnaît nullement la notion de la relativité ; au contraire, il l'applique.

2. *Lettre à Mersenne* du 11 mars 1640, A. T., v. III, p. 37 sq. Cf. *Lettre à Mersenne*, 11 juin 1640, A. T., vol. III, p. 79. « La raison qui me fait dire que les cors qui descendent sont moins poussez par la matière subtile à la fin de leur mouvement qu'au commencement, n'est autre sinon qu'il y a moins d'inégalité entre leur vitesse et celle de cette matière subtile. Car, par exemple, si le cors A, estant sans mouvement, est rencontré par le cors B qui tend à se mouvoir vers C, de telle vitesse qu'il puisse faire une lieue en un quart d'heure, il sera davantage poussé par ce cors B, qu'il ne seroit, s'il se mouvoit desia de soy mesme vers C, de telle vitesse qu'il pust faire une lieue en demie heure, et il n'en sera point poussé du tout, s'il se meut desia aussy viste que luy, c'est à dire en sorte qu'il puisse faire une lieue en un quart. »



que vous me mandez du calcul que fait Galilée, de la vitesse que se meuvent les cors qui descendent, il ne se rapporte aucunement à ma Philosophie, selon laquelle deux globes de plomb, par exemple, l'un d'une livre et l'autre de cent livres, n'auront pas mesme raison entr'eux, que deux de bois, l'un aussi d'une livre, et l'autre de cent livres, ny mesme que deux aussi de plomb, l'un de deux livres et l'autre de deux cens livres, qui sont des choses qu'il ne distingue point, ce qui me fait croire qu'il ne peut avoir atteint la vérité (1). »

Sans doute. Mais quelle est cette vérité ? Comment les corps tombent-ils *in rerum natura* ?

Descartes, tout d'abord, espère pouvoir « maintenant déterminer à quelle proportion s'augmente la vitesse d'une pierre qui descend, non point *in vacuo*, mais *in hoc vero aer*. » (2). Mais les années passent, et Descartes voit que c'est bien plus difficile qu'il ne l'avait cru. Il sait, sans doute, que Galilée a tort de croire que tous les corps tombent avec la même vitesse. Et qu'il a tort aussi de croire à l'indépendance des mouvements l'un par rapport à l'autre. Cela va bien ainsi dans l'abstrait. Mais dans la réalité... « Pour ce qu'il dit d'un canon tiré parallèlement à l'horizon, je croy que vous y trouverez quelque difference assés sensible, si vous en faites exactement l'expérience (3). » Et c'est Descartes qui a raison : la résistance de l'air *supporte* le corps qui se meut à travers lui. Mais la détermination positive ? Descartes n'arrive pas à la donner et, mélancoliquement, il écrit à Mersenne : « Je vous prie de m'excuser si ie ne répons point à vostre question touchant le retardement que reçoit le mouvement des cors pesans par l'air où ils se meuvent ; car c'est une chose qui depend de tant d'autres, que ie n'en sçauois faire un bon conte dans une lettre ; et ie puis seulement dire que ny Galilée, ny aucun autre ne peut rien determiner touchant cela qui soit clair et demonstratif, s'il ne sçait premierement ce que c'est que la pesanteur, et qu'il n'ait les vrais principes de la physique (4). » Assurément.

1. *Lettre à Mersenne*, nov.-déc. 1632, A. T., vol. I, p. 260, éd. Adam-Milhaud, v. I, p. 234.

2. *Ibid.*, éd. A. T., v. I, p. 231, éd. Adam-Milhaud, vol. I, p. 211.

3. Galilée, on le sait, avait affirmé qu'un boulet lancé horizontalement du haut d'une tour touchera la terre au même instant qu'un autre qu'on en laisserait tomber verticalement. V. *Dialogo, Opere*, v. VII, p. 181 et plus bas, III, p. 3. *Lettre à Mersenne*, 19 août 1634, A. T., v. I, p. 305, éd. Adam-Milhaud, v. I, p. 265. Cf. p. 287.

4. *Lettre à Mersenne*, 22 juin 1637 ? A. T., v. I, p. 392, A. M., v. I, p. 364. Cf. *Lettre à Mersenne*, 12 sept. 1638, A. T., v. II, p. 355. « Car il est impossible de rien dire de bon et de solid : touchant la vitesse, sans avoir expliqué au vray ce que c'est que la pesanteur et ensemble tout le système du monde. Or a cause que ie ne le voulois pas entreprendre, j'ay trouvé moyen d'omettre cete consideration et d'en separer tellement les autres que ie les

Mais Descartes les possède, ces « vrais principes de la physique » et il sait aussi ce qu'est la pesanteur. Pourquoi, alors, nous refuse-t-il la réponse ? Parce que c'est trop compliqué. Parce que dans une physique telle que la sienne, une physique du plein et du continu, tout dépend de tout, tout agit *instantanément* sur tout. On ne peut isoler aucun phénomène, et on ne peut par conséquent formuler de lois simples de forme mathématique (1).

On ne peut pas isoler les phénomènes. On ne peut donc pas faire de physique « abstraite », comme celle de Galilée. L'abstraction qui néglige les complications du cas concret, réel, est tout à fait légitime dans le monde de Galilée : un monde archimédien. Elle lui permet de dégager le cas simple, le cas idéal, à partir duquel il va expliquer le cas concret et complexe. Mais Descartes ne peut faire qu'une physique concrète. L'abstraction galiléenne ne le mènerait pas au cas simple : elle le mènerait au cas *impensable*. Pour faire quelque chose d'analogue à ce que fait Galilée, il eût fallu qu'il étudiât non le cas simple, mais le cas général (2). Et cela, l'étude du mouvement d'un corps à l'intérieur d'un liquide parfait, dépasse infiniment ses moyens mathématiques. Descartes l'exprime en disant qu'il dépasse les bornes de la connaissance humaine. L'étude expérimentale est impossible également. Comment mesurer, en effet, la donnée principale du problème, la vitesse du mouvement de la matière subtile ?

Ainsi, chose infiniment curieuse, Descartes qui n'avait pas réussi à déduire la loi exacte de la chute parce qu'il n'avait pas saisi la conception nouvelle du mouvement que lui proposait Beeckman, et n'avait pas su faire coïncider l'étude physique (causale) du phénomène de la chute avec son analyse mathématique, renonce au moment même où, ayant pleinement élucidé l'idée du mouvement, il arrive à formuler le principe fondamental de la science moderne, le principe d'inertie ! C'est que, là encore, il n'a pas su garder l'équilibre : identifiant l'étendue et la matière, il a, à la physique, substitué la géométrie. Une fois de plus, géométrisation à outrance. Élimination du temps. Et c'est là la raison pour laquelle la physique des

peusse expliquer sans elle. Car encore qu'il n'y ait aucun mouvement qui n'ait quelque vitesse, toutefois il n'y a que les augmentations ou diminutions de cette vitesse qui sont considérables, et lorsque, parlant du mouvement d'un cors, on suppose qu'il se fait selon la vitesse qui luy est la plus naturelle, c'est le mesme que si on ne la consideroit point du tout. »

1. Cf. E. BRÉHIER, *Histoire de la philosophie*, Paris, 1928, t. II, p. 97 sq.

2. Cf. G. BACHELARD, *La Valeur inductive de la relativité*, Paris, 1929.

idées claires, la physique qui fut une revanche de Platon, s'achève sur un échec. Un échec analogue à celui de Platon (1).

3. Encore Galilée

Et maintenant, revenons vers Galilée.

Dans le fragment inséré dans le deuxième volume de ses *Œuvres* (2), fragment provenant de la première rédaction de sa « science nouvelle », et textuellement reproduit, d'ailleurs, dans les *Discours et Démonstrations*, Galilée écrit : « Les accidents qui appartiennent au mouvement uniforme, ont été examinés dans le livre précédent. Il faut maintenant traiter du mouvement accéléré.

« Et d'abord, il convient d'étudier et d'expliquer congrûment la définition de celui [des mouvements accélérés] dont se sert la nature. Car, bien qu'il soit licite d'inventer arbitrairement quelque mode de mouvement et d'envisager les propriétés qui en découlent (ainsi, par exemple, ceux qui ont imaginé des lignes, conchoïdes ou spirales, construites à l'aide de certains mouvements — bien que de tels mouvements ne soient pas mis en œuvre par la nature — en ont, avec beaucoup de mérite, étudié les propriétés), la nature, cependant, dans ses mouvements, notamment dans ceux des graves descendants, emploie un certain mode déterminé d'accélération. Or, de ce mode-là, nous pourrions étudier les propriétés, s'il arrive que la définition que nous allons poser de notre mouvement accéléré, coïncide avec l'essence du mouvement naturellement accéléré. Ce que, après de longs efforts de l'esprit, nous avons confiance d'avoir atteint. Guidé principalement par ce principe que ce qui est représenté aux sens dans les expériences naturelles, doit correspondre aux symptômes que nous allons en déduire et s'accorder avec eux. Enfin, dans l'investigation de la définition du mouvement naturellement accéléré, nous fûmes, comme par la main, guidés par l'appréhension du caractère et des usages de la nature dans toutes ses autres œuvres, dans lesquelles elle a l'habitude d'employer les moyens les plus proches, les plus simples et les plus faciles.

« Or, j'estime que personne ne pensera que la natation ou le

1. C'est la conscience de cet échec qui donne à la physique cartésienne l'aspect pragmatiste qu'elle prend dans les *Principes*.

2. Galileo GALILEI, *Opere*, vol. II, p. 261 sq. cf. *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*, *Opere*, vol. VIII, p. 197

vol puissent être réalisés d'une manière plus simple et plus facile que de celle même dont usent les poissons et les oiseaux par une institution naturelle.

« Puis donc que je vois que la pierre qui descend de la hauteur à partir du repos acquiert constamment de nouveaux accroissements de vitesse, pourquoi ne croirais-je pas que ces additions se font de la manière la plus simple et la plus obvie de toutes ? Le mobile est le même, le même aussi le principe du mouvement. Pourquoi le reste ne le serait-il pas également ? Tu diras : la vitesse est donc la même [uniforme]. Nullement. Il est en effet constant que la vitesse n'est pas la même, et que le mouvement n'est pas uniforme. Il faut donc rechercher et poser l'identité, ou si l'on préfère, l'uniformité et la simplicité non dans la vitesse, mais dans l'accroissement de la vitesse, c'est-à-dire, dans l'accélération. Que si nous l'examinons attentivement, nous ne trouverons aucun accroissement plus simple que celui qui surajoute toujours de la même manière. Or, quelle est cette manière, nous le comprendrons facilement pourvu que nous fixions notre attention sur l'affinité *suprême* [qui existe] entre le mouvement et le temps (1). De même, en effet, que l'uniformité et l'égalité du mouvement se définissent et se conçoivent par l'égalité des temps et des espaces (nous appelons, en effet, uniforme une translation où des espaces égaux sont parcourus dans des temps égaux), de même, pouvons-nous concevoir des *égalités d'accroissement de vitesse s'effectuant pendant ces mêmes parties du temps* (2), en comprenant par l'esprit que le mouvement uniformément et, par conséquent, continuellement accéléré est celui où, *dans des temps égaux* (3) — quelconques — se surajoutent des accroissements égaux de vitesse. C'est-à-dire que, quelles que soient les parties égales du temps que nous admettions, à partir du premier instant dans lequel le mobile abandonne le repos et commence à descendre, le degré de vitesse, acquis dans la première et la deuxième partie du temps pris ensemble, est double du degré de vitesse acquis dans la première partie seule ; et le degré de vitesse que le mobile acquerra en trois parties du temps, triple ; en quatre, quadruple du degré de vitesse [acquis dans] le premier temps. De telle façon que, si le mobile continuait son mouvement avec le degré de vitesse, ou moment, acquis dans la première partie

1. Souligné par nous.

2. Souligné par nous.

3. Souligné par nous.

du temps, et le continuait en le prolongeant avec une vitesse uniforme, cette translation eût été deux fois plus lente que celle qu'il effectuerait avec le degré de vitesse acquis pendant le second temps.

« D'où il apert que nous ne nous écartons nullement de la droite raison, si nous admettons que l'intension de la vitesse (1) augmente avec l'extension du temps (2). »

La définition galiléenne du mouvement uniformément accéléré postule, expressis verbis, un accroissement *continu* de sa vitesse et, en particulier, son accroissement *continu* à partir du repos (3) ; en termes galiléens, elle implique que le corps « passe par tous les degrés de vitesse et de tardiveté », c'est-à-dire qu'au début de sa course il se meut avec une lenteur infinie. Cette conception que Galilée avait admise dès Pise, paraissait à bon droit étrange et invraisemblable aux meilleurs esprits de ce temps (4). Comment admettre, en effet, un mouvement se faisant avec une lenteur infinie ? Comment concevoir un passage *continu* du repos au mouvement, c'est-à-dire du néant à quelque chose ? Ne faut-il pas, au contraire, admettre, dans la réalité physique, un minimum de mouvement,

1. L'intention de la vitesse ou le degré de vitesse est la vitesse instantanée du mobile. Descartes l'appellera « moment » ou point de vitesse.

2. Ce fragment admirable, publié par Alberi parmi les œuvres de l'époque pisane, comme appartenant à la toute première jeunesse de Galilée, est reculé par Favaro jusqu'à celle de Padoue. Favaro lui assigne la date de 1604. Nous ne pouvons accepter cette date. En effet : 1) La lettre à Paolo Sarpi est du 16 octobre 1604 ; or, Galilée nous dit que la découverte de la définition correcte du mouvement accéléré lui a causé « de longs efforts de l'esprit », ce qui est confirmé par le nombre de fragments, publiés par Favaro en appendice des *Discorsi* (*Opere*, vol. VIII, p. 370 sq.) qui donnent la fausse déduction de la loi, fondée sur la définition incorrecte : tout cela ne se comprendrait pas si, dès 1604, Galilée était en possession de la bonne ; 2) L'usage que fait Galilée des méthodes du calcul des invisibles, nous obligerait d'admettre qu'il l'avait élaboré vingt ans avant Cavallieri. — Il faut donc, nous semble-t-il sans revenir à l'hypothèse de Caverni (*Storia del metodo sperimentale in Italia*, Vol. IV, p. 307 sq., Bologna, 1895), qui rejette la découverte aux années 1622-23, admettre celle de Wohlwill qui la place en 1609 et donc reporter ce fragment à une date postérieure à celle que lui assigne Favaro.

3. Ce n'était pas inutile : la preuve, c'est que Descartes lui-même, qui n'admettait que des actions instantanées, en doutait. V. *Lettre à Mersenne*, du 11 octobre 1638. A. T., vol. I, p. 399 et plus bas pp. 62 sq.

4. Cf. MERSENNE, *Harmonie universelle*, t. I, Paris, 1636, p. 74 : « L'esprit humain n'est pas capable de comprendre comme il est possible qu'un mouvement continu soit plus tardif qu'un autre ce qui a contraint le philosophe espagnol Arriaga et plusieurs autres de dire que la tardiveté du mouvement n'est autre chose qu'une interruption de plusieurs repos ; quoique les sens ne puissent les apercevoir et qu'ils sont d'autant plus longs et en plus grande multitude que le mouvement est plus lent... Ce qu'il suppose aussi dans le mouvement naturel des pierres et des corps pesants qui tombent vers le centre de la terre... ». Cf. *Correspondance du P. Marin Mersenne*, v. II, p. 291 sq.

corrélatif à un minimum d'action (1) ? Cavallieri lui-même hésite et demande des explications (2).

La question de Cavalieri n'avait pas pris Galilée au dépourvu. Dès le fragment que nous avons cité plus haut, il s'était fait lui-même l'objection (3) : « Si, dès le premier instant du mouvement à partir du repos, il se fait une adjonction perpétuelle de vitesse nouvelle, et si elle se fait selon la même raison et la même loi selon lesquelles l'écoulement du temps, à partir du premier instant, reçoit perpétuellement de nouvelles adjonctions, il y aura lieu de penser que, de même qu'après le premier instant on ne peut assigner de temps tellement bref que d'autres et encore d'autres, toujours plus brefs, ne s'interposent entre lui et le premier instant, de même, après l'abandon du repos, ne pourra-t-on pas assigner un degré de vitesse tellement petit, ou de tardiveté tellement grand, que le mobile descendant n'ait pas possédé, avant lui, un autre, encore plus lent ; et comme la lenteur peut s'accroître, ou la vitesse diminuer à l'infini, il faudra admettre que le mobile, à un certain moment, aura possédé un moment de tardiveté tellement immense que, se mouvant avec celui-ci des années entières « il ne passerait pas l'espace d'un doigt ». Ce qui, certes, paraît étonnant, et même absurde ; cependant « bien qu'étonnant à première vue cela n'est nullement faux ; l'expérience, à peine inférieure à la démonstration, peut le montrer à quiconque ».

L'expérience (4) — a-t-on besoin de dire qu'il s'agit, comme presque toujours chez Galilée, d'une expérience de pensée ? — consiste à se représenter un pieu fiché en terre, et sur lequel on laisse tomber un poids ; on remarque que le mouvement descendant du pieu est fonction de la vitesse avec laquelle le heurte le poids ; et, du fait que le poids tombant d'une très petite hauteur ne produit pas, ou presque pas, d'effet, on conclut à la lenteur presque infinie de son mouvement.

Cet argument expérimental plaît beaucoup à Galilée, qui le reprendra dans les *Discours* sous une forme à peine différente — nous le citerons d'ailleurs *in extenso* —, mais il se rend bien compte qu'il ne vaut pas une démonstration. Aussi renforce-t-il son « expé-

1. Telle fut, entre autres, l'opinion de Beeckman, cf. *Correspondance du P. Marin Mersenne*, v. II, pp. 260, 400. Cette conception n'est nullement absurde : c'est celle de la théorie des *quanta*.

2. *Lettre à Galilée* du 21 mars 1626 (*Opere*, vol. XIII, p. 312).

3. *Opere*, vol. II, p. 262.

4. Cf. *Opere*, v. II, p. 263.

rience » par les considérations suivantes (1) : « il faut ne pas perdre de vue que les mêmes degrés de vitesse peuvent être acquis dans des temps plus ou moins grands, et cela pour des causes diverses, dont l'une — et qui nous regarde particulièrement — est la longueur de l'espace sur lequel se fait le mouvement. En effet, les graves ne tendent pas seulement, par la perpendiculaire, vers le centre de toutes les choses graves, mais encore (se meuvent) sur les plans inclinés vers l'horizon, et ceci d'autant plus lentement que cette inclinaison est moindre ; le plus lentement, donc, sur ceux dont l'élévation sur l'horizon est minime ; et l'infinie lenteur, c'est-à-dire le repos (2), se trouve sur le plan horizontal lui-même. Or, la différence dans les degrés de vitesse qui s'acquiert ainsi est si grande, que le degré acquis par le grave, tombant perpendiculairement en une minute, ne peut s'acquérir sur le plan incliné qu'au bout d'une heure, d'un jour, d'un mois, d'une année entière, et ceci bien que le grave descende avec une accélération continue. » La non-répugnance et même la très grande probabilité de ces « accidents » peut être expliquée « par un exemple géométrique qui, symbolisant les vitesses par des lignes, et l'écoulement continu du temps par le mouvement uniforme d'une autre ligne, nous montre que les degrés de vitesses sont effectivement en nombre infini ».

Curieux raisonnement qui, visiblement, présuppose ce que, justement, il s'agit de démontrer, et qui, en outre, admet comme allant de soi que les corps tombant d'une hauteur déterminée acquièrent toujours le même degré de vitesse, quelle que soit la voie — perpendiculaire ou plan incliné — qu'ils aient suivie (3) :

Le *Dialogue*, ouvrage qui n'est qu'à moitié scientifique (4), glisse habilement sur le problème de la continuité. Mais les *Discours* reviennent à la charge ; tout au début du livre II de la *troisième journée*, livre contenant une étude du mouvement accéléré, Galilée s'adresse par son ami Sagredo l'objection suivante :

Sagredo. — « Quant à moi, bien que je ne puisse m'opposer par la raison à cette définition, — ni à toute autre qui soit proposée par

1. *Ibid.*, p. 264.

2. L'assimilation du repos à la « lenteur infinie » semble rétablir la continuité entre « repos » et « mouvement ». Mais en fait, ce n'est qu'un trompe-l'œil : de l'infini au fini le passage n'est pas plus facile que celui entre le néant et le quelque chose.

3. Que la vitesse du corps descendant ne dépend que de la hauteur de la chute, est admis par Galilée comme un « postulat » ou axiome. Cf. *plus bas*, III, p. 89.

4. Sur la structure littéraire et spirituelle du *Dialogo* et des *Discorsi*, et le rôle attribué aux interlocuteurs, voir plus bas, III, pp. 52 sq.

un auteur quelconque, puisque toutes elles sont arbitraires, — j'estime que l'on peut bien, sans offense, douter si telle définition, conçue et admise *in abstracto*, s'adapte, convient et se vérifie dans cette sorte du mouvement naturel qu'effectuent les graves qui descendent. Et puisqu'il semble que l'on affirme que le mouvement naturel des graves est tel qu'on l'a défini, j'aimerais bien qu'on me relève de certains scrupules qui me troublent l'esprit, afin que je puisse, après cela, m'appliquer avec une attention accrue aux propositions et à leurs démonstrations (1). »

On le voit bien : ce qui, ici, est en jeu, c'est le droit du mathématisme en physique. Sagredo sait bien qu'en pure géométrie, ou en pure cinématique, on a le droit de parler d'une série infinie de grandeurs — de fractions — intercalées entre zéro et quelque chose ; et même que l'on n'a pas le droit de faire autrement. Mais de quel droit transpose-t-on ces considérations abstraites du domaine du mathématique à celui du réel ? Aussi poursuit-il (2) : « J'imagine un mobile grave descendant du repos, c'est-à-dire, de la privation de toute vitesse ; j'imagine qu'il entre dans le mouvement et, en celui-ci, va en s'accélégrant dans la proportion dont croît le temps à partir du premier instant du mouvement ; par exemple, en huit battements de pouls, il aura acquis huit degrés de vitesse, dont quatre seulement en quatre pulsations, deux en deux, une en une ; or, comme le temps est subdivisible à l'infini, il s'ensuit que, diminuant, toujours dans le même rapport, la vitesse précédente, il n'y aura aucun degré de vitesse, si petit qu'il soit, ou, à mieux dire, aucune lenteur, si grande soit-elle, qui ne se soit trouvée dans le mobile depuis qu'il soit parti de la lenteur infinie, c'est-à-dire du repos. Par conséquent, si le degré de vitesse que le mobile possède après la quatrième pulsation est tel que, cette vitesse restant uniforme, elle lui ferait parcourir deux milles en une heure, et si, avec le degré de vitesse qu'il possède au bout de la deuxième pulsation, il aurait parcouru une mille en une heure, il s'ensuit que, à des instants de plus en plus voisins du premier instant de son mouvement à partir du repos, le mobile allait si lentement que, s'il avait continué à se mouvoir avec la même lenteur, il n'aurait parcouru un mille ni en une heure, ni en un jour, ni en une année, ni en mille et ne franchirait même pas la largeur d'une main dans un temps encore plus grand. Ce à quoi il semble que *notre ima-*

1. *Discorsi e dimostrazioni...* giornata III, l. II (*Opere*, vol. VIII, p. 198).

2. *Ibid.*, p. 195.

gination s'accommode assez malaisément (1), d'autant plus que le sens nous montre qu'un grave qui tombe atteint tout de suite une grande vitesse. »

Contre le raisonnement cinématique — abstrait — Sagredo invoque le témoignage de l'expérience. Aussi c'est en invoquant l'expérience, ou plus exactement, en proposant de faire une expérience, que lui répond Galilée (2) : « C'est là une des difficultés qui m'ont également donné à réfléchir au début. Mais je l'ai résolue peu après ; et cela grâce à l'expérience même qui l'a fait naître dans votre esprit. L'expérience montre, dites-vous, que, à peine parti du repos, le grave acquiert une vitesse très notable ; et moi, je dis que cette même expérience nous montre que les premiers *impetus* d'un mobile, si lourd qu'il soit, sont très lents et très faibles. Placez un grave sur une matière qui cède, et lâchez-le jusqu'à ce qu'il la presse autant qu'il le peut par sa seule gravité ; il est clair que si l'on le lève d'une coudée, ou de deux, et si on le laisse ensuite tomber sur cette même matière, il produira, par le choc, une pression nouvelle, plus grande que celle qu'il avait faite avec son seul poids ; et cet effet sera produit par (une combinaison) du (poids du) mobile tombant et de la vitesse acquise dans la chute (3) ; et il sera d'autant plus grand que la hauteur de la chute sera plus grande, c'est-à-dire que la vitesse du corps qui tombe sera plus grande. Par conséquent, la vitesse d'une grave tombant peut, sans erreur, être évaluée par la qualité et la quantité du choc. Or, si on laisse tomber un bloc sur un pieu de la hauteur de deux coudées, il ne s'enfoncera pas beaucoup, et encore moins s'il tombe de la hauteur d'une, et moins encore, si de celle d'une main ; enfin, s'il tombe de la hauteur d'un doigt, que fera-t-il de plus que s'il était posé sans choc sur le pieu ? Très peu de chose, sans doute, et cet effet serait tout à fait imperceptible si on l'avait élevé de l'épaisseur d'une feuille. Et puisque l'effet du choc dépend de la vitesse du corps qui frappe, qui donc doutera que, là où son opération est imperceptible, la vitesse soit plus que minime, et le mouvement, plus que lent. Telle est donc la force de la vérité, que la même expérience, qui, de prime abord, paraissait montrer une chose, mieux examinée, nous assure du contraire. »

Galilée n'estime pas, toutefois, qu'un problème de cette impor-

1. Souligné par nous. Sagredo a parfaitement raison : l'imagination se refuse à accepter le raisonnement mathématique. Aussi s'agit-il justement de substituer le second à la première.

2. *Ibid.*, p. 200.

3. Le produit de la vitesse par le poids, c'est le *momento*, v. *supra*, p. 20.

tance, le problème du fondement de la science même, puisse être résolu par un recours à l'expérience. L'expérience confirme ou infirme le raisonnement. Elle ne le remplace pas. Aussi nous dit-il (1) : « Mais même sans être réduit à cette expérience (qui, sans doute, est concluante) il me semble qu'il n'est pas difficile de comprendre cette vérité simplement par le raisonnement. Prenons une pierre lourde soutenue en repos en l'air, libérons-la du support et mettons-la en liberté ; étant plus lourde que l'air, elle va descendre vers le bas, et cela non point d'un mouvement uniforme, mais lent au début et continuellement accéléré ensuite ; or, étant donné que la vitesse peut être augmentée et diminuée à l'infini, ai-je quelque raison de croire que ce mobile, partant d'une lenteur infinie (c'est là le repos), acquerra immédiatement dix degrés de vitesse plutôt que quatre, que deux, qu'un, ou une moitié, ou un centième de degré ? ou même une quelconque de l'infinité des plus petites ? Ecoutez-moi, s'il vous plaît. Je ne crois pas que vous soyez opposé à me concéder que l'acquisition des degrés de vitesse par une pierre tombant et partant du repos se fait de la même manière que la diminution et la perte de ces mêmes degrés, lorsque, sous l'action d'une impulsion, la pierre est lancée en haut à la même hauteur. Or, dans ce dernier cas, il ne me semble pas que l'on puisse douter que, lors de la diminution de la vitesse de la pierre ascendante, celle-ci ne puisse parvenir à l'état de repos avant de passer par tous les degrés de lenteur. » — « Mais, objecte l'aristotélicien, si les degrés de lenteur de plus en plus grande sont infinis, jamais ils ne seront épuisés complètement. Ainsi ce grave ascendant ne parviendra jamais au repos, mais se mouvra infiniment, en se ralentissant sans cesse (2) ; ce qu'on ne voit pas arriver. »

On voit très bien ce qui, selon Galilée lui-même, rend sa position tellement difficile à saisir : c'est que, pour la comprendre, il faut former la notion — la notion d'une infinité de degrés de vitesse parcouru dans un temps fini, et pour le faire, il faut former celle, inimaginable — de la vitesse dans l'instant, c'est-à-dire, la notion d'un mouvement, pour ainsi dire, immobile, d'un mouvement qui semble renier en quelque sorte, son affinité avec le temps (3). En d'autres

1. *Ibid.*, p. 201.

2. Qu'il en soit effectivement ainsi, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'arrêt nécessaire dans un mouvement se ralentissant sans cesse, c'est que Benedetti avait déjà fait voir (v. *supra*, I, p. 51). Mais Galilée aurait pu invoquer l'autorité d'Aristote lui-même qui, dans sa *Physique* (I, V, c. 6, 230^b ; I, VI, c. 8, 238^b) nous explique qu'il n'y a jamais ni premier ni dernier moment du mouvement, ni, corrélativement, dernier ou premier moment du repos.

3. En fait, il n'en est rien. C'est au contraire, la notion du mouvement dans l'instant, la notion du moment ou élément du mouvement et de la vitesse qui permet, seul, de résoudre les difficultés mises en lumière par les arguments Zénoniens.

termes, la notion d'une différentielle du mouvement. Il continue donc (1) : « Ceci arriverait, si le mobile demeurait pendant quelque temps dans chacun des degrés ; mais il ne fait que passer, sans y demeurer plus d'un instant ; et parce que dans chaque *quantum* de temps, si petit qu'il soit, il y a une infinité d'instant, ils sont donc en nombre suffisant pour correspondre à l'infinité des degrés de la vitesse décroissante. Or, que le grave ascendant ne demeure pendant aucun laps de temps dans le même degré de vitesse, cela se voit comme suit : en effet, si — un laps de temps quelconque étant déterminé — le mobile, au dernier instant de ce laps, se trouvait avoir le même degré de vitesse qu'au premier, il pourrait, par ce second degré, être élevé à la même hauteur qu'il a franchie en passant du premier au second. Il passerait de même du second au troisième, et finalement, il continuerait son mouvement uniforme à l'infini. »

L'objection infinitésimale étant écartée, nous pouvons désormais admettre de confiance la définition du mouvement uniformément accéléré :

DÉFINITION

J'appelle mouvement uniformément, ou également, accéléré, le mouvement dont les moments, ou degrés de vitesse, augmentent, à partir du repos, avec l'accroissement même du temps à partir du premier instant du mouvement.

Les explications de Galilée n'ont pas, il faut l'avouer, satisfait tout le monde. Particulièrement, pas Descartes : celui-ci avait commencé par admettre la continuité : la vitesse n'est-elle pas une grandeur, et la continuité n'est-elle pas le *proprium* de celles-ci ? — mais depuis qu'à la physique abstraite du mouvement dans le vide il a substitué la physique concrète du mouvement dans le plein, des doutes lui sont venus. Aussi écrit-il à Mersenne (2) :

« Ce que dit Galilée, que les Cors qui descendent passent par tous les degrez de vitesse, je ne croy point qu'il arrive ainsi ordinairement, mais bien qu'il n'est pas impossible qu'il arrive quelquesfois. Et il y a du méconte en l'argument dont se sert M. F. (3) pour

1. *Discorsi*, III, l. II, p. 201. Cf. I, p. 62.

2. *Lettre à Mersenne*, 11 octobre 1638, A. T., v. II, p. 399 sq.

3. Probablement Frenicle.

le refuter en ce qu'il dit que *acquiritur celeritas, vel in primo instanti, vel in tempore aliquo determinato* ; car ny l'un ny l'autre n'est vray »...

L'hésitation cartésienne est visible. Et l'on en comprend bien la raison : d'une part, en effet, son mathématisme le pousse à admettre la continuité de l'accélération ou du moins sa possibilité ; d'autre part, l'intemporalisme, ou tout au moins, l'instantanéisme, de sa physique le pousse à affirmer la possibilité d'une variation discontinue. Car, Descartes le comprend parfaitement : continuité veut dire temporalité, veut dire impossibilité d'une action instantanée finie, et les raisons que donne Galilée se résument finalement dans une affirmation renouvelée de l'affinité du mouvement et du temps. Descartes prend donc son parti (1) :

« Je viens de revoir mes Notes sur Galilée, où ie n'ay veritablement pas dit que les cors qui descendent ne passent pas tous les degrez de tardiveté ; mais j'ay dit que cela ne se peut determiner sans sçavoir ce que c'est que la Pesanteur, ce qui signifie le mesme. Pour vostre instance du Plan Incliné elle prouve bien que toute vitesse est divisible à l'infiny, ce que i'accorde, mais non pas que, lors qu'un cors commence à descendre, il passe par toutes ces divisions. Et quand on frappe une boule avec un mail, ie ne croy pas que vous pensiez que cette boule, au commencement qu'elle se meut, aille moins viste que le mail ; ny enfin que tous les cors qui sont poussez par d'autres, manquent à se mouvoir dès le premier moment, d'une vitesse proportionnée à celle des cors qui les meuvent (2). Or est-il que, selon moy, la Pesanteur n'est autre chose sinon que les cors terrestres sont poussez reellement vers le Centre de la Terre par la Matière subtile, d'où vous voyez aisément la conclusion. Mais il ne faut pas penser, pour cela, que ces cors se meuvent au commencement si vite que cette Matière subtile ; car elle ne les pousse qu'obliquement et ils sont beaucoup empeschez par l'air, principalement les plus légers (3). »

1. Le parti que prend Descartes, est, en fait, celui de l'imagination.

2. Cf. GALILÉE, *Addition manuscrite sur son exemplaire du Dialogo*, Opere, vol. VII, p. 48... « Qu'un mobile si lourd qu'on le veuille se meuve avec une vitesse si grande qu'on le veuille, et qu'il rencontre un corps quelconque étant en repos, qu'il soit le plus faible et d'une résistance minime, ce mobile jamais ne lui confèrera, en le rencontrant, sa vitesse propre : ce qui suit avec évidence de ce qu'on entendra le son du choc, ce qu'on n'entendrait pas, ou mieux, qui ne serait pas, si le corps qui était en repos recevait, dès l'arrivée du mobile, la même vitesse que celui-ci. »

3. *Lettre à Mersenne*, 22 janvier 1640, A. T., vol. III, p. 9 sq.

Le mouvement uniformément accéléré est celui de la chute des graves. Mais quelle est la cause de ce mouvement ? Qu'est-ce que la gravité ? Descartes nous affirme qu'il est indispensable de la savoir. Or Galilée refuse la réponse (1). Et récusé même la question. Sans doute est-il, lui-même, intimement persuadé que Gilbert a raison : c'est-à-dire, que la force de la pesanteur est quelque chose comme l'attraction magnétique ; et que la terre est un grand aimant (2). Mais la persuasion est une chose ; la preuve, une tout autre. Et personne, ni Gilbert lui-même, ni Kepler ne l'ont encore administrée. Car personne — Galilée non plus, malgré ses études prolongées de l'aimant et de la force magnétique — n'a encore été capable de donner une théorie rationnelle, c'est-à-dire *mathématique*, de l'attraction et du magnétisme. Alors, il faut s'en passer. D'ailleurs, quelle que soit cette cause, on peut admettre qu'elle agit continuellement et que, par conséquent, le mouvement qui en résulte représente un type bien déterminé du mouvement. C'est pourquoi, nous dit-il (3) : « Il ne me paraît pas opportun de procéder maintenant à l'investigation de la cause de l'accélération du mouvement naturel, question au sujet de laquelle différentes théories ont été émises par différents philosophes ; d'aucuns la ramenaient au rapprochement du centre, d'autres, au fait que, successivement, il restait une partie moindre du milieu à traverser, d'autres à une certaine extension du milieu ambiant lequel, en regagnant le dos du mobile, le presse et le pousse continuellement. Ces fantaisies et autres encore auraient besoin d'être examinées et il serait peu profitable de le faire. Pour le moment, il suffit... d'étudier et de démontrer certaines passions du mouvement accéléré (quelle que soit la cause de son accélération) d'une manière telle, que les moments de sa vitesse augmentent, après son départ du repos, dans la proportion très simple dont se fait la croissance du temps, ce qui veut dire que, dans les temps égaux, se fait un accroissement égal de la vitesse. Et s'il arrive que les accidents déduits se vérifient dans le mouvement des graves naturellement descendants et accélérés, nous pourrions estimer que la définition assumée exprime le mouvement des graves et qu'il est vrai que leur accélération croît comme croît le temps et la durée du mouvement. »

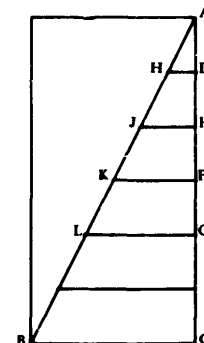
1. V. *supra*, p. 6 et plus bas, III, pp. 98 sq.

2. *Dialogo*, pp. 426 sq.

3. *Discorsi*, p. 202.

La déduction des « accidents » du mouvement uniformément accéléré, c'est-à-dire celle des rapports entre la durée de la chute, la vitesse et le chemin parcouru a été présentée par Galilée sous deux formes différentes ; il n'est pas sans intérêt de les étudier.

La démonstration du *Dialogo* se fonde sur la continuité de l'accélération et met en jeu les notions de « vitesse instantanée », de « moment », et de la « somme des vitesses » qui s'identifie avec l'espace parcouru (1)... Dans le mouvement accéléré, (2) nous dit Galilée, l'accroissement de vitesse est continu et... les degrés de vitesse, changeant de moment en moment,... sont infinis ; aussi pourrions-nous mieux exemplifier notre conception en traçant un triangle ABC, en marquant sur le côté AC autant de parties égales qu'on le voudra AD, DE, FG, et en tirant par les points D, E, F, G, des lignes droites parallèles à la base BC ; ensuite je veux que l'on imagine que les parties de la ligne AC sont des temps égaux ; que les parallèles tirées par les points D, E, F, G représentent les degrés de vitesse accélérés et croissant également en temps égaux, et que le point A soit l'état de repos, d'où part le mobile qui aura, dans le temps AD acquis le degré de vitesse DH ; que, dans le temps suivant, la vitesse aura crû du degré DH jusqu'au degré EI et, ensuite, deviendra plus grande dans les temps successifs selon l'accroissement des lignes FK, GL, etc. Or comme l'accélération se fait d'une manière continue de moment à moment, et non par



1. La démonstration du *Dialogo* débute par l'analyse d'un exemple concret : un corps jeté en haut et qui après être monté, retombe à son point de départ se meut avec une vitesse toujours moindre dans la première partie du mouvement (ascendante), toujours plus grande dans la seconde (descendante), en franchissant, dans chacun de ces deux mouvements le même espace dans le même laps de temps et en parcourant, en sens inverse, bien entendu, la même série de vitesses. Or, les deux séries sont visiblement complémentaires : si nous additionnons les vitesses que, à un instant n après le début du mouvement, auront le corps ascendant, et le corps descendant, nous obtiendrons toujours le même nombre, égal, comme il est clair, à la vitesse *maxima*. Ainsi dans son mouvement total le mobile a parcouru autant d'espace qu'il aurait parcouru en se mouvant pendant le même temps avec la vitesse *maxima*. Mais comme il a effectué un mouvement double (aller et retour) chacune de ces parties sera la moitié du mouvement total, c'est-à-dire, la moitié du mouvement exécuté (et donc de l'espace franchi) par le mobile se mouvant pendant le même laps de temps avec la vitesse *maxima*. Cf. *Dialogo*, p. 254.

2. *Dialogo*, p. 255 sq.

bonds, de telle partie du temps à telle autre, et puisque le terme A est posé comme le moment *minimum* de la vitesse, c'est-à-dire comme l'état du repos et comme le premier instant du temps subséquent AD, il est clair que, avant l'acquisition du degré de vitesse DH, acquisition faite dans le temps AD, le mobile aura passé par une infinité d'autres degrés, toujours plus petits, acquis dans les instants infinis qui sont dans le temps DA, et qui correspondent aux points infinis qui sont sur la ligne DA ; aussi, pour représenter l'infinité des degrés de vitesse qui précèdent le degré DH, il faut imaginer une infinité de lignes, toujours de plus en plus petites, tirées des points infinis de la ligne DA, parallèlement à la ligne DH, laquelle infinité de lignes représentera finalement la surface du triangle ADH. C'est ainsi que nous représenterons tout espace franchi par le mobile d'un mouvement qui, commençant au repos et s'accélégrant uniformément, aura consommé et se sera servi d'une infinité de degrés de vitesse croissante, conformes aux lignes infinies qui, commençant au point A, sont supposées tirées parallèlement à la ligne HD et aux lignes IE, KF, LG, BC ; et le mouvement pourra se continuer ainsi autant qu'on le voudra. Or, complétons le parallélogramme AMBC et prolongeons jusqu'à son côté BM non seulement les parallèles tracées dans le triangle, mais l'infinité de celles que l'on imagine tracées de tous les points du côté AC. Alors, de même que la (ligne) BC sera la plus grande des (lignes) infinies du triangle, représentant le plus grand degré de vitesse acquis par le mobile dans le mouvement accéléré, et que toute la surface du triangle sera la masse et la somme de toutes les vitesses avec lesquelles dans le temps AC il franchira un tel espace ; de même le parallélogramme représentera une masse et un aggrégat d'autant de degrés de vitesse, mais égale chacun à la vitesse *maxima* BC ; et cette masse de vitesses sera double de la masse des vitesses croissantes du triangle, de même que le parallélogramme est double du triangle ; ainsi, si le mobile, qui, en tombant, a employé les degrés de vitesse accélérée conformes au triangle ABC, a franchi en un temps tel espace, il est bien vraisemblable et probable que, en se servant de la vitesse uniforme qui correspond au parallélogramme, il franchira dans le même temps et, d'un mouvement uniforme, un espace double de celui qui fut franchi par lui dans son mouvement accéléré. »

Il est sans doute un peu surprenant de voir Galilée qualifier la conclusion de son raisonnement comme « vraisemblable » et « probable ». Mais les ripostes qu'il met dans la bouche des deux autres

interlocuteurs, Sagredo et Simplicio, nous expliquent, croyons-nous, le sens de cette expression. Sagredo (1), en effet, proteste : « La démonstration galiléenne est une démonstration mathématique parfaite. » Et l'aristotélécien Simplicio (2) en convient : « Sans doute, dit-il, mais la rigueur mathématique ne vaut rien dans les sciences de la nature. » Or, c'est là — et nous reviendrons plus tard sur cette question, en la traitant avec toute l'ampleur qu'elle réclame — le gros problème de la science galiléenne : le problème du droit à la mathématisation du réel (3). Car Simplicio — c'est-à-dire Aristote — n'a pas tout à fait tort. Le réel est complexe ; il ne se plie pas aux simples schémas de la géométrie, ou même de la cinématique. Les corps réels tombant dans un espace réel, c'est autre chose qu'un corps abstrait dans un espace géométrique. Et Galilée le sait fort bien. Et c'est pourquoi, — puisqu'il s'agit de corps *réels*, — dit-il qu'il est « probable » qu'ils se conduisent selon la loi cinématique qu'il a déduite.

Dans les *Discours*, la situation n'est pas exactement la même. Sans doute, le but poursuivi y est, bien plus encore que dans le *Dialogue*, la découverte des lois réelles du monde réel. Mais cette étude comporte désormais, consciemment, deux moments, deux étapes : l'étude purement géométrique du cas « abstrait » ou « simple », et sa confrontation avec le cas concret. Le mouvement uniformément accéléré dont Galilée étudie les « accidents » n'est pas, de prime abord, conçu comme un mouvement réel d'un corps réel sur la terre ; c'est le mouvement d'un corps « abstrait », archimédien, dans un espace géométrique. Aussi le raisonnement n'est-il pas simplement probable ; sa conclusion nous apparaît comme *démontrée*. D'ailleurs, voici ce raisonnement (4) :

« Les temps dans lequel un espace donné est franchi d'un mouvement uniformément accéléré par le mobile partant du repos, est égal au temps dans lequel le même espace serait franchi par le même mobile se mou-

1. *Dialogo*, p. 256.

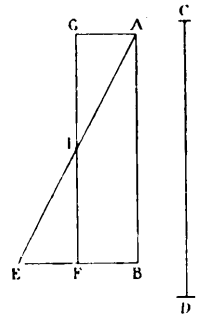
2. *Ibid.*, p. 256

3. *V. plus bas*, III, pp. 117 sq.

4. *Discorsi*, III, l. II : *Theorème I, prop. 1*, p. 208. Rien n'est plus curieux que les figures dont Galilée accompagne sa démonstration. Il semble avoir conscience combien sa manière de représenter l'espace parcouru, la trajectoire du mouvement, c'est-à-dire une ligne, par une surface, est peu naturelle, et combien facilement ce mode de représentation peut nous conduire à l'erreur de la géométrisation à outrance, erreur que jadis il avait commise lui-même. Il faudrait pouvoir représenter la trajectoire par une ligne également. Mais Galilée ne sait pas comment le faire. Aussi se borne-t-il à en tracer une à côté du dessin et sans rapport quelconque avec celui-ci.

vant d'un mouvement uniforme et dont la vitesse est le degré moyen entre les degrés maximum et minimum dudit mouvement uniformément accéléré.

« Que l'extension AB représente le temps dans lequel l'espace CD est franchi par le mobile (se mouvant) d'un mouvement uniformément accéléré à partir du repos ; et que le degré dernier et *maximum* de la vitesse accrue dans les instants du temps AB soit représenté par EB, érigée d'une manière quelconque sur AB ; (les points) A et E étant réunis, toutes les lignes tracées, parallèlement à EB, de tous les points de AE représenteront les degrés de vitesse croissante après



l'instant A. Puis, la ligne BE étant divisée en moitiés en F, et les lignes FG, AG menées parallèlement aux BA et BF, on obtient le parallélogramme AGFB égal au triangle AEB, parallélogramme qui, par son côté GF, divise en I la ligne AE en deux moitiés. Que si les parallèles du triangle AEB étaient étendus jusqu'à IG, nous aurions l'*aggregatum* de toutes les parallèles contenues dans le quadrilatère égal à l'*aggregatum* (ensemble) compris dans le triangle AEB ; car celles qui sont dans le triangle IEF sont égales à celles qui sont con-

tenues dans le triangle GIA ; quant à celles qui sont dans le trapèze AIFB, elles sont communes. Or comme à tous et à chacun des instants du temps AB correspondent tous et chaque point de la ligne AB, et comme les parallèles menées de ces points, compris dans le triangle AEB, représentent les degrés croissants de la vitesse accélérée, tandis que les parallèles contenues dans le parallélogramme représentent semblablement autant de degrés de vitesse non croissante, mais égale [uniforme], il est clair que dans le mouvement accéléré selon les parallèles croissantes du triangle AEB manquent autant de moments de vitesse que dans le mouvement uniforme selon les parallèles du parallélogramme GB. En effet, les moments qui manquent dans la première moitié du mouvement accéléré (à savoir, les moments représentés par les parallèles du triangle AGI) sont compensés par les moments représentés par les parallèles du triangle IEF. Il est donc clair que les espaces franchis dans le même temps par les deux mobiles, dont l'un se meut d'un mouvement uniformément accéléré à partir du repos, et l'autre d'un mouvement

uniforme, avec un moment égal à la moitié du moment de la vitesse *maxima* du mouvement accéléré, seront égaux. C. G. F. D. »

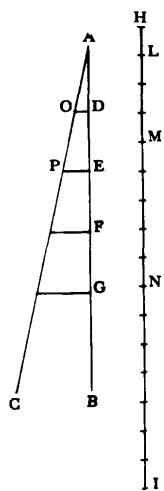
La démonstration des *Discours* emploie, on le voit bien, les mêmes notions et les mêmes méthodes que celle du *Dialogue*, moment, vitesse instantanée, somme ou *aggregat* de moments ou de vitesses. Elle est cependant plus directe, plus franche : le mouvement n'est plus subdivisé en fragments, mais pris, en quelque sorte, en bloc. Aussi pour le calcul de l'espace parcouru ne fait-on pas intervenir la notion du mouvement possible, du mouvement uniforme que le mobile aurait pu effectuer après la fin de son mouvement accéléré ; le mouvement accéléré, ou plus exactement, la somme de ses vitesses ou moments, se trouve être directement égalée à celle du mouvement uniforme dont la vitesse est la moitié de la vitesse *maxima* atteinte par le mouvement accéléré. De procéder ainsi comporte peut-être, un avantage. Mais celui-ci se trouve largement contrebalancé par le fait que, bien plus encore que dans la démonstration du *Dialogue*, le raisonnement galiléen s'applique à un mouvement achevé et arrêté. Sans doute, le procédé est-il conçu d'une façon absolument générale et peut-il s'appliquer à tous les mouvements accélérés, pourvu qu'ils le soient uniformément, quelle que soit leur extension et leur durée. Mais, tous, il ne les saisit qu'achevés et ce qui manque à cette démonstration galiléenne, c'est justement de montrer « l'affinité suprême du mouvement et du temps », le rôle prépondérant du temps. C'est pourquoi aussi à ce premier théorème (le seul qui était démontré dans le *Dialogue*) les *Discours* en ajoutent un second (1) :

« Si un mobile descend du repos d'un mouvement uniformément accéléré, les espaces parcourus par lui dans des temps quelconques sont entre eux dans le rapport double des temps, c'est-à-dire, comme les carrés des temps.

« Que le flux du temps, à partir de quelque instant A, soit représenté par l'extension AB, sur laquelle on prend deux temps quelconques, AD et BE ; soit HI la ligne par laquelle le mobile, à partir du point H, pris comme premier commencement du mouvement, descend d'un mouvement uniformément accéléré ; soit HL l'espace franchi dans le premier temps AD, et HM l'espace par lequel il descendra dans le temps AE ; je dis que l'espace HL est à l'espace HM en rapport double de celui que posséderont les carrés EA, AD. Que l'on trace la ligne BC faisant un angle quelconque avec l'Ab, et des

1. *Discorsi*, III, l. II. *Theor.* 1, *prop.* 2, p. 209.

points D, E que l'on mène des parallèles DO, EP : de celles-ci DO représentera le degré de vitesse *maximum* atteint dans l'instant E du temps BF. Or comme il a été démontré plus haut, en ce qui concerne les espaces parcourus, que les espaces, dont l'un est franchi par le mobile se mouvant d'un mouvement uniformément accéléré



à partir du repos, et l'autre, dans le même temps, par un mobile se mouvant d'un mouvement uniforme avec une vitesse égale à la moitié de la vitesse *maxima* atteinte dans le mouvement accéléré, sont égaux, il est constant que les espaces MH, LH sont les mêmes que ceux qui seraient franchis par des mouvements uniformes, dont les vitesses seraient comme les moitiés de PE, OD, dans les temps DA, EA. Ainsi donc, s'il était montré que les espaces MH, LH sont dans le rapport double des temps EA, DA, notre théorème serait démontré. Or dans la proposition quatre du livre I, il a été démontré que les espaces parcourus par des mobiles se mouvant d'une vitesse uniforme ont entre eux un rapport composé des rapports de vitesse et de temps ; *mais ici le rapport des vitesses est le même que le rapport des temps* (en effet, le rapport de la moitié de PE à

la moitié de OD, ou de l'entière PE à l'entière OD, est aussi celui de AE à AD). Donc le rapport des espaces franchis est double des rapports des temps. »

Le rapport des espaces est double de celui des temps. Voici enfin une formule qui nous donne immédiatement les espaces parcourus en fonction du temps écoulé et qui, en quelque sorte, suit le mouvement sans l'arrêter. Et qui, de plus, va nous permettre de formuler *un corollaire*, qui pour Galilée représente sa plus grande victoire intellectuelle, parce qu'il soumet le mouvement, et donc le temps, à la loi du nombre entier.

« De là il est clair que si un nombre quelconque de temps égaux était pris dès le premier instant ou commencement du mouvement, ainsi AD, DE, EF, FG, temps dans lesquels seraient franchis les espaces HL, LM, MN, NI, ces espaces seraient entre eux comme les nombres impairs *ab unitate*, à savoir comme 1, 3, 5, 7, car tel est le rapport des excédents des carrés des lignes qui s'excèdent également, et dont l'excès est égal à la plus petite ; autrement dit, des carrés se suivant *ab unitate*. Ainsi donc, le degré de vitesse augmente en

temps égaux selon la série des nombres simples, et les espaces franchis dans les mêmes temps reçoivent des accroissements selon la série des nombres impairs *ab unitate* (1). »

La déduction des accidents du mouvement uniformément accéléré est chose faite. Mais... est-ce vrai que « telle soit l'accélération dont use la nature dans la chute des graves » ? Il est permis d'en douter. Et l'aristotélicien qui élève ce doute demande tout au moins qu'on lui « indique une de ces expériences qui, a-t-on dit, sont nombreuses, et qui, dans des cas divers, s'accordent avec les conclusions démontrées » (2).

« Demande bien raisonnable, estime Galilée, et conforme à la coutume et aux convenances des sciences, qui appliquent les démonstrations mathématiques à des conclusions concernant la nature ; (c'est le cas, par exemple, de la Perspective, de l'Astronomie, de la Mécanique, de la Musique, etc.) ; les auteurs y demandent à l'accord avec l'expérience la confirmation de leurs principes qui sont le fondement de toute la construction ultérieure... » (3)

L'accord entre Galilée et l'aristotélicien semble complet. Mais, en fait, les mêmes mots recouvrent une signification profondément différente. Ce que réclame l'empirisme aristotélicien, ce sont des « expériences » qui puissent servir de base et de fondement à la théorie ; ce que lui offre l'épistémologie galiléenne, *aprioriste* et expérimentaliste à la fois (on pourrait même dire : l'une parce que l'autre), ce sont des expérimentations construites à partir d'une théorie, et dont le rôle est de confirmer, ou d'infirmer l'application, au réel de lois déduites de principes dont le fondement est ailleurs.

Aussi « l'expérience » que nous relate Galilée — expérience réelle cette fois-ci — serait-elle parfaitement incapable de porter le poids de la physique classique, poids dont tant d'historiens de la science s'obstinent à l'accabler.

L'expérience qu'institue Galilée est merveilleusement imaginée ; l'idée de substituer la chute sur un plan incliné à la chute libre est, véritablement, un trait de génie. Mais, il faut bien s'en rendre compte, l'exécution n'est pas à la hauteur de l'idée.

En effet (4), la voici : « dans l'épaisseur d'une règle, c'est-à-dire d'une planche de bois longue de douze coudées environ, large d'une

1. *Ibid.*, p. 210, cf. III, pp. 129 sq

2. *Ibid.*, p. 212.

3. *Ibid.*, p. 212.

4. *Ibid.*, p. 212 sq.

demi-coudée et épaisse de trois doigts, on a creusé un canal large d'un peu plus d'un doigt. On l'a tracé très droit et, pour qu'il soit bien poli et bien lisse, on l'a recouvert intérieurement d'une feuille de parchemin, aussi lustrée que possible. On faisait descendre dans le canal une bille de bronze très dur, bien ronde et bien polie. La règle, faite comme on vient de le dire, avait une de ses extrémités élevée d'une coudée, ou de deux, arbitrairement, au-dessus du plan horizontal. On laissait descendre, comme je l'ai dit, la bille par le canal, et l'on notait, de la manière que je vais dire, la durée de toute la course ; on répétait le même essai de nombreuses fois pour bien s'assurer de la valeur de cette durée et, dans cette répétition, on n'a jamais trouvé de différence supérieure au dixième d'une pulsation. Cette opération faite et établie avec précision, nous fîmes descendre la même bille sur le quart seulement de la longueur du canal ; la durée de la chute mesurée se trouva toujours rigoureusement égale à la moitié de l'autre. » Il est heureux que Galilée nous dise que : « ...l'expérience ayant... été répétée cent fois, toujours les espaces parcourus se sont trouvés dans le rapport des carrés des temps et cela quelle que fut l'inclination du plan, c'est-à-dire du canal où descendait la bille » ; et que « les durées de la chute sur les plans diversement inclinés étaient conformes à la proportion que leurs assignaient les démonstrations ». C'est très heureux ; car personne, autrement, n'eût pu supposer une concordance aussi rigoureuse de l'expérience avec les prévisions ; bien plus : malgré l'assertion de Galilée, on est tenté d'en douter. Ceci pour la simple raison qu'une telle concordance rigoureuse est rigoureusement impossible. Au fait, elle s'explique peut-être par la manière même dont Galilée avait mesuré les temps (1) : « Pour ce qui est de la mesure du temps, un grand seau plein d'eau était suspendu en l'air ; un petit orifice percé dans son fond laissait échapper un petit filet d'eau qu'on recevait dans un petit vase pendant tout le temps de la descente de la bille le long du canal ou de ses parties ; les quantités d'eau ainsi recueillies étaient pesées sur une balance très exacte ; les différences et les rapports de leurs poids donnaient les différences et les rapports des temps, et cela avec une telle justesse que, comme je l'ai dit, ces opérations, maintes et maintes fois répétées, n'ont jamais donné une différence notable. »

Comme on comprend Descartes qui « nie » (2) toutes les expériences

1. *Ibid.*, p. 213.

2. *Lettre à Mersenne*, avril 1634 (A. T., v. I, p. 287, A. M. v. I p. 254).

galiléennes ! Comme il avait raison ! Car toutes les expériences de Galilée, du moins toutes les expériences réelles et aboutissant à une mesure, et à un chiffre, ont été trouvées fausses par ses contemporains (1).

Et pourtant, c'est Galilée qui est dans le vrai. Car, nous venons de le voir, il ne cherche nullement dans les données expérimentielles le fondement de sa théorie ; il sait bien que c'est impossible. Et il sait aussi que l'expérience, même l'expérimentation, faite dans les conditions concrètes — dans l'air et non dans le vide, sur une planche lisse et non sur un plan géométrique, etc., etc. — ne peut pas donner les résultats prévus par l'analyse du cas abstrait. Aussi ne le demande-t-il pas. Le cas abstrait est un cas supposé. Et l'expérience doit confirmer que cette supposition est bonne. Dans la limite de ses moyens. Ou, mieux, dans la limite de nos moyens. Car, ainsi qu'on l'a dit récemment : « à quoi bon chercher la cinquième décimale, quand la deuxième déjà n'a aucun sens (2) ? »

CONCLUSION

La marche du raisonnement galiléen est, on le voit bien, fidèle à elle-même. Dans le *Dialogue* et les *Discours* elle est la même que dans la lettre à Paolo Sarpi que nous avons citée au début de cette étude. Là, comme ici, elle est, si l'on peut dire, régressive, « résolutive », analytique dans le sens le plus profond de ce terme. Du fait, des données expérimentales, des « symptômes » du mouvement accéléré, Galilée remonte — ou descend — à sa définition essentielle. Là comme ici, il cherche le principe, c'est-à-dire, l'essence de ce mouvement qui, traduite en définition, permettra de déduire et de démon-

1. MERSENNE, *L'Harmonie Universelle*, I, p. 112 : Corollaire I. Je doute que le sieur Galilée ait fait les expériences des chutes sur le plan, puisqu'il n'en parle nullement et quela proportion qu'il donne contredit souvent l'expérience ; et desire que plusieurs esprouvvent la mesme chose sur des plans différens avec toutes les précautions dont ils pourront s'aider, afin qu'ils voyent si leurs expériences respondent aux nostres... Corollaire II. Ceux qui ont veu nos expériences, et qui y ont ayde, savent que l'on n'y peut procéder avec plus de justesse, soit pour le plan qui est bien droit et bien poli, et qui contrainct le mobile de descendre droit, ou pour la rondeur et la pesanteur des boulets, et pour les chutes : d'où l'on peut conclure que l'expérience n'est pas capable d'engendrer une science, et qu'il ne faut pas trop fier au seul raisonnement, puisqu'il ne respond pas toujours à la verité des apparences, dont il s'eloigne bien souvent : ce qui n'empeschera pas que je ne parle du plan également incliné, tel qu'il doit estre afin que les corps pesans le pressent et passent également sur chacun de ses points. » Cf. notre article « Galilée et l'expérience de Pise », *Annales de l'Université de Paris*, 1936.

2. Cf. R. POIRIER, *Remarques sur la probabilité des inductions*, Paris, 1931.

trer ses « accidents » et « symptômes ». Et la comparaison des deux essais de déduction — celui qui échoue et celui qui réussit — éclairée par l'analyse, à laquelle nous nous sommes appliqués, des textes cartésiens, nous permet de comprendre les raisons de l'échec et celles de la réussite.

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. Galilée ne part pas, comme Descartes, d'un mécanisme causal, afin de le traduire ensuite en un rapport purement géométrique ; ou même, de lui substituer un tel rapport. Il part de l'idée — préconçue sans doute, mais qui forme le fond de sa philosophie de la nature — que les lois de la nature sont des lois mathématiques. *Le réel incarne le mathématique*. Aussi n'y a-t-il pas, chez Galilée, d'écart entre l'expérience et la théorie ; la théorie, la formule, ne s'applique pas aux phénomènes du dehors, elle ne « sauve » pas ces phénomènes, elle en exprime l'essence. La nature ne répond qu'aux questions posées en langage mathématique, parce que la nature est le règne de la mesure et de l'ordre. Et si l'expérience guide ainsi, « comme par la main », le raisonnement, c'est que, dans l'expérience bien conduite, c'est-à-dire à une question bien posée, la nature révèle son essence profonde que seul l'intellect, d'ailleurs, est capable de saisir.

Galilée nous dit partir de l'expérience ; mais cette « expérience » n'est pas l'expérience brute des sens ; cette donnée à laquelle doit se conformer, ou avec laquelle doit concorder, la définition qu'il cherche, n'est rien d'autre que les deux lois descriptives — les lois des symptômes — de la chute dont il est déjà en possession.

Galilée nous dit aussi être guidé par l'idée de la simplicité. Non pas simplicité formelle seulement : il s'agit de quelque chose d'autre ; de quelque chose d'analogue, sans doute, mais néanmoins différent : une simplicité réelle, si l'on peut dire, une conformité interne à la nature essentielle du phénomène étudié.

Ce phénomène réel est le mouvement. Galilée ne sait pas comment il se produit, ni comment — sous l'influence de quelle force — se produit l'accélération. Pas plus que Descartes, il ne pourra, en effet, tirer profit de l'œuvre de Gilbert et faire usage d'une notion — celle de l'attraction — obscure, notion qu'il ne sait pas mathématiser. Quoi qu'il en soit, c'est d'un phénomène réel qu'il s'agit,

d'un phénomène que la nature produit réellement, ce qui veut dire : de quelque chose qui se produit *dans le temps* (1).

C'est dans cette intuition-là, dans l'attention constante et soutenue au caractère *réel* du phénomène que git la raison qui permet à Galilée d'éviter l'erreur de Descartes ; et la sienne propre. Le mouvement est, avant tout, un phénomène temporel. Il se passe *dans le temps*. C'est en fonction du temps donc que Galilée cherchera à définir l'essence du mouvement accéléré et non plus en fonction de l'espace parcouru : l'espace n'est qu'une résultante, qu'un accident, qu'un symptôme d'une réalité essentiellement temporelle.

On ne peut, il est vrai, *imaginer* le temps. Et toute représentation graphique côtoiera toujours le danger de glisser dans la géométrisation à outrance. Mais l'effort soutenu de l'intellect, de la pensée, *concevant* et *comprenant* le caractère continu du temps, pourra sans danger le symboliser par l'espace. Le mouvement uniformément accéléré sera donc celui qui le sera par rapport au *temps*.

La notion de temps joue ainsi pour et dans la pensée de Galilée le rôle que celle de la causalité réelle jouait pour et dans celles de Beeckman et de Descartes. Mais, justement, le fait qu'il a pu — ou su — se passer de toute représentation concrète du mode de production du mouvement, de l'accélération (force, attraction, etc.), lui a permis de garder, pour ainsi dire, son équilibre sur cette frontière, étroite comme une lame, où, dans le fait du mouvement, le réel coïncide avec le mathématique.

Galilée a réussi là où Descartes a échoué. Il a su saisir et maintenir dans et par la pensée, la notion paradoxale du mouvement, la mettre à la base de ses raisonnements. Descartes, à ses débuts du moins, n'y est pas arrivé.

Pouvons-nous lui en faire grief ? N'est-ce pas là, dans cette résistance cartésienne, un indice de quelque chose d'important et de profond ? Pour notre part, nous le croyons volontiers : la notion classique du mouvement (celle même que Descartes reprendra plus tard et qui lui permettra de formuler le principe d'inertie,

1. En revanche, ainsi que nous l'avons vu, Descartes a réussi là où Galilée a subi un échec : car c'est Descartes, et non Galilée, qui a formulé, expressément du moins, le *principe d'inertie*, tandis que Galilée est resté toute sa vie embarrassé par le fait. V. plus bas, III, pp. 116.

en prenant, pour ainsi dire, sa revanche sur Galilée) n'est pas aussi claire et distincte qu'on l'a dit, qu'il l'a dit. Un changement qui est un état... le Même qui est l'Autre... c'est par « force » seulement que l'on peut faire coïncider ces concepts ainsi que l'avait fait jadis le démiurge de Platon.

Galilée et la loi d'inertie

INTRODUCTION

LE plus beau titre de gloire de Descartes-physicien est, sans doute, d'avoir donné du principe d'inertie une formule « claire et distincte » ; et de l'avoir mis à sa place.

On pourrait nous objecter, assurément, qu'à l'époque à laquelle il le fit, à la date où parurent les *Principes* — douze ans après le *Dialogue*, six ans après les *Discours* de Galilée — ce n'était ni très méritoire, ni très difficile. En 1644, en effet, la loi d'inertie ne se présentait plus comme une conception inouïe et nouvelle : bien au contraire, grâce aux travaux et aux écrits de Gassendi, de Torricelli, de Cavalieri, elle commençait à faire figure de vérité universellement acceptée. On pourrait ajouter, en outre, que, si Galilée lui-même ne l'avait pas formulée *expressis verbis*, ou du moins, ne l'avait pas posée comme loi fondamentale du mouvement, sa physique en était tellement imprégnée qu'un Baliani — esprit que l'on ne peut, d'aucune façon, comparer à ceux que nous venons de nommer — a pu, tout naturellement, l'en tirer (1).

On pourrait invoquer le jugement de Newton qui attribue tout le mérite de la découverte à Galilée, en passant Descartes entièrement sous silence ; et si, pour sauvegarder les droits de celui-ci, on faisait valoir le fait que la loi d'inertie a été formulée par Descartes déjà

1. Cf. E. WOHLWILL, « Die Entdeckung der Beharrungsgesetzes », *Zeitschrift für Völkerpsychologie, etc.*, vol. XV, p. 379 sq.

dans son *Monde*, on pourrait nous répondre, enfin, que, ainsi que nous l'avons exposé nous-même, c'est à Beeckman que Descartes est redevable du principe de la conservation du mouvement (1).

Tout cela est très juste, sans doute. Et nous n'avons nulle envie de minimiser tant soit peu les mérites de tous ceux qui, entre Descartes et Galilée, avaient jeté les bases de la science classique. Nous n'avons pas le moindre désir, surtout, d'amoindrir tant soit peu le rôle et les mérites de Galilée : bien au contraire, ainsi qu'on le verra par la suite (2). Et cependant lorsque, après les textes subtilement réticents et prudents de Galilée, après les explications embarrassées de Gassendi, après les formules d'une clarté admirable, mais d'une sécheresse toute mathématique de Torricelli, on en arrive aux phrases lapidaires de Descartes, on ne peut pas, nous semble-t-il, ne pas accepter l'évidence d'un progrès décisif dans la conscience et la clarté de la pensée. A tel point que, pour caractériser le rapport Galilée-Descartes, on pourrait, *mutatis mutandis*, employer la phrase bien connue de Pascal (3) sur la différence qu'il y a « entre écrire un mot à l'aventure sans y faire une réflexion plus longue et plus étendue, et apercevoir dans ce mot une suite admirable de conséquences... et en faire un principe ferme et soutenu d'une physique entière... »

La loi d'inertie est une loi plus que simple : elle se borne à affirmer qu'un corps, abandonné à lui-même, persiste dans son *état* d'immobilité ou de mouvement aussi longtemps que quelque chose ne vient modifier celui-ci (4). C'est en même temps une loi d'une importance capitale : elle implique, en effet, une conception du mouvement qui détermine l'interprétation générale de la nature, elle implique une conception toute nouvelle de la réalité physique elle-même. Cette con-

ception nouvelle du mouvement le proclame un *état*, et, tout en l'opposant d'une façon absolument rigide au repos, les place tous les deux sur le même plan ontologique (1). Elle admet, implicitement ou explicitement, que le corps — mobile ou immobile — est parfaitement *indifférent* en face de l'un ou de l'autre de ces deux *états* opposés, et que le fait d'être dans l'un ou dans l'autre ne le touche d'aucune façon ; c'est-à-dire, que ni l'un ni l'autre de ces *états* ne provoquent dans les corps, dont ils sont les *états*, aucune modification ou changement, et que, en d'autres termes, le passage d'un de ces *états* à l'*état* opposé ne se traduit, pour le mobile, *absolument par rien*. Elle implique donc qu'il est impossible d'attribuer à un corps donné l'état de repos (ou de mouvement) autrement que *par rapport à un autre*, supposé en mouvement (ou en repos), et que l'un ou l'autre de ces deux *états* peut être attribué à l'un — ou à l'autre — de ces corps d'une manière purement et complètement arbitraire (2). Le mouvement est ainsi conçu comme *état* ; mais ce n'est pas un état comme les autres : c'est un *état-relation* (3).

La conception classique du mouvement implique l'indifférence non seulement du mobile par rapport au mouvement, mais encore d'un mouvement par rapport à un autre : deux mouvements ne se gênent jamais (4). C'est de cette curieuse entité, véritable relation substantielle, entité non moins paradoxale que les fameuses qualités substantielles de la physique médiévale, que le principe d'inertie proclame la persistance éternelle.

Ce n'est pas de *tout* mouvement cependant que le principe d'inertie nous assure la persistance éternelle, ainsi que nous venons de le dire, mais seulement du mouvement *uniforme en ligne droite*. Le principe ne vaut pas pour le mouvement circulaire. Il ne vaut pas non plus pour le mouvement de rotation (5). On pourrait dire que, tandis que

1. V. plus haut, *La loi de la chute des corps*, p. 26 sq.

2. L'admiration que nous éprouvons pour le génie de Galilée nous semblait avoir été exprimée par nous avec une clarté suffisante pour rendre toute méprise impossible ; du moins pour tout lecteur impartial. Malheureusement il y a les autres... Aussi nous voyons-nous embrigadés dans la cohorte des « détracteurs » et des « ennemis » de Galilée par M. A. Mieli, cf. A. Mieli « Il tricentenario dei » *Discorsi et dimostrazioni matematiche* di Galileo Galilei », *Archion*, v. XXI, fasc. 3, Roma, 1938.

3. PASCAL, *Pensées et opuscules*, éd. Brunschvicg, Paris, 1907, p. 193.

4. Ce qui veut dire que le corps abandonné à lui-même reste immobile ou se meut indéfiniment d'un mouvement *rectiligne et uniforme* ; en d'autres termes, il conserve sa vitesse et sa direction. V. LAPLACE, *Exposition du système du monde*, Œuvres, vol. VI, l. III, c. 2, pp. 155 sq. ; LAGRANGE, *Mécanique analytique*, Paris, 1853, pp. 308 sq.

1. C'est justement parce que le repos et le mouvement possèdent pour la science classique le même *status* ontologique, celui d'un *état*, que le mouvement peut être conçu comme perdurant éternellement, comme le repos sans modification et sans cause (*moteur*). Pour employer la terminologie médiévale, le mouvement avec Galilée et Descartes, cesse d'être une *forma fluens* pour devenir une *forma stans*. V. plus haut, *La loi de la chute des corps*, p. 49 et *infra*, p. 164 sq.

2. Tant, bien entendu, qu'on se borne à envisager le mouvement en tant que tel et ne fait pas intervenir les forces. En d'autres termes, tant qu'on fait de la cinématique ou phoronomie pure, et non encore de la dynamique.

3. En effet, ce qui se conserve, c'est la *vitesse*, et la *direction*.

4. Pour la physique aristotélicienne, ainsi que pour celle de l'*impetus*, deux mouvements se gênent toujours.

5. Nous nous excusons d'insister sur quelque chose qui va, ou devrait aller, de soi. Malheureusement, la méconnaissance de la distinction radicale, ou si l'on préfère, de l'opposition

la physique médiévale et antique opposait le mouvement circulaire, naturel, au mouvement en ligne droite, violent, la physique classique invertit le rapport : pour elle, c'est le mouvement rectiligne qui est devenu naturel ; et c'est le mouvement circulaire qui, désormais, fait figure de violent (1). Ce ne serait d'ailleurs pas suffisant : pour la physique classique il n'y a pas de mouvement *naturel* ; il n'y a pas non plus, à parler strictement, de mouvement *violent* : aucun mouvement ne résulte de la « nature » d'un mobile, pas plus que d'une telle « nature » ne peut provenir un repos. Il s'ensuit, de toute évidence, qu'on ne fait jamais « violence » à la nature du mobile : il est, nous venons de le dire, parfaitement indifférent à l'état dans lequel on le met ; ce qui, d'autre part, implique que ce n'est que par « force » — si ce n'est plus par « violence » — que l'on peut faire passer le mobile d'un état à un autre : tout mouvement — ou, du moins, toute mise en mouvement —, ainsi que tout repos — ou du moins tout arrêt du mouvement, toute accélération comme tout ralentissement — impliquant une cause, ou plus exactement une *force* (2), elle doit, nécessairement, être conçue comme extérieure et étrangère au mobile, qui, lui-même est *inerte* (3).

La conception classique — galiléenne, cartésienne, newtonienne — du mouvement, nous paraît aujourd'hui non seulement évidente, mais même « naturelle ». Et pourtant cette « évidence » est encore toute récente : elle est vieille à peine de trois siècles. Et c'est à Descartes et à Galilée que nous la devons.

Le principe d'inertie n'est pas sorti tout fait, comme Athéna de la tête de Zeus, de la pensée de Descartes ou de Galilée. La formation de la nouvelle conception du mouvement, — impliquant une nouvelle conception de la réalité physique —, dont le principe d'inertie

entre l'affirmation de la persistance du mouvement circulaire et celle du mouvement rectiligne — les deux propositions sont, en effet, incompatibles — a vicié la plupart des travaux et même des meilleurs, consacrés à l'étude des origines du principe d'inertie.

1. Nous nous excusons, encore une fois, de rappeler que, pour la physique classique, le mouvement circulaire n'est pas un mouvement uniforme, mais un mouvement accéléré.

2. Dans la science classique, l'action d'une force produit non pas le mouvement, mais l'accélération.

3. Le terme *inertie* qui pour son inventeur, Kepler, veut dire : *résistance naturelle au mouvement* (cf. *infra*, p. 26 sq.), veut dire, pour la physique classique, indifférence aux états de mouvement et de repos, persistance des dits états, résistance opposée à tout changement d'un état pour un autre.

est à la fois l'expression et le support, a été précisée par un long et pénible travail de l'esprit. La révolution galiléenne et cartésienne — qui n'en reste pas moins une révolution — a été longuement préparée. C'est l'histoire de cette préparation que nous nous proposons d'étudier ici (1), histoire qui forme une préface indispensable à l'intelligence de l'œuvre Galiléenne, histoire dans laquelle on voit l'esprit humain aborder obstinément les mêmes problèmes, se heurter inlassablement aux mêmes objections, aux mêmes difficultés, et se forger lentement et péniblement l'instrument qui lui permettra de les surmonter.

La physique classique étudie avant tout le mouvement des graves c'est-à-dire, premièrement, des corps pesants qui nous entourent. Aussi, c'est de l'effort d'expliquer des faits de l'expérience journalière — le fait de la chute, le fait du jet, etc. — que procède le mouvement d'idées qui aboutit à la découverte de la loi d'inertie. Mais, chose curieuse, il n'en procède pas directement. Ni principalement. La physique nouvelle ne naît pas seulement sur la terre : elle naît tout autant dans les cieux. Et c'est dans les cieux aussi qu'elle trouve son achèvement.

Ce fait — le fait que la physique classique possède un « prologue » et un « épilogue » célestes — ou, pour parler un langage plus sobre, le fait que la physique classique naît en fonction de l'astronomie, et en reste solidaire pendant toute son histoire, est plein de sens et gros de conséquences. Il exprime la substitution à la notion ou conception du Cosmos — unité fermée d'un ordre hiérarchique — de celle de l'Univers : ensemble ouvert lié par l'unité de ses lois (2) ; il implique l'impossibilité de fonder et d'élaborer une mécanique terrestre sans achever, ou du moins sans fonder et élaborer en même temps une mécanique céleste ; il explique l'échec partiel de Galilée et de Descartes.

1. L'histoire de l'invention du principe d'inertie a été étudiée plus d'une fois. Citons les beaux travaux de E. WOHLWILL, « Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes », *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft*, vol. XIV et XV ; de E. MACH, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, 8^e éd., Leipzig, 1921, les travaux bien connus de P. DUHEM, *De l'accélération produite par une force constante*, Congrès International de Philosophie, 11^e session, Genève, 1905 et *Études sur Léonard de Vinci*, 3 vol., Paris, 1909-13 ; enfin l'admirable chapitre consacré au principe d'inertie par E. MEYERSON dans son *Identité et Réalité*, 3^e éd., Paris, 1926.

2. Cf. E. BRÉHIER, *Histoire de la Philosophie*, t. II, fasc. 1. Paris, 1929, p. 95 : « Descartes dégage la physique de la hantise du Cosmos hellénique, c'est-à-dire de l'image d'un certain état privilégié des choses qui satisfait nos besoins esthétiques... Il n'y a pas d'état privilégié puisque tous les états sont équivalents. Il n'y a donc aucune place en physique pour la recherche des causes finales et pour la considération du meilleur. »

Venons maintenant aux faits. C'est en fonction de l'astronomie que s'élabore, venons-nous de dire, la physique nouvelle ; plus précisément : en fonction des problèmes posés par l'astronomie copernicienne, et notamment, de la nécessité de répondre aux arguments *physiques* présentés par Aristote et Ptolémée contre la possibilité du mouvement de la terre.

1. Copernic

En effet, il n'était pas difficile de répondre aux arguments « géométriques » en faveur du géocentrisme. Les gens qui, du fait que tout mouvement circulaire (tout mouvement de rotation) implique un axe, ou un point immobile autour duquel il se fait, déduisent l'immobilité de la terre, confondent visiblement géométrie et physique (1). Aussi, ayant montré l'inanité de leur argumentation, Copernic poursuit-il (2) : « C'est pourquoi les anciens philosophes ont, par quelques autres raisons, essayé de forcer la terre de demeurer (immobile) au milieu du monde ; et pour cause principale ils allèguent la gravité et la légèreté. En effet, l'élément de la terre est le plus lourd et toutes les choses pesantes se portent vers elle, se précipitant vers son intérieur. Or, la terre — vers laquelle les graves, de tous côtés et perpendiculairement à sa surface, sont portés en vertu de leur propre nature — étant ronde, ils se rencontreraient en son centre s'ils n'étaient retenus à sa surface... Mais il semble que les choses qui se portent vers le centre le recherchent pour se reposer dans le centre. A plus forte raison donc, la terre serait en repos dans le centre, et

recevant en elle tout ce qui tombe, y demeurerait immobile grâce à son poids. Ils cherchent également à prouver la même chose au moyen d'un raisonnement fondé sur le mouvement et sa nature. En effet, Aristote dit que le mouvement d'un corps simple est simple (1) ; or, des mouvements simples, l'un est rectiligne, et l'autre est circulaire ; et quant aux rectilignes, l'un est vers le haut, et l'autre vers le bas. Par conséquent, tout mouvement simple est [dirigé] soit vers le centre, c'est-à-dire vers le bas, soit du centre, c'est-à-dire vers le haut, soit se fait autour du centre, et c'est là le mouvement circulaire. Se porter vers le bas, c'est-à-dire, tendre vers le centre, convient seulement à la terre, et à l'eau, considérées comme graves ; à l'air, par contre, et au feu, qui sont pourvus de légèreté, il convient de tendre vers le haut, et de s'éloigner du centre. Il semble convenable que le mouvement rectiligne soit accordé aux quatre éléments ; aux corps célestes, par contre, de tourner autour du centre. Tel est l'enseignement d'Aristote.

« Si donc, dit Ptolémée d'Alexandrie (2), la terre tournait, du moins en une révolution quotidienne, il devrait arriver le contraire de ce qui vient d'être dit. En effet, ce mouvement qui, en vingt-quatre heures franchit tout le circuit de la terre, devrait être extrêmement véhément et d'une vitesse insurpassable. Or les choses mues par une rotation violente semblent être totalement incapables à se réunir, mais plutôt devoir se disperser, *à moins qu'elles ne soient maintenues en liaison par quelque force* (3). Et depuis longtemps déjà, dit-il, la terre dispersée aurait dépassé le ciel même (rien n'est plus ridicule) : à plus forte raison les êtres animés, et toutes les autres masses séparées qui ne pourraient aucunement demeurer stables. Mais en outre, les choses tombant librement n'arriveraient pas, non plus, en perpendiculaire, au lieu qui leur fut destiné, lieu entre temps retiré avec une telle rapidité de dessous d'elles. Et nous verrions aussi toujours se porter vers l'Occident les nuages et toutes les choses qui flottent dans l'air. »

On aurait tort de méconnaître la valeur de ces objections. Sans doute peut-on répondre comme le fait Copernic (4), et comme le

1. Cf. N. COPERNIC, *De revolutionibus orbium coelestium*, livre I, Paris, 1934 ; l. I, cap. v, pp. 76 sq. ; cap. vi, p. 81.

2. *Ibid.*, l. I, cap. vii, pp. 85 sq.

1. Le mouvement résultant de la nature du corps, et exprimant celle-ci, cette nature, dès qu'il s'agit d'un corps simple, ne peut donner lieu qu'à un mouvement également simple. V. ARISTOTE, *De Coelo*, l. I, c. 2 ; *Physique*, l. II, 1 et l. V, 2.

2. PTOLÉMÉE, *Almageste*, I, 7.

3. Souligné par nous.

4. N. COPERNIC, *De Revolutionibus orbium coelestium*, l. I, cap. ix, p. 101.

feront après lui ses partisans, que la gravité n'est rien d'autre que la tendance naturelle des parties d'un Tout à se réunir ensemble, et que les « graves » terrestres ne cherchent nullement à se rapprocher du centre du Monde « pour y reposer », mais se bornent simplement à tendre vers leur Tout, la terre. Il resterait à expliquer cependant pour quelle raison ils tendent vers le centre de celle-ci ; ce qui n'est pas facile ; il resterait encore à répondre aux arguments tirés du mouvement rectiligne de la chute.

Or, la réponse de Copernic à ces derniers est, à vrai dire, assez superficielle, et même verbale.

Copernic, en effet, ne voit pas la faiblesse de l'argument « centrifuge ». Il le prend au sérieux et le traite comme les autres. Aussi est-ce une seule et même objection qu'il oppose à ses adversaires. Étendant à la terre une idée admise pour les cieux (1), il affirme le caractère *naturel* du mouvement circulaire de celle-ci. Or, étant *naturel*, ce mouvement, d'une part ne peut pas produire les effets désastreux dont parle Ptolémée (un mouvement *naturel* qui détruirait la *nature* même du mobile est une *contradictio in adiecto*) ; d'autre part, étant *naturel* à la terre, il anime, naturellement, tous les corps de nature et de provenance terrestre, même si, ou même lorsque, ils ne sont pas en contact immédiat avec elle : ils lui sont, néanmoins, *physiquement reliés*.

L'aristotélicien, estime Copernic — et il a sans doute raison — argumente à partir de son système physique propre ; il l'admet comme allant de soi. Il applique, tout naturellement, ses catégories propres, et considère le mouvement de la terre comme « violent ». C'est là la prémisse inexplicite de ses objections. Aussi Copernic répond-il (2) :

... « Mais si quelqu'un pensait que la terre se meut, il dirait certainement que ce mouvement est naturel, et non violent. Or les choses qui se font conformément à la nature produisent des effets contraires à ceux qui se font par violence. Les choses, en effet, auxquelles est appliquée la force, ou la violence, doivent nécessairement être détruites et ne peuvent subsister longtemps ; mais celles qui sont faites par la nature, le sont d'une manière convenable et demeurent dans leur meilleure disposition. Ptolémée n'a donc pas besoin de craindre que la terre, et toutes les choses terrestres, soient détruites

1. Les cieux, tournant en vertu de leur nature, et, en outre, privés de poids, ne sont pas sujets aux effets de la force centrifuge.

2. N. COPERNIC, *De Revolutionibus*, l. I, cap. VIII, pp. 89 sq.

par la rotation produite par l'action de la nature, action qui est très différente de celle de l'art, ou de celle qui peut résulter de l'industrie humaine. Mais pourquoi ne le craint-il pas encore plus en ce qui concerne le Monde, dont le mouvement doit être d'autant plus rapide que le ciel est plus grand que la terre ? Le ciel est-il devenu si grand (immense) parce que ce mouvement, par une véhémence indécible, l'éloigne du centre, et doit-il tomber s'il s'arrête ? »

Nous avons montré ailleurs (1) combien faible — du point de vue de l'aristotélicien — apparaît cette contre-objection de Copernic. Voyons maintenant sa réponse au dernier argument, à celui qui fait valoir, contre le mouvement de la terre, le mouvement des corps séparés de celle-ci, c'est-à-dire, le vol des oiseaux, le mouvement des nuages et enfin la chute perpendiculaire des graves. C'est là l'argument le plus fort de l'aristotélicien. En effet, du point de vue de sa physique, le mouvement est un processus qui affecte le mobile, qui exprime sa nature, qui « existe » dans le corps qui se meut. Le grave, dans sa chute, va de A en B, d'un certain point, situé au-dessus de la surface de la terre, vers cette dernière, ou plus exactement *vers son centre*. Il suit la ligne droite qui relie ces deux points. Si, pendant son trajet, la terre se mettait à tourner, elle décrirait, par rapport à cette ligne (la ligne reliant le point A au centre de la terre) un mouvement auquel ni ce point, ni cette ligne, ni le corps qui la suit ne participent aucunement : le mouvement de la terre n'affecte point le corps qui en est séparé. Si la terre se dérobe au-dessous de lui, tant pis ! Le grave ne peut que poursuivre son chemin. Il ne peut courir après elle. Il s'ensuit que si la terre était en mouvement, un corps lancé du haut d'une tour ne pourrait jamais tomber à ses pieds, pas plus qu'un corps lancé verticalement en l'air ne pourrait retomber à l'endroit d'où il était parti. Il s'ensuit *à fortiori*, qu'un boulet tombant du haut du mât d'un navire ne tombera jamais au pied de ce mât (2).

Or voici la réponse de Copernic (3) :

« Mais que dirons-nous touchant les nuages et les autres choses flottant dans l'air, ainsi que celles qui tombent, ou inversement, tendent vers le haut ? Tout simplement que, non seulement la terre, avec l'élément aqueux qui lui est joint, se meut ainsi (c'est-à-dire

1. N. COPERNIC, *De Revolutionibus*, l. I, Paris, 1934, Introduction, pp. 19 sq.

2. Cette conception nous paraît, sans doute, assez étrange. Pour qu'elle cesse de l'être il suffit cependant de se représenter le mouvement à l'instar de la propagation d'une onde.

3. N. COPERNIC, *De Revolutionibus*, l. I, cap. VIII, pp. 93 sq.

naturellement), mais encore une partie non négligeable de l'air, et toutes les choses qui, de la même manière, ont un rapport avec la terre. Soit que l'air proche de la terre, mélangé de matière terrestre et aqueuse, participe de la même nature que la terre, soit que le mouvement de l'air soit un mouvement acquis, dont il participe sans résistance par suite de la contiguité et du mouvement perpétuel de la terre... C'est pourquoi l'air le plus proche de la terre apparaîtra en repos, ainsi que les choses suspendues en lui, à moins que par le vent, ou par quelque autre force elles ne soient, comme cela arrive, poussées çà et là.

« Quant aux choses qui tombent et qui s'élèvent, nous avouerons que leur mouvement doit être double par rapport au monde et, généralement, composé de rectiligne et de circulaire (1). Parce que les choses qui sont entraînées vers le bas par leur poids, sont terreuses au maximum ; or il est indubitable que les parties gardent la même nature que leur Tout. Et ce n'est pas pour une autre raison que cela se fait en celles qui sont entraînées vers le haut par la force ignée. En effet, le feu terrestre est surtout alimenté par la matière : aussi dit-on que la flamme n'est pas autre chose que de la fumée ardente... »

La réponse de Copernic, très forte si on l'envisage comme une réponse *ad hominem*, est en elle-même plus que faible. Comment admettre, en effet, que — si le mouvement circulaire d'Occident en Orient est *naturel* à tous les corps terrestres —, cette tendance *naturelle* qui les anime (et qui explique, certes, pourquoi les nuages, l'air, les oiseaux et les corps qui tombent ou qui sont lancés en l'air, suivent le mouvement du globe terrestre et ne « restent pas en arrière ») ne les gêne aucunement dans leurs mouvements d'Orient en Occident ? Les corps graves sont animés d'un mouvement naturel vers le bas. Aussi est-il très difficile de leur imprimer un mouvement vers le haut ; si les corps terrestres étaient animés d'un mouvement *naturel* vers la droite, il eût été pratiquement impossible de les faire aller vers la gauche.

Mais au-dessous, en quelque sorte, de l'argument copernicien il y a déjà comme le germe d'une conception nouvelle qui se développera par la suite. Le raisonnement de Copernic applique aux phénomènes terrestres les lois de la « mécanique céleste » : la division du Cosmos en régions sur et sub-lunaires est, par là même, implicitement aban-

1. Le mouvement des corps sera donc, en général, un mouvement mixte, et Copernic dira que la circulaire s'unit au rectiligne « comme la maladie à l'animal ».

donnée. En outre, le raisonnement copernicien nous propose une explication du fait que les corps ne « restent pas en arrière », du fait que le grave, dans sa chute, suit une ligne *verticale pour nous* et tombe au pied de la tour dont il est lancé : cette explication, il la trouve dans le fait que les corps *participent au mouvement de la terre* (1).

Que faut-il modifier dans le raisonnement copernicien pour que, d'absurde, il devienne acceptable ? Pas mal de choses : il faut remplacer l'explication mythique de la participation des corps graves au mouvement de la terre (participation à la « nature » de la terre) par une explication physique ou, plus exactement, mécanique, c'est-à-dire, il faut rendre explicite les idées sous-jacentes du raisonnement, celle notamment que pour un ensemble de corps *animés d'un même mouvement*, ce mouvement, auquel tous ils prennent part, ne compte pas ; en d'autres termes, il faut dégager la notion du système physique, et admettre la relativité, non seulement *optique*, ainsi que le fait Copernic, mais aussi *physique* du mouvement. Mais ceci, pour être mené à bien, implique l'abandon de la notion aristotélicienne du mouvement et son remplacement par une autre ; ce qui à son tour veut dire : abandon de la philosophie aristotélicienne au profit d'une autre philosophie. Car, et nous le verrons de plus en plus clairement par la suite — ce n'est pas d'un simple problème de science, c'est d'un problème philosophique qu'il s'agit tout au long de ce débat.

2. Bruno

Dégager la notion du système physique, telle fut l'œuvre de Bruno. Œuvre inégale, sans doute, tumultueuse et même bien confuse ; et viciée — du point de vue scientifique qui est ici le nôtre — par l'animisme profond de sa pensée. Et pourtant, cette pensée obscure et confuse a joué un grand rôle dans l'histoire de la science (2). Rôle positif, parce que, par une intuition de génie, Bruno avait compris

1. En vertu de leur nature « terrestre », les corps terrestres exécutent le même mouvement circulaire que la terre elle-même. Et c'est pour cela que ce mouvement reste imperceptible pour nous, qui en participons également.

2. L'influence exercée par Bruno nous paraît avoir été beaucoup plus grande qu'on ne l'admet habituellement et qu'il ne paraît dans les textes. Ainsi, il nous semble certain que Galilée le connaissait parfaitement bien : s'il n'en parle jamais, ce n'est pas par ignorance, c'est par prudence. Ainsi il évite soigneusement de relever — même pour la combattre — l'interprétation brunienne donnée par Mattheus Washer et, d'ailleurs, par Kepler lui-même aux découvertes exposées dans le *Nuntius Siderius*, cf. KEPLER, *Dissertatio cum Nuntio Siderio*, Opere, v. III, 1, pp. 105 sq.

l'*infinitisme* de l'astronomie nouvelle. Aussi, avec une hardiesse insurpassable, avait-il opposé à la vision médiévale du Cosmos ordonné et fini sa propre intuition de l'Univers infini. Rôle négatif aussi, parce que, liant ses thèses métaphysiques et cosmologiques (pluralité des mondes et même des mondes habités) à celle de l'astronomie, et donc de la physique nouvelles, il avait rendu celles-ci solidaires — aux yeux de l'Église — de celles-là, et ainsi fut la cause occulte, mais réelle, de la condamnation de Copernic. Et de Galilée (1).

Dans sa défense de l'astronomie copernicienne, Bruno rencontre les objections physiques auxquelles s'était déjà heurté Copernic. Et pour y répondre il développe, cela va de soi, les idées esquissées par son maître. Mais, en les développant, il les transforme, en se servant d'une manière remarquablement intelligente de la physique de l'*impetus*.

Contre la possibilité du mouvement de la terre l'aristotélicien invoque les arguments des vents, des nuages, des oiseaux. Et Bruno lui répond que l'air environnant la terre se trouvant entraîné par le mouvement de celle-ci, les mouvements des vents, des nuages, des oiseaux, s'y font exactement de la même manière que dans l'air immobile. Quant à l'argument de la chute verticale, il est, par là même, virtuellement résolu (2) :

« De ce que vous avez répondu à l'argument que l'on tire des vents et des nuages, écrit Bruno, résulte aussi la réponse à un autre argument, celui qu'Aristote allègue au deuxième livre du *De Coelo* (3), où il dit qu'il serait impossible qu'une pierre jetée vers le haut puisse retourner en bas en suivant la même verticale ; mais que nécessairement, le mouvement très rapide de la terre la laisserait bien en arrière, vers l'Occident. »

Cet argument célèbre ne vaut rien, pense Bruno, parce qu'il néglige une donnée éminemment importante : le fait que l'expérience en question (la projection de la pierre vers le haut) se fait *sur la terre*.

1. Le nom de Bruno n'est pas prononcé dans la condamnation qui frappe Copernic (1616), pas plus que dans celle qui frappe Galilée. Mais il est hors de doute que c'est seulement l'exemple de Bruno qui a ouvert les yeux de l'Église sur le danger que l'astronomie nouvelle présentait pour la religion.

2. Giordano BRUNO, *La Cena de le ceneri*, III, 5 : *Opere Italiane*, éd. Wagner, Lipsiae, 1830, p. 169 sq. : « Da quel, che rispondete a l'argomento tolto da venti et nuvole, si prende ancora la risposta de l'altro che nel secondo libro del cielo e mondo apportò Aristotele, dove dice, che sarebbe impossibile, che una pietra gittata a l'alto potesse per medesima rettitudine perpendicolare tornare al basso ; ma surebbe necessario, che il velocissimo moto della terra se la lasciasse molto a dietro verso l'occidente. »

3. ARISTOTE, *De Coelo*, II, 14.

Il en résulte que « tous les rapports de rectitude et d'obliquité se modifient nécessairement avec le mouvement de celle-ci » (1).

A l'encontre de Copernic qui distingue le mouvement « naturel » de la terre de tout mouvement « violent » des choses qui s'y trouvent, Bruno les assimile expressément. Ce qui se passe sur la terre en mouvement trouve sa contre-partie exacte dans ce qui se passe sur le navire qui glisse à la surface des eaux : là aussi le mouvement global du navire ne produit aucun effet sur les mouvements partiels, « car il y a une différence entre le mouvement du navire et le mouvement des choses qui sont dans le navire » (2) ; et si cela n'était pas vrai, il s'en suivrait que, lorsque le navire court sur la mer, personne ne pourrait jamais lancer quelque chose, en ligne droite, d'un bord à l'autre ; et qu'il serait impossible à quiconque de pouvoir faire un saut et de retomber des pieds à l'endroit dont il s'était enlevé » (3). Conséquence parfaitement exacte de la conception aristotélicienne ; que les aristotéliciens cependant se refusaient à tirer ; et même à admettre. Quant à Bruno, il poursuit l'analogie entre les mouvements qui ont lieu sur le navire et ceux qui ont lieu sur la terre : ceux-ci s'effectuent tout autrement que ne le voulait Aristote, parce que « toutes les choses qui se trouvent sur la terre se meuvent avec la terre » (4). Les phénomènes, hypothétiquement allégués par Aristote — le retard vers l'Occident, etc. — ne pourraient avoir lieu que si l'origine du mouvement (de la pierre) était extérieure à la terre.

Sans doute, si (5) « d'un lieu extérieur à la terre quelque chose était jeté en terre (cette chose) par suite du mouvement de la terre, perdrait la rectitude (de son mouvement), comme il apparait dans le navire, lorsque celui-ci descend le fleuve : si quelqu'un, qui se trouve

1. G. BRUNO, *op. cit.*, p. 170 : « Per che essendo questa proiezione dentro la terra, è necessario, che col moto di quella, si venga a mutar ogni relazione di rettitudine et obliquità. »

2. Souligné par nous.

3. *Ibid.* : « per che è differenza tra il moto del nave, e moto di quelle cose, che sono ne la nave, il che se non fusse vero, seguitarebbe, che, quando la nave corre per il mare, giammai alcuno potrebbe trarre per dritto qualche cosa da un canto di quella a l'altro, e non sarebbe possibile che un potesse far un salto, o ritornare co' pie, onde li tolse. »

4. *Ibid.* : « Con la terra dunque si muovano tutte le cose, che si trovano in terra. »

5. *Ibid.* : « Se dunque dal loco extra la terra qualche cosa fusse gittata in terra, per il moto di quella perderebbe la rettitudine. Come appare ne la nave, la qual, passando per il fiume, se alcuno, che si ritrova ne la sponda di quello, venga a gittar per dritto un sasso, verrà fallito il suo tratto, per quanto comporta la velocità del corso. Ma posto alcuno sopra l'arbore di detta nave, che corra quanto si voglia veloce, non fallirà punto il suo tratto : di sorte che per dritto dal punto, ch'è ne la cima de l'arbore, o ne la gabbia al punto, ch'è ne la radice de l'arbore o altra parte del ventre e corpo di detta nave, la pietra o altra cosa grave gittata non vegna. Così se dal punto de la radice al punto de la cima de l'arbore, o de la gabbia, alcuno ch'è dentro la nave, gitta per dritta una pietra, quella per la medesima linea riurnarà a basso, muovasi quanto si voglia la nave, pur che non faccia de gl'inchini. »

sur la rive, vient à jeter une pierre tout droit vers le navire, il manquera son but, et cela en proportion de la vitesse du navire. Mais que quelqu'un soit placé sur le mât de ce navire, et que celui-ci coure aussi vite qu'on voudra, son jet ne sera pas faussé d'un point. De sorte que la pierre, ou toute autre chose grave, jetée du mât vers un point situé au pied du dit mât, ou en quelqu'autre partie de la cale ou du corps du navire, y viendra en ligne droite. De même si quelqu'un qui se trouve dans le navire jette en ligne droite (verticale) une pierre vers le sommet du mât, ou vers la hune, cette pierre reviendra en bas par la même ligne, de quelque manière que le navire se meuve, pourvu qu'il n'éprouve pas d'oscillations ».

On voit bien la nouveauté du raisonnement de Bruno par rapport à celui de Copernic : les corps qui sont « sur terre » participent au mouvement de la terre non point parce qu'ils participent à sa « nature », mais simplement parce qu'il sont « en elle », exactement de la même manière dont les corps qui sont « dans le navire » participent au mouvement de celui-ci ; ce qui veut dire, — et d'ailleurs Bruno le dit — qu'il ne s'agit plus de la participation à un mouvement « naturel », il s'agit du mouvement tout court, de l'appartenance du mobile à un système mécanique. Cette notion du système mécanique — ensemble de corps unis par leur participation à un mouvement commun — qui sous-tend le raisonnement de Bruno, n'a pas de place dans la physique d'Aristote.

Aristote envisage le mouvement comme étant une fonction ou une expression de la « nature » du mobile ; il le voit comme passage d'un lieu A à un autre lieu B ; ces « lieux », il les envisage comme déterminés par rapport au centre et à la circonférence du Cosmos. Il s'ensuit qu'à partir d'un lieu donné, il ne peut y avoir pour un corps déterminé qu'un seul mouvement « naturel » ; ce qui, pour Bruno, voudrait dire : Aristote conçoit les « lieux » comme extérieurs au système physique de la terre. Car, pour Bruno, les « lieux » ne se déterminent pas par rapport au Cosmos ; ils se déterminent par rapport à tel ou tel autre système mécanique. Aussi un même « lieu » peut-il appartenir à des systèmes mécaniques différents, et les corps qui en partent peuvent-ils exécuter des mouvements très différents : selon les systèmes auxquels ils appartiennent. Cette conséquence, dont tout aristotélicien se détournera avec horreur, Bruno l'affirme *expressis verbis* (1).

1. Giordano BRUNO, *La Cena de la Ceneri*, III, 5, *Opere italiane*, éd. Wagner, Lipsiae, 1830, V. I, p. 171 : « Teo. Or per tornare al proposito, se dunque saranno dui, de quali l'uno si

« Or donc, nous dit-il, que l'on s'imagine deux hommes : l'un dans le navire qui court, et l'autre en dehors de celui-ci ; que l'un et l'autre aient la main dans le même point de l'air, et que de ce même lieu, en même temps, l'un laisse tomber une pierre, et l'autre une autre, sans leur donner aucune poussée : la pierre du premier, sans perdre un point, ni dévier de sa ligne (verticale) viendra au lieu fixé d'avance ; et celle du second se trouvera transportée en arrière. Ce qui ne provient de rien d'autre que de ce que la pierre qui part de la main de celui qui est porté par le navire, et par conséquent se meut selon le mouvement de celui-ci, possède une certaine vertu impressée, que ne possède pas l'autre, celle qui vient de la main de celui qui est en dehors du navire ; et cela bien que les (deux) pierres aient la même gravité et que, si elles partent, — autant que faire se peut —, du même point et ont subi la même poussée, elles aient le même air à traverser. De cette diversité nous ne pourrions donner aucune raison sinon celle que les choses, qui sont rattachées au navire par un lien ou par une telle appartenance, se meuvent avec celui-ci ; et que l'une des pierres, celle qui se meut avec le navire, porte avec elle la vertu du moteur, tandis que l'autre n'y a pas participation. D'où l'on voit très clairement que (la pierre) ne reçoit la vertu d'aller en droite ligne ni du point dont elle part, ni du point où elle va, mais de l'efficace de la vertu qui lui fut imprimée. Et c'est de cela que provient toute la différence. Ce qui me paraît suffisant pour répondre à l'argument précité. »

Bruno n'a sans doute pas tort. Du moins, pas entièrement. La notion de l'*impetus*, vertu ou force qui anime le mobile, et qui produit

trova dentro la nave, che corre, e l'altro fuori di quella, de' quali tanto l'uno, quanto l'altro abbia la mano circa il medesimo punto de l'aria, e da quel medesimo loco nel medesimo tempo ancora l'uno lasci scorrere una pietra, e l'altro un'altra, senza che le domino spinta alcuna, quella del primo, senza perdere punto, nè deviar da la sua linea, verrà al prefisso loco ; e quella del secondo si troverà tralasciata a dietro. Il che non procede da altro, eccetto che la pietra, ch' esce da la mano de l'uno, ch'è sustentato da la nave, e per conseguenza si muove secondo il moto di quella, ha tal virtù impressa, quale non ha l'altra, che procede da la mano di quello, che n'è di fuori, ben che le pietre abbino medesimo gravità, medesimo aria tramezzante, si partano — possibil fia — dal medesimo punto, e patiscano la medesima spinta. De la qual diversità non possiamo apportar altra ragione, eccetto che le cose, che hanno fissione, o simile appartenenze ne la nave, si muovono con quella ; e l'una pietra porta seco la virtù del motore, il quale si muove con la nave, l'altro di quello, che non ha detta partecipazione. Da questo manifestamente si vede, che non dal termine del moto, onde si parte, nè dal termine dove va, nè dal mezzo, per cui si muove, prende la virtù d'andar retamente, ma da l'efficacia de la virtù primieramente impressa, da la quale dipende la differenza tutta. E questo mi par che basti aver considerato, quanto a le proposito di Nundiano.

le mouvement (l'*impetus* ou « la vertu impressée pousse, nous dit-il, tant qu'elle dure (1) » ; lorsque l'on jette quelque chose en haut, on imprime au mobile, une légèreté proportionnelle (2), et le milieu ne joue aucun rôle dans ce mouvement, bien qu'il en soit une condition nécessaire, vu que s'il n'y avait pas d'espace (3) où elle pourrait se faire, aucune translation n'eût été possible) suffit, en effet, pour renverser le système de la physique aristotélicienne ; et suffit, en particulier, pour fonder la notion de l'ensemble physique des corps, expliquer leur unité, leur liaison persistante malgré l'absence de contact. Toutefois, pour fonder la physique nouvelle, et même pour servir de substructure à l'astronomie copernicienne, c'est loin d'être suffisant. Ce n'est même pas suffisant pour fonder la physique de Bruno. Car si la physique de l'*impetus* s'accorde, sans doute, avec la distinction, établie par celui-ci, entre le mouvement du navire et celui des corps qui sont dans le navire, elle ne lui est nullement équivalente. Aussi, avant Bruno, aucun des partisans de cette théorie célèbre n'a eu l'idée d'en tirer, pour le navire, les conséquences que Bruno lui fait porter.

Cette distinction — équivalente, en gros, au principe de la relativité du mouvement, — implique, nous l'avons vu, la négation formelle de la théorie aristotélicienne du lieu. Il serait même plus juste de dire qu'elle en procède.

La théorie aristotélicienne du lieu est fondée — nous l'avons dit, mais il convient de le redire — *métaphysiquement* sur la conception du Cosmos, ensemble ordonné d'objets possédant chacun une nature propre ; ensemble dans lequel l'ordonnance (ou la distribution) géométrique (ou spatiale) exprime la différence des « natures » et s'explique par celle-ci ; *physiquement*, elle s'appuie sur la théorie du mouvement « naturel » des corps, c'est-à-dire, sur le fait du mouvement des corps « lourds » vers le « bas » et des corps « légers » vers le « haut » (4).

Or, c'est justement cette base physique, ainsi que ce fondement

1. Giordano BRUNO, *Acrotismus Cameracensis*, art. XXXV (*Opera latina*, v. I, 1, Napoli, 1879, p. 138) : « virtus impressa quandiu durat, tandiu pellat : ut ubique pilam sursum jaciatur, illi levitati proportionale impressit ; ad cuius certe lationis differentiam nihil facit medium, quamvis ad lationem simpliciter sit necessarium, quia, nisi sit spatium per quod feratur, nulla latio esse potest. »

2. C'est cette même doctrine que nous trouvons chez le jeune Galilée. V. plus haut, *A l'aube de la science classique*, p. 56.

3. L'espace de Bruno, comme celui de Benedetti (voir *A l'aube...*, p. 53) est *intervallum* et non *locus* : ce qui révèle une inspiration platonicienne.

4. V. plus haut, *A l'aube de la science classique*, pp. 12 sq.

métaphysique de la doctrine aristotélicienne que Bruno rejette expressément.

La base physique d'abord (1) : « La théorie de la gravité et de la légèreté que l'on trouve chez Aristote, nous dit Bruno, est complètement fautive ; et là-dessus nous affirmons ces propositions très vraies : grave et léger ne se dit pas des corps naturels, naturellement constitués, ni non plus de leurs sphères entières, ni de leurs parties (prises en elles-mêmes), s'il convient au globe terrestre et à tous les astres d'avoir des parties constituées dans le même lieu. »

C'est, on l'a vu, la théorie déjà professée par Copernic. Bruno poursuit donc (2) : « La gravité et la légèreté ne sont rien d'autre que la poussée des parties vers leur lieu, où elles se meuvent, ou se tiennent immobiles..., c'est pourquoi une partie quelconque est reconnue tantôt lourde, tantôt légère ; et cependant là où elle est née et où elle doit être, elle n'est ni lourde ni légère ; il en résulte donc que « lourd » et « léger » est une différence seulement relative, et n'est rien par rapport aux différences locales absolues du monde. C'est pourquoi Platon avait raison de dire dans le *Timée* que dans le ciel il n'y a rien qui soit en haut et rien qui soit en bas puisqu'il est pareil dans toutes ses parties. » Et pour bien marquer que dans le grand débat entre Aristote et Platon — indication très précieuse — il prend contre le premier le parti du dernier, Bruno ajoute : « C'est en vain qu'Aristote essaye de faire des objections là contre. » Comment en serait-il autrement, d'ailleurs, puisque dans la théorie de la pesanteur, c'est Platon, en général, qui a raison, Platon qui dit — toujours dans le *Timée* — que, lourd et léger n'existent pas en tant que *qualités* des corps ; il ne s'y trouve que du plus ou moins lourd ou léger : « plus lourd étant ce qui est (composé) de plus et plus léger (composé) de moins de (parties). »

1. G. BRUNO, *Acrotismus*, art. LXXIV, p. 185. « Disciplina de gravi et levi, quae est apud Aristotelem, prorsus perversa est, pro quo hasce verissimas ponimus propositiones. Grave et leve non dicuntur de corporibus naturalibus, naturaliter constitutis, nec de ipsis integris sphaeris, nec partibus earum : si terreno globo et cuicunque astro constantes in una sede conveniat habere partes. »

2. G. BRUNO, *Acrotismus*, art. LXXX, p. 189 : « Gravitatis et levitatis nihil aliud est praeter appulsum partium ad locum suum, in quo vel moveantur, vel quiescant, et per quod ferri debeant, pro quo quaelibet pars tum gravis tum levis esse intelligitur, quae, ubi nata est, esse degens, neque gravis est neque levis ; relinquitur ergo gravis levisque ratio respectiva tantum, per absolutas enim differentias mundi locales nullum est. Quocirca bene Plato in *Timaeo* dicit : in caelo non esse aliud quidem sursum, aliud vero deorsum, si ex omni parte simile est et undique oppositis pedibus ambulabat unusquisque ipse sibi. Hunc frustra refricat Aristoteles, sicut etiam, cum gravior bene dicebatur in *Timaeo*, esse quod ex pluribus est, levius autem quod ex paucioribus. »

Quant à la base métaphysique ou cosmologique, on sait trop bien pour qu'il faille insister là-dessus, que Bruno, ainsi que nous l'avons dit, a été un des premiers, sinon le premier, à proclamer l'infini de l'espace et à opposer au Cosmos fini de la tradition son Univers infiniment infini ; et à pousser à sa limite logique l'assimilation, timidement esquissée par Copernic, de la terre et des cieux.

« Le monde, nous dit-il (1), que les anciens philosophes disaient être engendré, et, après cela éternel... n'est pas l'Univers, mais seulement cette machine, et les autres machines semblables à celle-ci... »

Ce n'est plus seulement la terre qui est assimilée aux planètes dans un « monde » agrandi mais cependant limité : le soleil lui-même qui, chez Copernic, occupait le centre de l'Univers a perdu sa place privilégiée. Sans doute garde-t-il la position centrale dans *notre* monde ; mais notre monde, le système solaire n'est qu'une « machine » parmi une infinité d'autres « machines » qui remplissent l'infini de l'Univers de Bruno. Aussi le soleil n'est-il pas au « centre » de l'Univers, puisque dans cet Univers infini, où une infinité d'étoiles — d'autres soleils — se meuvent selon les lois éternellement déterminées, il n'y a pas plus de centre que de circonférence. Rien ne limite l'infini de l'espace (2). Rien n'est donc plus ridicule que la tentative d'Aristote de fonder son finitisme cosmologique sur une prétendue analyse ou classement des mouvements. Mouvement vers le haut ! Mouvement vers le bas ! Pour Bruno « haut » et « bas » sont des concepts purement relatifs, aussi relatifs que « droite » et que « gauche ». Tout est à gauche ou à droite de quelque chose, tout est en bas, ou en haut, comme on veut. Quant au mouvement circulaire, « autour du centre », tout point de l'espace peut être pris pour « centre » puisqu'aucun ne l'est réellement ; tous les points de l'espace infini se valent, et tout habitant de chacun des astres peut se croire au centre de l'Univers. Et, partant, immobile.

1. G. BRUNO, *Aeroticismus*, art. LXIII, p. 175 : « Mundus, quem antiqui philosophorum parentes genitum esse dicunt, postmodumque sempiternum, inter quos est Empedocles non est UNIVERSUM, sed haec machina huiusque machinae similes. »

2. G. BRUNO, *Aeroticismus*, art. LXXII, p. 183 : « Certis ergo legibus infinita astra in immenso spatio feruntur, universo uno infinito, immobileque manente : cujus sicut nulla est circumferentia, ita nec ulla forma, et in quo aetheris est finire atque terminare singula : quae non minus apta sunt ad motum (sive per se moveantur per aetherium campum, sive magis secundum deferentis latitudinem), si angularis, quam si sphaericae sint figurae. Nullum interea astrorum, quodcumque et quaecumque sit illud, sive sol, inquam, fuerit, sive tellus, in medio vel in universi circumferentia dicere possis, ubi omnium singula circumquaque infinitum spatium habere convincuntur. Hinc habes, quomodo omnia dicere possis in medio, vel nulla. Apparebit autem omnibus astrorum incolis se universi medium obtinere. »

Tout habitant de chacun des astres... Voilà une idée dangereuse, et que Bruno — et Galilée — expieront durement.

Tout habitant de chacun des astres peut se croire immobile... Mais aucun n'a le droit de le faire. En effet, l'infini de l'Univers de Bruno implique la géométrisation complète de l'espace : plus de « lieux » ni de directions privilégiées (1). Et ceci, à son tour, implique l'indifférence de l'espace, et des corps, par rapport au mouvement (2) et au repos.

L'espace ne résiste pas au mouvement des corps. Pourquoi le ferait-il ? Le passage d'un corps d'un lieu à un autre ne le fait pas passer de « son » lieu à un autre, qui ne serait pas le « sien » : tous les « lieux » sont ses lieux, puisque tous, ils se valent. Et le corps, exactement pour la même raison, ne s'oppose jamais au mouvement ; en effet, il se meut toujours de son lieu en son lieu. Tous les corps possèdent donc la même aptitude au mouvement. Et à l'immobilité, puisqu'étant dans leurs lieux ils ne tendent nulle part (3).

On le voit : c'est l'espace qui est le vrai « lieu » des corps ; c'est le lieu même des « lieux » d'Aristote ; car ceux-ci (les surfaces enveloppantes des corps) sont eux-mêmes dans l'espace de Bruno. L'Univers lui-même a son lieu dans l'espace : vide immense, infini qui sous-tend et reçoit le réel (4).

Les objections des Aristotéliciens concernant l'impossibilité, logique autant que métaphysique, de l'infini, et l'impossibilité physique du vide sont rejetées par Bruno (5). Au contraire, c'est le fini

1. G. BRUNO, *Aeroticismus*, art. LIII, p. 169 : « Quam levi persuasionem motus, ipse movetur et nos movere contendit Aristoteles ! ubi trium suarum latitudinum differentias concludit ex trium magnitudinum seu dimensionum differentia. Nos enim nullum sursum vel deorsum nisi respective intelligimus, neque dicemus unquam principium, unde motus, esse rationem dextrum ad unum quippe situm quod est dextrum ad alium secundum alias loci differentias invenietur, puta sinistrum, ante, supra. Mitto quod, cum infinita sint mundana corpora et infinita mundi dimensio, nec deorsum esse poterit, neque medium, neque sursum. »

2. G. BRUNO, *Aeroticismus*, art. XXXV, p. 138 : « Spacium... nullam ad motum differentiam habet. »

3. G. BRUNO, *Aeroticismus*, art. XXXII, p. 130 : « Minime verum est, quod recta movetur magis mutare locum, quam quod circulo torqueatur. »

4. G. BRUNO, *Aeroticismus*, art. XXXIV, p. 133 : « Vacuum est spatium, in quo tot corpora continentur. Ipsius est unum infinitum, cujus partes ibi tantum sine corpore esse intelligimus, ubi corpora corporibus continguntur et alia moventur intra alia. » *Ibid.*, art. XXXV, p. 140 : « Vacuum vero spacium, in quo corpora continentur, est unum infinitum, cujus partes alicubi sine corpore esse intelliguntur. » *Ibid.*, art. XXXVII, p. 142 : « Vacuum tum separatim quid a corporibus, tum ipsis inibitum, tum unum continuum dicere non formidamus : id enim necesse est. »

5. G. BRUNO, *Aeroticismus*, art. XXVII, pp. 123 : « Infinitum dicimus non solum ut materiam, sed et ut actum. — *Ratio* : Non est materia infinita sine aliqua potentia et actu, sed ubique actus, alicujusque formae participes ; non est enim vacuum sine aere vel alio corpore ; sive vacuum capias ut spacium, sive ut determinans ; non est locus sine locato. »

(le Cosmos limité) d'Aristote qui est inconnaissable, faux et impossible ; et c'est l'infini qui est connu, vrai et même nécessaire (1). L'infini, bien entendu, non pas en puissance, mais en acte, puisque selon Bruno la matière elle-même est partout et toujours en acte. Quant au vide, il est expressément identifié à l'espace qui contient tous les corps ; le vide est un infini, dont les parties sont partout *sous* les corps : sans doute, l'espace vide n'existe pas en fait — sauf là où les corps se touchent ; en fait, c'est l'air, ou l'éther qui remplissent l'espace. Mais cela n'empêche pas que, métaphysiquement et en soi, le vide ne soit autre chose que les corps qui le remplissent : il est le support et le réceptacle (2) nécessaire du plein. Or c'est là le vrai sens du terme « lieu », la vraie réponse que l'on doit donner à la question : « où ? » Où sont les corps ? Dans le vide, répond Bruno, l'espace qui est leur réceptacle commun et qui est le « lieu immobile » où tout est contenu ; lieu immobile parce qu'infini et que l'infini, en tant que tel, ne peut se mouvoir (3). Tout fini, au contraire, est mobile. Aristote affirme que le mouvement présuppose le « lieu » ; et que le vide le rendrait impossible (le mouvement dans le vide serait instantané et posséderait une vitesse infinie). Pas du tout ! lui répond Bruno : ce n'est nullement le « lieu » mais l'espace que le mouvement présuppose ; et le vide, loin de le rendre impossible en est, au contraire, la condition nécessaire : tout mouvement se fait dans le vide, vers le vide, et même à partir du vide (4). En outre, le mouvement dans

1. G. Bruno, *Acrotismus*, art. XXIV, pp. 121 : « Nobis non impossibile est simul infinitum dicere corpus, et locum quendam corporibus esse. » — *Ratio* : Si non superficies, sed spacium quoddam locus est, nullum corpus, neque ulla pars corporis illocata erit, sive maximum, sive minimum, sive finitum sit ipsum, sive infinitum. — *Ibid.*, art. XXVI, p. 122 : « Finitum Aristotelis est ignotum, falsum et impossibile : notum, verum atque necessarium est infinitum plurimum philosophorum : ... Finitum ipsum et terminus universalis est inconveniens, falsus et inpossibilis... » et, plus haut, I, p. 52 le texte de Benedetti.

2. Art. XXX, p. 126 : « *Ratio* : Potuit sane Plato dixisse, materiam esse receptaculum quoddam et locum quoddam receptaculum esse... » Cf. aussi p. 130.

3. G. Bruno, *Acrotismus*, art. XXIII, p. 120 : « *Ratio* : Infinitum, quia infinitum, maxime non movetur, non trepidat : infinitas enim est maxima immobilitatis ratio, ideo minimum sensus, linare dicitur, quia ex sua ratione habet, atque natura limitatem. » *Ibid.*, art. XXXIV, p. 134 : « *Ratio* : Vacuum est, a quo corpora recipiuntur, et in quo corpora continentur : recipiuntur autem ab eo, dum eodem spatio semper immobili permanente (quo nihil fixus esse potest) aer vel aliud ali in ipso cedit. Interim igitur nihil per vacuum ferri intelligitur, quasi ante ibi nihil extiterit, quia aer est ubi nullum aliud corpus sensibile apparet. »

4. G. Bruno, *Acrotismus*, art. XXXV, p. 135 : « Non igitur ullus erit motus, si non si vacuum, omne enim movetur aut e vacuo, aut ad vacuum, aut in vacuo. » ; *ibid.*, art. XXVIII, p. 123 : « Translatio corporum indicat magis locum esse spacium, quam quidcunque aliud. Est igitur receptaculum corporum magnitudinem habentium, ad nullam quattuor causarum reducibile, sed per se quantum causae genus referens. » — *Ratio* : Hoc (spacium) neque elementum est, neque ex elementis, non enim elementa corporea habet, nec incorporea :

le vide ne se fera jamais dans l'instant avec une vitesse infinie (1). Le raisonnement d'Aristote ne vaut rien.

On reste confondu devant la hardiesse, et le radicalisme, de la pensée de Bruno, qui opère une transformation — révolution véritable — de l'image traditionnelle du monde et de la réalité physique. Infinité de l'Univers, unité de la nature, géométrisation de l'espace, négation du lieu, relativité du mouvement : nous sommes tout près de Newton. Le Cosmos médiéval est détruit ; on peut dire qu'il a disparu dans le vide, entraînant avec lui la physique d'Aristote et laissant la place libre pour une « science nouvelle » que Bruno, néanmoins, ne pourra pas fonder.

Qu'est-ce donc qui l'arrêtera sur la route ? Sans doute, c'est tout d'abord l'élan même de sa pensée ; l'inspiration religieuse de celle-ci ; son caractère animiste ; la valeur affective que possède pour lui « l'Univers », la grande chaîne des êtres. Mais aussi c'est le fait, l'expérience, la donnée.

Les corps tombent ; la terre tourne ; les planètes décrivent des cercles autour du soleil. Aristote l'explique ; Bruno, au fond, ne sait pas l'expliquer (2). Et c'est là une source de faiblesse. Car à la physique d'Aristote, il ne suffit pas d'opposer une *métaphysique* ; c'est d'une autre *physique* que l'on a besoin. Sans doute, ce n'est que d'une *métaphysique nouvelle* que la nouvelle physique peut sortir ; mais la *métaphysique* de Bruno, animiste et anti-mathématique ne peut pas l'engendrer : force donc lui est de s'en tenir à l'ancienne physique parisienne (la dynamique de l'*impetus*) ; à celle de Copernic. Aussi voyons-nous — spectacle étrange — cet homme, qu'une profonde intuition métaphysique a porté si loin et si haut, revenir en arrière, trébucher, s'arrêter. L'*impetus*, la force-cause du mouvement, la tendance des Touts à se réunir, le mouvement circulaire naturel aux Touts, le mouvement circulaire naturel aux sphères, les astres dirigés par des âmes (3).

Ne soyons pourtant pas sévères : la pensée abhorre le vide ; une

haud quidem corporea, quia non sensibile : haud incorporea, quia magnitudinem habet. Porro vacuum est, seu spacium, in quo sunt corpora magnitudinem habentia. »

1. G. Bruno, *Acrotismus*, art. XXXV, p. 136 : « Non necessarium est moveri in instanti quod movetur per vacuum » ; *ibid.*, p. 137 : « In his omnibus quod ad motum spectat, vacuum nihil conducere videtur, cui non motum vel quietem sed locum et continentiam tantum est administrare. »

2. Ainsi (*Acrotismus*, art. LXV) explique-t-il la possibilité du mouvement circulaire des planètes par le fait que les astres n'ont pas de poids : « Tellures superiores igitur non sunt graves neque leves, sicut neque terra ista, ubi mole sua in regione infinita consistit. »

3. *Ibid.*, art. LXXIV, pp. 176, sq.

théorie scientifique ne disparaît que si elle est remplacée par une autre. Or cette autre, c'est Newton seulement qui la fera.

3. Tycho Brahe

Les raisonnements que Bruno oppose aux arguments aristotéliens nous paraissent, à nous, assez convaincants. Il faut dire, cependant, qu'à son époque, ils n'ont convaincu personne. Ni Tycho Brahe qui, dans sa polémique avec Rothmann, présente tranquillement les vieux arguments aristotéliens — en les habillant, sans doute, à la moderne (1) — ; ni même Kepler, qui, tout en subissant l'influence de Bruno, se croit forcé, pour les combattre, de revenir aux arguments de Copernic, en les étoffant par une conception nouvelle ou, si l'on préfère, en substituant à la conception mythique de Copernic — celle de la communauté de nature — une conception physique, celle de la force d'attraction.

Les objections de Tycho Brahe contre le mouvement de la terre — et contre les arguments de Copernic — ne sont pas entièrement négligeables. Au fond, il a tout à fait raison de nous dire que la notion du mouvement « naturel » (comme opposé au « violent ») admet difficilement qu'un corps puisse être animé de deux mouvements de ce genre ; et d'ajouter que ces mouvements devraient, nécessairement, se gêner mutuellement. De même il a raison de taxer de « peu probable » l'explication, donnée par Copernic, du mouvement des corps séparés (nuages, air, etc.). Il est curieux cependant que, sans remarquer qu'il s'agit d'une proposition commune à Copernic et à Aristote, il aille jusqu'à nier formellement le principe-axiome sur lequel elle se fonde : il est faux, nous dit-il, que la partie séparée d'un Tout en conserve la vertu. Bien au contraire, on peut dire qu'elle ne le fait jamais (2).

Tycho a été moins heureusement inspiré en reprenant l'objection classique du corps tombant du haut d'une très haute tour et du corps lancé verticalement en l'air (3). Mais l'argument lui plaît. Très justement il y voit l'objection la plus forte des aristotéliens (et Tycho, malgré ses innovations astronomiques, reste, en phy-

sique, un aristotélien). Aussi se refuse-t-il à admettre l'argumentation de Bruno (1). « Si certains croient, écrit-il à Rothmann, qu'un boulet que l'on lance vers le haut à l'intérieur du navire en marche, revient à la même place que si le navire était en repos, ils se trompent lourdement. En fait le boulet restera en arrière d'autant plus que le navire se déplacera plus rapidement. »

L'obstination de Tycho nous paraît, peut-être, ne pas témoigner en sa faveur. Mais soyons justes. Rendons-nous compte de ce que, du point de vue d'un aristotélien, l'assertion de Bruno avait d'in vraisemblable (2).

Il ne suffisait pas, cependant, de rejeter les raisonnements de Bruno, ou d'en appeler à l'expérience. Aussi Tycho s'emploie-t-il à moderniser l'argumentation classique en y introduisant une invention récente : le canon (3).

« Or, que se passerait-il, je te le demande, écrit Tycho Brahe, si d'un grand canon, on tirait un boulet vers l'Orient... ; et puis du même canon, et du même lieu, on en tirait un autre... vers l'Occident ? Peut-on croire que l'un et l'autre... franchiraient sur la terre, des espaces égaux ? »

Tycho Brahe insinue que, pour accomplir cet exploit, les boulets

1. *Astronomicarum Epistolarum liber*, *ibid.*

2. En effet, représentons-nous un navire amarré au-dessous d'un pont : il est clair qu'un boulet tombant du haut de ce pont (d'un point A) touchera le navire dans un point situé précisément au-dessous du point de départ du boulet (dans le point B), de même qu'un boulet qu'on laisse tomber du haut du mât d'un navire en repos touchera le pont du navire au pied de ce mât. Mais représentons-nous maintenant le navire en mouvement : il est parfaitement évident que le boulet partant du point A ne pourra jamais toucher le pont du navire au point B, point qui était au-dessous de A au moment du départ du boulet : en effet, pendant la durée de la chute du boulet, le navire, et donc le point B, se sont éloignés. Pour nous-mêmes admettre qu'il en sera autrement du boulet tombant du haut du mât ? L'aristotélien ne pourra pas le faire. Supposons, en effet, que le mât du navire soit aussi haut que le pont sous lequel il est en train de passer ; supposons, ainsi que le fait Bruno, qu'au même moment, au moment précis où le sommet du mât touche le point en question, nous laissons tomber deux boulets : l'un du pont, l'autre du mât. L'aristotélien n'admettra jamais que de ces deux boulets, tombant en chute libre, au même moment, et du même endroit, l'un tombe droit en bas, et dans l'eau, et l'autre, décrivant une courbe curieuse, aboutisse au pied même du mât. Quelle semblance y a-t-il qu'il en soit ainsi ? Quelle raison pourrait-on avoir pour admettre une telle différence ? Ne serait-ce pas admettre que le boulet « sait » où il doit aller et « se souvient » de son association — passée — avec le navire et son mât ? Une conception qui, à l'aristotélien, paraîtrait — à bon droit — anthropomorphique et mythique à l'excès.

3. TYCHONIS BRAHE, *Epistolarum Astronomicarum liber*, p. 189 ; éd. Dreyer, p. 219. « Et quid, quæso, fiet, si Tormento Bombardico majori versus Ortum directo, explodatur globus ferreus, sive plumbeus, sive etiam lapideus, atq: ex eo ipso versus Occasum in eodem loco disposito, idque utrinque ad pariles cum horizonte angulos respectu prioris inclinationis elevato ? An fieri posse putandum, ut globus utrinque eadem pulveris quantitate et vi emissus tantundem in terra periret spatii, ob naturalem motus scientiam qua globus quilibet et terrestribus formatus totam terram concomitaretur ? »

1. C'est TYCHO BRAHE qui a inventé et lancé dans la discussion les fameux arguments du tir du canon qui deviendront tellement populaires dans la suite.

2. Cf. TYCHONIS BRAHE *Astronomicarum Epistolarum liber*, Uranienburgi, MDXCII, p. 188 sq. ; éd. Dreyer, Hafniae, 1919, p. 218 sq.

3. *Astronomicarum Epistolarum liber*, p. 188, éd. Dreyer, p. 218.

en question devraient en quelque sorte, savoir ce qu'ils ont à faire, savoir, notamment, qu'ils doivent se conformer à la théorie (copernicienne) selon laquelle tout objet « terrestre » doit suivre la terre dans son mouvement. Cette théorie, Tycho ne l'accepte pas. Il estime, en outre, que même si on l'admettait pour les corps qui ne sont animés d'aucun mouvement propre, il serait impossible de l'appliquer au cas des boulets de canon, et même à celui des corps tombant librement. Ce cas, du point de vue de Tycho, est tout différent des autres : le boulet possède un mouvement violent et extrêmement rapide : comment ce mouvement pourrait-il coexister avec le mouvement « naturel » de rotation, sans le gêner, et aussi sans être gêné par lui ? — En effet, du point de vue de la physique prégaliléenne, nous l'avons dit maintes fois, rien n'est moins vraisemblable que l'indépendance relative des mouvements. L'admettre équivaldrait à admettre une cause ne produisant pas d'effet. Aussi Tycho Brahe poursuit-il (1), en nous expliquant combien il serait étrange que « le mouvement extrêmement violent causé par la poudre de canon à l'encontre de la nature » et le mouvement naturel et extrêmement rapide de la terre puissent se combiner entre eux sans résistance. En effet, selon Copernic et Bruno (2), « dans le boulet tiré, il y aurait trois mouvements : l'un par lequel celui-ci, en raison de sa gravité, tend en ligne droite vers le centre de la terre, un autre par lequel, en vertu de sa communauté de nature avec la terre il imiterait, sans se lasser, la rotation de celle-ci, et encore un troisième produit... par la violence de... l'explosion de la poudre... violence qui force le boulet à aller d'un élan très rapide là où, selon sa propre nature, il ne veut aucunement aller. Or ce mouvement, extrêmement violent, gêne l'autre, à savoir celui par lequel les graves, nécessaire-

1. Tycho veut dire que le mouvement circulaire du boulet (mouvement qu'il exécute en suivant la terre), bien que naturel, se rapproche, par sa rapidité, du mouvement violent produit par l'explosion de la poudre, et devrait donc avoir des effets analogues à ceux de celui-ci : à savoir il devrait empêcher le boulet de tomber à terre.

2. TYCHO BRAHE, *op. cit.*, p. 189/219 : « Ubi igitur manebit violentissimus ille motus et pulvere Bombardico præter Naturam concitatus, qui sane alteri illi naturali, quo Terra in gyrum verti deberet, ut admodum pernici, quodammodo aemulus est ? Sunt igitur iam in globo sic emissio tres motus : Vnus quo is ratione gravitatis per lineam rectam centrum Terrae peteret : Alter quo per consensum, totius Terrae convolutionem ad amussim imitaretur : Tertius vero ille, qui fit per violentiam, quam vis Nitri sulphurosata, et carbonibus inflammata, instar Tonitru et Fulminis, cogit globum rapidissimo impetu eo pergere, quo minime suapte Natura vellet. Cumque is violentissimus motus alterum, quo gravia necessario, et naturaliter recta descendunt, adeo impediat, ut nisi post longe emensum spatium, imo vix quidem antequam violentia illa se remisisset, atque in quietem paulatim desierit, Terram contingere possit, quidnam quaeso, obtinebit secundus ille motus, si et is naturalis esset (in circuitum videlicet convolutio) privilegii, ut in Aëre etiam tam tenui per violentissimam

ment et naturellement, descendent en ligne droite ; aussi c'est seulement après avoir franchi un grand espace, et même seulement après que ladite violence s'épuise et revient petit à petit au repos, que (ledit boulet) peut toucher terre : je demande donc quel sera l'effet de ce second mouvement (à savoir de la rotation en cercle)... et comment il se fait qu'il ne soit absolument pas gêné par cette concitation très violente faite contre la Nature ? Car l'expérience nous montre que l'obus de même grandeur et poids, lancé dans l'un et dans l'autre sens par une même quantité de poudre de canon de même force, franchit à peu près le même espace de la surface terrestre, autant vers l'Orient que vers l'Occident, s'il est, comme je l'ai dit, tiré avec la même inclinaison du canon, et pourvu que l'air soit assez tranquille et qu'il n'y ait pas de cause accidentelle favorisant ou empêchant cette impulsion ; or, cependant, par suite du mouvement diurne extrêmement rapide de la terre (s'il y en avait un), l'obus tiré vers l'Orient ne pourrait jamais franchir autant d'espace sur la surface de la terre, la terre de son mouvement (propre) venant au-devant de lui, que celui qui de la même manière serait lancé vers l'Occident... »

Tycho Brahe estime donc, en bon aristotélicien, que le mouvement violent de l'obus l'empêche de tomber à terre ; il pense que ce mouvement supprime le mouvement de la chute ; non parce qu'il porte l'obus vers le haut, mais simplement parce qu'il est présent dans l'obus, et qu'il est plus rapide — plus fort — que celui qui se porte vers le centre de la terre. Aussi ne peut-il comprendre comment il pourrait se faire qu'un obus animé — selon Copernic — d'un mouvement naturel *extrêmement rapide* subisse, comme si de rien n'était, l'influence du mouvement violent. Tycho pense que si, effectivement, les corps terrestres étaient animés

illam concitationem, contra Naturam factam, nihil prorsus impediatur ! Experientia enim testatur, quod globus eiusdem magnitudinis et ponderis, eo, quo diximus modo, vice versa vi pulveris bombardici ejusdem quantitatis, et validitatis emissus, idem proxime spatium de superficie Terrae post se relinquit, tam versus Ortum, pari, ut dixi, ejusdem Tormenti inclinatione, quam versus Occasum eiaculatus, Aëre presertim satis tranquillo existente, et hanc, vel illam impulsionem nihil per accidens promovente, vel retardante : cum tamen ob Terrae motum diurnum (si quis esset) concitatissimum, globus versus Ortum emissus nequaquam tantum spatii de superficie Terrae emetiri posset, praeveniente nonnihil suo motu Terra, atque is, qui versus Occasum pariformiter explosus est, Terra tunc aliquid de superficie, motu proprio subrahente, et ob id spatium interceptum augente. Nam ut dilucidius haec intelligantur : e maxima Bombarda quam duplicem Cartoam vocant, globus ferreus, ad obliquum emissus, intra duo minuta temporis vix motu fessus Terram pertingit quibus viginti millia passuum majorum motu diurno in parallelo Germaniae convolvitur deberet, si motioni diurnae obnoxia esset Tellus. »

de ce mouvement, plus rapide que celui du boulet tiré par le canon, les deux mouvements se gêneraient. L'un supprimerait l'autre, et tous les boulets voleraient toujours dans la même direction. Alors, si la terre tournait, ils parcourraient, *par rapport à la terre mobile*, des distances différentes dans les deux directions. Or, comme il n'en est rien, c'est que le mouvement naturel auquel participeraient les obus n'existe pas ; le boulet ne possède que le mouvement violent qui l'anime.

Ne nous moquons pas de Tycho. Au fond, lorsqu'il nous dit que le mouvement de la terre est impossible à admettre jusqu'à ce que quelqu'un, par des arguments nouveaux et plus forts, ne montre clairement que le mouvement violent n'est ni empêché, ni même aucunement influencé par les mouvements naturels (de la chute et de la rotation terrestre), il a parfaitement raison (1). Aussi verrons-nous Galilée — après Kepler — s'en occuper très longuement.

4. Kepler

La contre-argumentation de Kepler présente un intérêt tout particulier. Non pas qu'elle apporte une solution définitive du problème. Mais elle nous montre, une fois de plus, ce qu'il y avait de nouveau et d'insolite dans la pensée d'un Bruno, ou d'un Galilée ; elle nous montre la puissance des obstacles qu'ils ont dû vaincre ; elle nous découvre, enfin, la source dernière — philosophique — des difficultés.

C'est, en effet, de philosophie, d'ontologie, de métaphysique qu'il s'agit dans tout ce débat. Non de science pure. Ce sont des raisons philosophiques, bien plus que des raisons purement scientifiques, qui ont arrêté Kepler — à qui nous devons le terme même d'*inertie* (2) — et l'ont empêché de poser les fondements de la dynamique nouvelle.

1. TYCHONIS BRAHE, *Astronomicarum Epistolarum liber*, p. 189/219 : « Donec, vel quispiam alius invictis rationibus liquido ostenderit, qui fieri possit, ut supra modum violentus ille, de quo dixi, motus, a duobus istis quos ille assumit, naturalibus, omnino nihil impediatur, vel etiam hos nullo vestigio inturbetur... »

2. L'*inertie* keplerienne est, on le sait bien, quelque chose de très différent de l'*inertie* de la physique classique. L'*inertie* keplerienne exprime la résistance du corps grave contre le mouvement (et non pas contre sa mise en mouvement ou accélération, sa tendance naturelle au repos. Aussi — grâce justement à l'*inertie* — tout mouvement implique-t-il un moteur, et, privé de celui-ci, finit par s'user et disparaître. La persistance éternelle d'un mouvement — quel qu'il soit — est inconcevable pour Kepler. L'*inertie*, résistance interne au mouvement, joue dans la physique de Kepler un rôle analogue à celui que la résistance externe du milieu joue dans celle d'Aristote : ainsi Kepler estime que si les corps n'étaient pas doués d'*inertie* le mouvement serait instantané. Cf. *plus bas*, p. 27, n. 3.

Du point de vue strictement scientifique, Kepler est sans doute le premier esprit de son temps. N'a-t-il pas uni à un génie mathématique de tout premier ordre une hardiesse de pensée sans égale, hardiesse qui lui a permis de libérer l'astronomie, et par là même la physique et la mécanique, de la hantise de la circularité ? N'a-t-il pas écrit une *Physique céleste* — assemblage de termes aussi surprenant pour son époque que celui de l'*Evolution créatrice* l'a été pour la nôtre — et proclamé, à la suite de Platon, le règne de la géométrie dans le monde matériel (1) ? Et pourtant, philosophiquement, il est plus près d'Aristote qu'il ne l'est de Descartes ou de Galilée. Philosophiquement, il est encore un homme du moyen âge. Pour lui, mouvement et repos s'opposent comme lumière et ténèbres ; comme être et privation d'être (2). Aussi a-t-il besoin d'une cause pour expliquer l'existence et la persistance du mouvement ; il n'en a pas besoin pour expliquer le repos ; ni l'arrêt (3).

Sans doute, Kepler abandonne-t-il la conception classique des « lieux naturels » des corps. Le « lieu naturel » du corps keplerien, c'est l'Espace. Et l'espace keplerien — comme celui de Bruno — est déjà assez homogène pour que chaque « lieu » y devienne pour tout corps un « lieu naturel ». Aussi reste-t-il dans ce « lieu » naturel tant qu'une force ne vient pas l'en chasser. Il n'en part pas lui-même, car il est, pour Kepler, *inerte* et privé de tendances naturelles. Mais aussi : dans chaque lieu il s'arrête de lui-même lorsqu'une force ne le pousse ou ne le porte pas ailleurs. Cela aussi, c'est un fait d'*inertie*. Ainsi, pour que les nuages, les oiseaux, les pierres lâchées ou lancées suivent la terre dans son mouvement diurne, il faut, pour Kepler, qu'ils soient entraînés avec ou par elle ou, si l'on préfère, qu'ils

1. KEPLER, *De Fundamentis Astrologiae certioris*, Thesis XX (*Opera*, éd. Frisch, v. I, p. 423) : « Ubi materia, ibi geometria » : *Mysterium cosmographicum*, note de 1621 (*Opera*, v. I, p. 134) : « Omnis numerorum nobilitas (quam praecipue admiratur Theologia Pythagorica rebusque divinis comparat) est primitus a geometria. » Cf. *Apologia adversus Robertum de Fluctibus* (*Opera*, vol. V, p. 421 sq.).

2. V. *plus bas*, pp. 31 sq.

3. L'arrêt s'explique justement par l'*inertie* naturelle des corps. L'*inertie* (cf. *Opera*, éd. Frisch, vol. II, p. 674 ; III, pp. 305, 374, 459 ; VI, pp. 167, 174, 181) est, pour Kepler, une propriété absolument générale de la matière, suite de son « impuissance ». Aussi, la matière étant une dans l'Univers, attribue-t-il cette inertie aux corps célestes, qui, comme tout le reste, doivent être mus par une force active (que Kepler fait émaner du soleil) et qui s'arrêteraient s'ils cessaient de l'être. Cf. *Epitome Astronomiae Copernicanae*, I, IV, p. 2 (*Opera*, VI, p. 312) : « Si nulla esset inertia in materia globi celestis, quae sit ei velut quoddam pondus, nulla etiam opus esset virtute ad globum movendum : et posita vel minima virtute ad movendum, jam causa nulla esset, quin globus in momento verteretur. Jam vero cum globorum conversiones fiant in certo tempore, quod in alio planeta est longius, in alio brevius, hinc apparet, inertiam materiae non esse ad virtutem motricem ut nihil ad aliud. »

forment, avec elle, un système ou une unité réelle (1). Or, grâce à la force magnétique d'attraction, cette unité physique existe effectivement : la pierre, les nuages, l'air se trouvent rattachés à la terre, liés à elle comme par des liens, ou des chaînes. C'est là l'explication du jet vertical, et d'autres phénomènes que, ne connaissant pas cette force, ne pouvaient comprendre, ou expliquer, Tycho et ses partisans (2). Ceux-ci, en effet, ne tiennent pas compte de l'unité réelle que forme la terre avec tout ce qui la touche et lui appartient. Ils se représentent les choses volant dans l'air comme séparées de l'action (magnétique) exercée sur eux par la terre ; ou, si l'on veut, ils se représentent la situation physique des choses proches comme identique à celle des objets très éloignés. En effet (3), « si la vertu tractrice de la terre, ainsi qu'il a été dit, s'étend très loin vers le haut, il est vrai néanmoins que, si une pierre en était éloignée d'une distance de l'ordre du diamètre de la terre, et que la terre soit mue, cette pierre ne la suivrait pas simplement, mais ses forces de résistance se mélangeraient avec les forces tractrices de la terre, et ainsi elle se déroberait quelque peu du *raptus* de la terre ». Kepler estime que « le mouvement violent soustrairait quelque peu les projectiles du

1. L'attraction remplace chez Kepler l'unité ou communauté de nature qu'avait invoquée Copernic.

2. En effet, Tycho voyait dans la gravité une *tendance des corps graves* à aller vers un lieu déterminé : pour Kepler, la gravité est une interaction entre le grave et la terre et même une passion beaucoup plus qu'une action : cf. KEPLER, *Astronomia Nova AITIOAOΓHTOΣ seu Physica Caelestis, tradita commentariis de motibus stellae Martis*. Introduction (*Opera*, éd. Frisch, v. III, p. 151) : « Vera igitur doctrina de gravitate his innititur axiomatibus : omnis substantia corporea, quatenus corporea, apta nata est quiescere omni loco, in quo solitaria ponitur extra orbem virtutis cognati corporis.

Gravitas est affectio corporea mutua intercognata corpora ad unionem seu conjunctionem (quo rerum ordine est et facultas magnetica), ut multo magis Terra trahat lapidem, quam lapis petit Terram.

Gravia (si maxime Terram in centro mundi collocemus) non feruntur ad centrum mundi, ut ad centrum mundi, sed ut ad centrum rotundi cognati corporis, Telluris scilicet. Itaque ubicunque collocetur seu quocunque transportetur Tellus facultate sua animali, semper ad illam feruntur gravia. Si Terra non esset rotunda, gravia non undique ferrentur recta ad medium Terrae punctum, sed ferrentur ad puncta diversa a lateribus diversis.

Si duo lapides in aliquo loco mundi collocarentur propinqui invicem extra orbem virtutis tertii cognati corporis, illi lapides ad similitudinem duorum magneticorum corporum coirent loco intermedio, quilibet accedens ad alterum tanto intervallo, quanta est alterius moles in comparatione. » Cf. *Lettre à Fabricius*, du 11 oct. 1605 (*Opera*, v. III, p. 459) et v. III, p. 511. Il est clair que dans cette conception il n'y a pas de place pour la *légèreté* : les corps légers ne sont que des *minus gravia*. Cf. v. III, p. 152.

3. KEPLER, *Astronomia Nova AITIOAOΓHTOΣ seu Physica Caelestis, tradita commentariis de motibus stellae Martis*. Introduction (*Opera*, v. III, p. 152) : « Elsi virtus tractoria Terrae, ut dictum, porrigitur longissime sursum, tamen si lapis aliquis tanto intervallo abesset, quod fieret ad diametrum Telluris sensibile, verum est, Terra mota lapidem talem non plane secuturum, sed suas resistendi vires permixturum cum viribus Terrae tractoris, atque ita se explicaturum nonnihil a raptu illo Telluris : non secus atque motus violentus projectilia

raptus de la terre, de telle façon que, tantôt — projetés vers l'Orient — ils la précéderaient, tantôt — projetés vers l'Occident — ils retarderaient sur elle ; et ainsi, contraints par la force, ils quitteraient le lieu d'où ils sont projetés ; et le *raptus* de la terre ne peut aucunement empêcher cette violence dans les solides, tant que le mouvement violent est dans sa force. Mais comme aucun projectile ne s'éloigne de la surface de la terre d'une cent millième partie du diamètre de la terre, et comme même les nuages et les fumées qui reçoivent le minimum de la matière terrestre ne s'élèvent pas à une millième partie du rayon (terrestre), la résistance au mouvement et l'inclination au repos des nuages, des fumées et des choses qui sont lancées perpendiculairement en l'air, n'y peut rien ; je dis qu'elle ne peut rien pour empêcher ce *raptus*, parce que la force de cette résistance n'est aucunement comparable (1) à celle du *raptus*. Aussi, ce qui est jeté perpendiculairement en l'air retombera dans son lieu, n'y étant nullement empêché par le mouvement de la terre, laquelle ne peut aucunement s'écarter de dessous, mais entraîne avec elle toutes les choses volant dans l'air, qui ne lui sont pas moins rattachées par la force magnétique que si elles lui étaient conjointes ».

« Or si ces propositions sont comprises et soigneusement pesées par l'esprit, non seulement s'évanouira l'absurdité et l'impossibilité physique, faussement imaginée, du mouvement de la terre, mais encore on verra clairement ce qu'il faut répondre à l'objection physique, de quelque manière qu'elle soit formulée. »

nonnihil a raptu Telluris explicat, ut vel praecurrant, projecta versus orientem, vel destituantur, si in occidentem projiciantur : atque ita locum suum, a quo projecta sunt, vi compulsa deserant : neque raptus Terrae hanc violentiam in solidum impedire possit, quam diu violentus motus in suo vigore est.

Sed quia nullum projectile centies millesimam diametri Terrae partem a superficie Terrae separatur, ipsaeque adeo nubes atque fumi, quae minimum terrestris materiae obtinent, non millesima semidiametri parte evolant in altum : nihil igitur potest nubium, fumorum et eorum, quae perpendiculairement in altum projiciuntur, resistentia et naturalis ad quietem inclinatio, nihil inquam potest ad impediendum hunc sui raptum ; utpote ad quem haec resistentia in nulla proportionem est. Itaque quod perpendiculairement sursum est projectum, recidet in locum suum, nihil impeditum motu Telluris, ut quae subduci non potest, sed una rapit in aere volantia, vi magnetica sibi non minus concatenata, quam si corpora illa contingeret.

Hisce propositionibus mente comprehensis et diligenter trutinatis, non tantum evanescit absurditas et falso imaginata impossibilitas physica motus Terrae, sed etiam patebit, quid ad objecta physica quomodocunque informata sit respondendum. »

1. C'est la *force* du *raptus* qui explique l'absence, ou mieux, le peu d'importance du retard. Il s'ensuit que, s'il n'y avait pas d'attraction ou, mieux, de traction du corps grave par la terre, Aristote et Tycho auraient eu raison. Il s'ensuit, de plus, que Bruno a tort : le cas du navire est très différent de celui de la terre, v. plus bas p. 39.

Kepler estime que sa doctrine à lui ne diffère que par la forme de celle de Copernic (1).

« Sans doute plaît-il davantage à Copernic d'informer la terre et toutes les choses terrestres, en tant qu'issues de la Terre, par une même âme motrice qui, en faisant tourner la terre, son corps, fait tourner également les particules issues de son corps... » Mais, selon Kepler, Copernic n'attribue une âme à la terre que pour permettre à « la force de cette âme, diffusée dans toutes les particules, d'agir dans le mouvement violent ». Aussi la doctrine est-elle, selon Kepler « surabondante » : il est inutile de poser une faculté animale là où une faculté corporelle suffit. Kepler dira donc « que la force de la faculté corporelle (que nous appelons gravité ou force magnétique) se fait valoir dans les mouvements corporels en entraînant les corps attirés par la terre et en les faisant ainsi participer au mouvement de celle-ci. »

Sans doute, cette faculté corporelle vaut mieux que l'animale, dont, à vrai dire, Copernic n'a jamais soufflé mot. C'est Kepler lui-même qui jadis avait cru aux âmes des planètes, et il est très curieux de voir que, pour lui, la « nature » copernicienne et l'âme ne font qu'un. Mais les gens ne manquaient pas qui pensaient que l'une ne valait pas mieux que l'autre et qui étaient incapables de comprendre et de « digérer » les propositions kepleriennes.

Aussi se voit-il obligé de revenir à la charge et de traiter *ex professo* des objections de Tycho.

L'ami de Kepler, Fabricius (2), dans une lettre du 26 janvier 1605, pose la question suivante, concernant un passage de Tycho dans sa collection de *Lettres* (3), passage dans lequel Tycho rapporte les raisons par lesquelles il avait réfuté Rothmann qui, lui, défendait Copernic.

1. KEPLER, *op. cit.*, p. 152 : « Etsi Copernico magis placet, Terram et terrena omnia, licet avulsa a Terra, una et eadem anima motrici informari, quae Terram, corpus suum, rotans rotet una particulas istas a corpore suo avulsas : ut sic per motus violentos vis fiat huic animae per omnes particulas diffusae, quemadmodum ego dico, vim fieri facultati corporeae (quam gravitatem dicimus seu magneticam) itidem per motus violentos. Sufficit tamen pro solutis a Terra facultas ista corporea ; abundat illa animalis. »

2. KEPLER, *In commentaria de Motibus Maris*, n. 21 (*Opera*, éd. Frisch, v. III, p. 458) : « D. Fabricius in epistola (d. d. 26 jan. 1605) hanc movit quaestionem, spectans locum Tychonis in Epistolarum collectione (p. 189), ubi Tycho refert, quibus rationibus innixus ipse Rothmannum refutaverit Copernicum defendentem. Fabricii verba haec sunt : qua ratione tu Copernico addictus argumentum Tychonis de explosione tormenti solvere vis ? Certe si versus ortum cartrana explodatur, fiet ut ob celeriores motus Terrae emissus globus versus occasum potius locum quietis inveniat, tantum abest ut versus ortum proferatur. Herculeum certe est argumentum adversus motum Terrae diurnum, quo destructo cetera facile cadunt. »

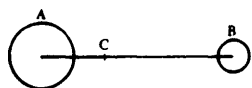
3. Cité plus haut, p. 24, n. 2.

Voici ce que dit Fabricius : « Par quel raisonnement veux-tu, partisan de Copernic, répondre à l'argument de Tycho sur le tir du canon ? Certes, si le canon tire vers l'Orient, le boulet, grâce au mouvement plus rapide de la terre, trouvera son lieu de repos plutôt vers l'Occident, et ne pourra pas du tout se mouvoir vers l'Orient. Cet argument possède une force herculéenne contre le mouvement diurne de la terre. Or celui-ci étant détruit, le reste tombe facilement ». Sans doute. Mais, répond Kepler (1), « ... concernant l'argument de Tycho, qui combat le mouvement de la terre à coup de canon, tu me demandes la même chose que, récemment, le chancelier de Bavière. Aussi je réponds la même chose : les mouvements se combinent, et l'un n'entrave, ni n'abolit l'autre. La terre se meut de l'Occident en Orient, et avec elle toute la masse de l'air qui l'entoure, et tout grave, qu'il soit posé sur la terre ou suspendu dans l'air. En effet, pourquoi pas le grave suspendu dans l'air ? Qu'est-ce qui l'empêche ? Serait-ce la gravité ? Mais celle-ci tend vers le centre de la terre, vers le centre de la face de la terre qui est opposée à la pierre ; et la terre, par une force magnétique, attire la pierre plus fortement que si elle lui était attachée par les liens de cent chaînes et de nerfs le plus fortement tendus. Est-ce l'air qui doit être traversé qui l'empêcherait ? Mais lui-même, il suit la terre, du moins dans cette proximité. Qu'est-ce donc qui l'empêche ? Tu ne peux rien invoquer. Or donc, moi je vais te montrer ce qui empêche (la pierre de suivre le mouvement de la terre) ; mais en même temps je répondrai (à ces objections).

« Tout corps matériel est, en lui-même et par nature, immobile et destiné au repos, dans quelque lieu qu'il soit. Car le repos, de même que les ténèbres, est une espèce de privation, qui n'exige pas de création, mais appartient aux choses créées comme une cer-

1. KEPLER, *op. cit.*, p. 458 sq. « De objectione Tychonis, qui tormento impugnat motum Terrae, rogas eadem quae Cancellarius Bavariae nuperrime. Respondeo eadem, misceri motus, non impugnari aut aboleri alterum ab altero. Terra movetur ab occasu in ortum, cum ea omnis copia aeris circumfusi, omne grave, sive jacens sive pendens. Nam cur non et pendens quid impedit ? Num gravitas ? At ea tendit ad centrum Terrae, ad centrum faciei Telluris, quae lapidi est exposita, quod vi magnetica lapidem attrahit fortius quam si centum catenarum nervorum tensissimorum vinculis quaquaversum esset annexus Telluri. Nam igitur impedit ipsum aer, qui est trajiciendus ? At Terram et ipse sequitur, saltem in hac propinquitate. Quid igitur impedit ? Nihil tu potes ostendere. Ergo quid impediatur ostendem, sed simul et respondebo. Quodcunque materiatum corpus se ipso aptum natum est quiescere, quocunque loco reponitur. Nam quies ut tenebrae privatio quaedam est, non indigens creatione, sed creatis adhaerens, ut nullitas aliqua : motus vicissim est positivum quippiam ut lux. Itaque si lapis loco movetur, id non facit ut materiatum quippiam, sed ut vel extrinsecus impulsus vel attractus vel intrinsecus facultate quadam

taine trace du néant ; le mouvement, par contre, est quelque chose de positif comme la lumière. Ainsi, si la pierre se meut localement, elle ne le fait pas en tant qu'elle est matérielle, mais en tant qu'elle [est corps, c'est-à-dire, elle se meut soit en tant qu'elle] est poussée ou attirée extrinsèquement par quelque chose, soit en tant qu'elle est douée intrinsèquement d'une certaine faculté de tendre vers quelque chose. Les aristotéliens disent qu'elle tend vers le centre du monde. Ce que je nie, car ainsi elle serait véritablement empêchée de suivre le mouvement de la terre. Ils allèguent, je sais bien, leurs preuves futiles, fondées sur la nature contraire du feu, ce qui est une pétition de principe. Car le feu ne recherche pas le ciel, mais fuit la terre (1). C'est pourquoi je ne définis la gravité, c'est-à-dire



cette force qui meut la pierre intrinsèquement, que comme une force magnétique réunissant les semblables, qui est numériquement la même dans le grand et le petit corps, et qui se divise selon les masses

des corps et prend les mêmes dimensions que les corps. Ainsi, si une pierre était placée près de la terre, une pierre dont la masse aurait des dimensions comparables à celles de la terre et que les deux soient libres de tout autre mouvement : alors, dis-je, il adviendrait que non seulement la pierre irait vers la terre, mais aussi la terre vers la pierre, et elles diviseraient l'espace qui les sépare dans la proportion inverse de leurs poids ; que le rapport des masses soit comme A et B, celui de BC à CA sera le même, et C, sera le lieu où ils s'uniront ; c'est, de toute évidence, la proportion que suivent les bras de la balance.

praeditus ad aliquid respiciente. Hanc dicunt Aristotelici appetentem centri mundi. Nego, sic enim vere impediretur sequi Terrae motum. Prohent, scio, futiles ipsorum probationes ab ignis natura contrarii, quae est *petitio principii*. Nam ignis non petit caelum, sed *fugit* Terram... Ergo aliter ego definio gravitatem, seu illam vim, quae intrinsece movet lapidem, vim magneticam coagmentantem similia, quae eadem numero est in magno et parvo corpore, et dividitur per moles corporum accipitque dimensiones easdem cum corpore. Itaque si lapis aliquis esset pone Terram positus in notabili aliqua proportionem magnitudinis ad molem Telluris, et casus daretur, utrumque liberum esse ab omni alio motu : tunc ego lico futurum, ut non tantum lapis ad Terram eat, sed etiam Terra ad lapidem, dividantque spatium interjectum in eversa proportionem ponderum, sitque ut A ad B causa molis, sic BC ad CA et C locus ubi jungentur, plane ea proportionem qua statera utitur. »

1. On voit à quel point Kepler est aristotélien, le repos est une privation, le mouvement est quelque chose de positif ! Le feu fuit la terre : même doctrine que chez Copernic ou le jeune Galilée (cf. *supra*, I, pp. 30 sq., 65 sq.). Mais la notion de la gravité marque un progrès sensible. La gravité keplerienne est coextensive à la matière, c'est une force universelle commune aux corps et *proportionnelle à leur masse* et non plus une vague tendance des semblables à se réunir. Or, si l'on veut mieux, pour Kepler, comme pour Galilée, tous les corps sont « semblables ».

Mais revenons à la question (1). « J'ai dit que si, par la pensée, tu retires de la pierre cette faculté qui unit les semblables, il ne restera dans la pierre que la pure impuissance de changer de lieu. Afin donc qu'elle en soit chassée, on aura besoin d'une force et d'une contention extérieure. Or, tant que nous imaginons une pierre suspendue dans l'air, nous lui déniaons la force de joindre les semblables, c'est-à-dire la gravité, et néanmoins nous laissons cette force de la terre agir dans la pierre. Admettons qu'il en soit ainsi, bien que dans la réalité cela soit absurde ; nous le faisons uniquement pour éclairer notre cas. Cette pierre suspendue dans l'air aura donc la puissance de demeurer dans son lieu et, par cette puissance, elle s'opposera à la vertu mouvante de la terre. La lutte de ses propriétés matérielles et corporelles produira un mélange, tel que chacune des forces vaincra et sera vaincue dans la proportion des corps.

« De là donc provient l'effet que j'ai promis d'expliquer, à savoir l'empêchement grâce auquel une pierre de ce genre, suspendue dans l'air, ne peut pas suivre parfaitement le circuit de la terre. Et cet empêchement est très réel. Aussi allons-nous détruire notre cas fictif. Admettons que les liens, tendus entre la surface de la terre et la pierre, soient non point comme des cordes, mais véritablement tels que nous indique la nature, à savoir semblables à des nerfs très fortement tendus, de telle façon que ladite pierre descende, en acte, vers la surface et le centre de la terre : je dis que, par suite de son

1. KEPLER, *op. cit.*, p. 459 : « Sed contrahe vela. Dixi, si a lapide removeas animo facultatem illam jungendi similia, remansuram in lapide meram impotentiam ad mutandum locum. Ut igitur illa expugnetur, vi et contentione extranea opus est. Dum ergo fingimus lapidem in aere pendentem, negamus ei vim conjungendi similia, hoc est gravitatem, et tamen eam vim Terrae in lapidem relinquimus. Esto hoc ita, quamvis re vera absurdum sit, tantummodo ut nobis casus constet. Habet igitur pendulus iste lapis adhuc vim quiescendi in suo loco, ea repugnabit virtuti Telluris circumacturae. Ex pugna materialium et corporearum proprietatum fiet permixtio, ut quaelibet vincatur et vincat vim suam corporum proportionem. Itaque hinc evincitur, quod dixi me indicaturum, impedimentum nempe, quo minus pendulus hujusmodi lapis perfectissime sequi possit circularitatem Telluris. Atque hoc impedimentum est verissimum. Quare jam destruamus casum nostrum fictitium et sint illae lineae in lapidem tendentes non tantum ut fulcra, sed vere id quod per naturam nobis indicatur, nempe instar nervorum tensissimorum, sic ut lapis iste sit in actu descensus ad superficiem et centrum Terrae : dico, propter hanc impotentiam ad motum omnino futurum, ut lapis hic in descensu nonnihil aberrat a perpendiculari ex centro Terrae per superficiem in centrum lapidis ducto et sic Terra ab occasu in ortum eunte, lapidis perpendicularum paulatim in occidentales superficiei partes deveniet : nec Terram omnimode sequetur, sed ab ea relinquetur. Habes causam cur lapis non debeat sequi Terram, qualem tu ad tuae sententiae confirmationem non potuisti dicere. Audi nunc solutionem. Verum est, si lapis notabili intervallo a Terra distaret, fore ut hoc accideret. At nunc sunt 860 milliarum a centro ad superficiem, et vero nulla avis tam alte volat ut dimidium unius miliaris absit a solo : sane quia in aetere non magis apta est volare, quam nos in aere, quam lapis in aqua aptus est natare. »

impuissance innée au mouvement, il adviendra nécessairement que ladite pierre, dans sa descente, s'écartera quelque peu de la perpendiculaire tirée du centre de la terre, à travers sa surface, au centre de cette pierre. Aussi, la terre se mouvant de l'Occident vers l'Orient, la perpendiculaire de la pierre [la ligne de chute] déviara quelque peu vers les parties occidentales de la surface terrestre ; et elle ne suivra pas entièrement la terre, mais restera en arrière de celle-ci. Voilà donc la cause pour laquelle la pierre ne doit pas suivre la terre, cause dont tu avais besoin pour confirmer ton opinion, et que tu ne pouvais pas indiquer. »

« Écoute maintenant la solution. Il est vrai que si la pierre était éloignée de la terre d'une distance notable, il en serait ainsi. Mais voilà : il y a 860 milles du centre (de la terre) à sa surface : or, en vérité, aucun oiseau ne vole tellement haut qu'il soit distant de la terre d'un demi-mille ; car, certes, il n'est pas plus capable de voler dans l'éther, que nous dans l'air, ou que la pierre n'est capable de nager dans l'eau. » Kepler en conclut que le retard dû à la résistance de la pierre au mouvement (1) d'entraînement sera minime et pratiquement imperceptible. L'erreur de Tycho est donc de ne pas comprendre la nature de la gravité et, en conséquence, de se tromper sur son action. En effet, Tycho, avec tous les aristotéliens, croit que la gravité est une tendance propre de la pierre, tendance qui la porte vers un lieu. Or, en fait, elle est une force qui a son siège dans les parties de la matière en tant que celle-ci se réalise dans des corps, une force qui est dans la pierre, mais aussi dans la terre. Et même, pratiquement, elle a son siège dans la terre et attire la pierre du dehors (2). Aussi, se mouvant, la terre tire la pierre après elle et l'oblige à la suivre dans son mouvement. Quant à la résistance de la pierre, pratiquement elle ne joue aucun rôle, puisque le rapport des forces est égal à celui des masses corporelles. Ainsi, nous le voyons bien : c'est une action physique réelle, et nullement un état mécanique — celui de mouvement — qui explique que la pierre tombe au pied de la tour, et que le boulet, tiré perpendiculairement en l'air, retombe à la place d'où il était parti. Quant à l'analogie que Tycho essaie d'établir entre le mouvement horizontal de l'obus, mouvement qui

1. On voit que la résistance au mouvement, l'« impuissance » de la matière est quelque chose de très positif ; elle est même proportionnelle à la masse, comme l'attraction. Cf. E. MEYERSON, *Identité et Réalité*, 3^e éd., App. III, p. 534 sq.

2. Malgré l'équivalence mathématique des deux conceptions, Kepler, comme Newton, voient le corps grave non pas tendant vers, mais attiré par l'autre corps.

l'empêche de tomber, et celui, plus rapide encore, que le boulet posséderait s'il participait au mouvement circulaire de la terre, cette analogie n'existe pas, vu que la participation au mouvement de la terre, c'est-à-dire, l'entraînement du boulet, est dû justement à l'attraction de la pesanteur. En outre, là encore, le rapport des forces est comme celui des masses et la force, si grande soit-elle, de l'explosion de la poudre, n'est rien en comparaison de celle de l'attraction terrestre. Aussi Kepler poursuit-il (1) :

« Venons donc maintenant au canon Tychonien. Puisqu'il est démontré que la pierre qui tombe perpendiculairement ne doit pas, dans sa chute, s'écarter de cette ligne, il est facile de traiter du boulet de canon (de la pierre jetée obliquement, des nuages poussés par le vent, de l'oiseau volant dans l'air). En effet, ce que j'ai dit tout au début, se trouve être vrai : les deux mouvements qui existent dans l'obus, celui qui provient de la terre, et celui qui vient du canon, forment un mélange. Aussi les espaces se combinent-ils également. En effet, lorsque nous lançons le boulet vers l'Orient, il y aura, sans doute, par rapport à l'Univers, plus d'espace passé dans le même temps que lorsque nous le lançons vers l'Occident. Car tandis que dans le premier cas la terre tend également vers l'Orient, dans le second, la terre s'oppose à son mouvement vers l'Occident, en traînant le boulet vers l'Orient. Il est même clair que, par rapport à l'Univers entier, ce boulet ne tend jamais dans une direction contraire à la marche de la terre, parce que le mouvement de la terre est beaucoup plus rapide que celui de la projection d'un boulet. Mais en ce qui concerne l'espace pris sur la surface même de la terre, il n'en est pas de même : puisque nous avons démontré que la pierre

1. KEPLER, *op. cit.*, p. 461. « Nunc tandem ad tormentum Tychonicum. Cum demonstratum sit, lapidem in perpendiculo cadentem non debere illam lineam egredi in casu, jam facile expeditur et globus tormenti (lapis in obliquum jactus : nubes vento impulsus : avis in aere volans). Nempe illud verum est, quod statim initio cepti dicere, misceri motum utrumque, et eum qui a Tellure est in globo, et eum qui a tormento. Itaque et miscetur spatia. Nam respectu totius universi plane plus spatii conficitur eodem tempore, cum globum in ortum ejaculamur, quam cum in occasum : quia illic et Terra in ortum tendit, hic Tellus derogat motui in occasum, volvens globum in ortum. Imo vero plane nunquam ullus globus respectu totius universi in partem tendit contrariam viae Telluris, quia Tellus multo est celerior quam ullius globi jactus. Quod vero spatium in ipsa Telluris superficie attinet, cum quiescens lapis, quamvis in aere pendens, demonstratus sit plane sequi debere Terram, omnino etiam eadem vis per idem Telluris spatium tam in ortum quam in occasum abripit globum. Nam quacunq[ue] globum impellat, invenit eandem vim lapidis attractricem, eundem etiam effectum promotionis lapidis. Si autem supra casus lapidis in perpendiculo aberasset sensibiliter a suo perpendiculo, sane etiam hoc fieret, ut brevius esset spatium jactus in occasum quam in ortum : non quidem ob causam a Tychone allegatam, sed ob hac ipsam quam ego diligenter hic explicui. »

immobile, bien que suspendue en l'air, doit suivre la terre, il s'ensuit que la même force rejettera le boulet à travers le même espace de la terre, vers l'Occident et vers l'Orient. Car, de quel côté qu'elle ne pousse le boulet, elle trouvera la même puissance attractrice de la pierre, et aussi le même effet de la promotion de la pierre. Mais si — comme on l'a vu plus haut — la chute de la pierre par la perpendiculaire s'écartait sensiblement de celle-ci, il en résulterait effectivement que l'espace du jet vers l'Occident serait plus court que vers l'Orient. Cependant cela n'arriverait pas pour la cause alléguée par Tycho, mais pour celle même que j'ai soigneusement expliquée ici. »

Kepler estime avoir parfaitement bien répondu aux objections classiques, ainsi qu'aux objections récentes. En fait, il s'en faut de beaucoup. Car, de même que dans la réponse de Copernic, si l'entraînement de l'obus, de la pierre, des nuages, etc., vers l'Orient se trouvait expliqué, leur mouvement libre, vers l'Occident aussi bien que vers l'Orient, ne l'était aucunement. On pouvait même se dire qu'il devenait parfaitement impossible. Comment, en effet, un jet, aussi violent qu'on se l'imagine, pourrait-il prévaloir sur la puissance énorme des « chaînes » de l'attraction terrestre ? Aussi ne sera-t-on pas trop étonné de voir Fabricius, nullement convaincu, revenir à la charge.

Et Kepler, un peu agacé, de répondre à nouveau (1) : « Tu veux, écrit-il à son ami, que je t'explique la solution de l'argument Tychonien contre le mouvement de la terre. Il n'est pas aussi fort que le choc de cette machine [du canon]. Il est clair qu'il coïncide avec la fameuse objection : comment se fait-il — si la terre entre temps s'en va — que le boulet envoyé en haut retombe à la même place ? (2) Il faut répondre que non seulement la terre, entre temps s'en va,

1. KEPLER, *Lettre à Fabricius*, 10 nov. 1608 (*Opera*, v. III, p. 462) : « Cupis tibi declarari solutionem argumenti Tychonici contra motum Terrae. Non est ita horribile, ut illius machinae ictus. Plane coincidit cum illa objectione, cur globus sursum missus ad perpendicularum recidat ad locum eundem, si Terra interim abijt. Respondendum enim, non tantum Terram interim abire, sed unam cum terra etiam catenas illas magneticas infinitas et invisibiles, quibus lapis alligatus est ad partes Terrae subjectas et circumstantes undique, quibusque retrahitur proxima id est perpendiculari via ad Terram. Quemadmodum igitur hic vis infertur catenis illis a motu violento sursum, quo fit ut omnes illae aequaliter quasi extendantur, ita quoque vis infertur catenis occidentalibus, cum globus vi tormenti in orientem truditur, et vis infertur orientalibus, cum vapor globum protrudit in occidentem. Nihil nec impedit hic nec illic promovet motus universalis Telluris et catenarum omnium. Nam haec motus violentia, quae globum projicit, versatur intus in complexu catenarum omnium, quae tam sunt fortes, ut parum contra illas possit etiam ventus validissimus contrarius, nedum aura quiescens et cum Tellure circumiens. »

2. Kepler n'a pas tout à fait raison : ainsi que nous l'avons montré plus haut, l'argument tychonien n'est pas absolument identique au vieil argument aristotélicien.

mais encore, avec elle, les chaînes magnétiques et invisibles, par lesquelles la pierre est rattachée aux parties sous-jacentes et avoisinantes de la terre, et par lesquelles elle est tirée vers la terre par la voie la plus courte, c'est-à-dire par la perpendiculaire. Or, lors du mouvement violent vers le haut, toutes les chaînes se tendent à peu près également ; au contraire, ce sont les chaînes occidentales qui se tendent lorsque le boulet, par la force du canon, est lancé vers l'Orient, et les orientales, lorsque les vapeurs poussent le boulet vers l'Orient. Or le mouvement d'ensemble de la terre et de toutes les chaînes n'est d'aucune aide dans un cas, ni d'aucun empêchement dans l'autre. En effet, la violence du mouvement qui projette le boulet tombe à l'intérieur du complexe de toutes les chaînes, qui sont tellement fortes que le vent contraire le plus fort ne peut rien contre elles ; à plus forte raison donc l'aura calme qui tourne avec la terre. »

On voit bien comment Kepler se représente, ou s'imagine, la situation : la pierre suspendue en l'air est rattachée à la terre par une infinité de « chaînes » ou de « nerfs » élastiques. Leur ensemble forme un cône dont la pierre occupe le sommet. Elle est ainsi tirée de tous les côtés ; mais les « chaînes » obliques, qui tirent avec des forces égales, se neutralisent mutuellement : aussi la résultante de toutes ces tractions est-elle dirigée perpendiculairement vers le « bas », c'est-à-dire, vers la terre. Essayons de pousser la pierre vers le haut : la tension de toutes les chaînes s'y opposera ; essayons de la pousser à droite ou à gauche : nous n'aurons à vaincre la résistance que d'une moitié seulement des chaînes en question. Mais quelle que soit la direction du mouvement horizontal, le nombre de chaînes, et donc la résistance, seront toujours les mêmes. Sans doute, si la terre tourne, les chaînes entraînant (les orientales) seront-elles un peu plus tendues que les autres. Mais la différence est très petite : en effet, la résistance propre, l'inertie de la pierre n'est pas de l'ordre de grandeur de la force d'attraction de la terre. Pratiquement, elle n'a pas à être prise en considération. Il en serait tout autrement, s'il n'y avait pas d'attraction auquel cas, d'ailleurs, les choses se passeraient tout autrement que ne le pense Aristote, car il est clair que (1) « s'il n'y avait pas

1. *Ibid.*, p. 462 : « Si vero nullae tales essent catenae, remaneret sane lapis in aethere pendulus abeunte Terra, nec recideret ulla ratione. Facit ad hanc considerationem et hoc, quod nullus jactus, neque quoad lineae longitudinem sensibilis est ad Telluris diametrum, neque quoad motus pernecitatem Telluris catenarumque seu virtutis magneticae. Sic igitur cum habeat hoc negotium et animi mei sententia, noli a me petere, ut veritatem

de telles chaînes, la pierre resterait suspendue dans l'éther pendant que la terre s'en irait, et n'aurait aucune raison de retomber. » Ainsi, la présence des chaînes attractrices explique et la chute, et l'entraînement du projectile, et l'effet de l'inertie est d'autant plus petit que ni la longueur de la trajectoire, ni la vitesse du mouvement du boulet de canon ne sont de l'ordre de grandeur du diamètre terrestre et de la vitesse de rotation de la terre et des chaînes de la vertu magnétique. « Or donc, comme il en est ainsi, et comme telle est la conviction de mon âme, ne me demande pas de trahir la vérité pour acquiescer la faveur de la foule. » Tant pis si la lumière de la vérité n'est pas acceptée par le monde. Kepler se résignera. Il sait que les ténèbres peuvent prévaloir : la nuit de l'erreur n'a-t-elle pas englouti la lumière allumée par Aristarque de Samos ? Mais Kepler est aussi plein de confiance : l'œuvre d'Aristarque n'est-elle pas ressurgie dans celle de Copernic ? *Magna est veritas et prevalebit*. Elle prévaudra, Kepler l'espère du moins, même dans l'esprit de Fabricius qui cessera de se leurrer par des objections ridicules ; aussi poursuit-il sans se lasser (1) :

« Ton argument des vents en imite visiblement la nature, et ne pèse pas plus lourd. En effet, ce qu'il y a de juste dans ton raisonnement, je l'admets aussi : si la terre se mouvait à travers l'air immobile, tu aurais le droit d'objecter l'expérience des vents. Mais voilà : la vapeur, la matière des vents, se trouve à l'intérieur du champ de la vertu magnétique de la terre ; et comme elle est de substance tenue, elle n'est pas fortement attirée vers la terre ; ainsi, elle est facilement transportée et arrachée par une force quelconque des liens magnétiques de la terre. Car la vertu magnétique possède sa plus grande puissance dans son siège propre, c'est-à-dire dans la terre, parce que c'est là le corps le plus dense ; mais elle s'affaiblit dans l'objet formé d'une matière plus rare. Une comparaison avec la force qui produit le mouvement violent peut nous servir d'exemple.

produm ad comparandum vulgi favorem. Si consuli arti non potest nisi per fraudes, pereat sane : reviviscet nempe. »

1. *Ibid.*, p. 462 sq. : « Obiectio tua a ventis plane ventorum naturam imitatur, nihil efficit nisi strepitum. Quidquid enim de ventis tute ipse judicas et ego judico : si Tellus per vaporem aërem moveretur, jure objiceretur ventorum experientiam. Atque vapor, materia ventorum, consistit intra complexum virtutis magneticae Telluris ; cumque sit substantiae tenuis uti non valde attrahitur ad Terram, sic facile transfertur et abripitur a quacunque virtute magnetica Telluris. Nam vis magnetica fortissima quidem est ratione suae propriae sedis, nempe Telluris, corporis densissimi : illa tamen languescit in objectu materiae rarioris. Exemplo sit vis illa motus violenti auctor. Puer manu projiciens lapillum propellit illum quam longissime. Idem totis viribus connixus, ut pumicem ejusdem molis eodem projiciat, scopum

Un garçon qui jette une petite pierre, la lance très loin. Mais il n'arrivera jamais à lancer aussi loin une pierre ponce de même dimension, même en y mettant toutes ses forces.

« Revenons cependant aux vapeurs : celles-ci sont entraînées par la terre, c'est-à-dire par sa vertu magnétique, à la suite des lieux sous-jacents, et sont ainsi en repos par rapport aux dits lieux tant qu'elles n'en sont pas repoussées par quelques causes » ; dans ce dernier cas elles se meuvent à travers les chaînes magnétiques avec beaucoup de facilité, et sans tenir compte de la direction. Car, explique Kepler, si l'on étudie le mouvement des corps à l'intérieur du champ de la gravité terrestre, la seule chose qui importe, c'est le parcours terrestre, le nombre de chaînes magnétiques traversées et non la distance absolue dans l'éther. Et, se rappelant bien mal à propos le fameux exemple Brunien du navire, Kepler ajoute (1) : « En effet, pour passer par l'éther les corps n'ont pas besoin d'un effort propre, il suffit de la vertu de la terre, ou du navire. Ainsi donc l'exemple du navire et des mouvements des passagers transportés par lui est pleinement valable, à une différence près cependant : le navire n'attire pas les choses transportées par une vertu magnétique, mais les entraîne par le contact seul, tandis que la terre les attire encore par la vertu de la gravité qu'elle ne communique pas au mouvement du navire ; au contraire, l'éther n'attire pas les vapeurs et les projectiles, qui ainsi ne sont attirés que par leur navire, c'est-à-dire, par la terre ». Aussi lorsque les corps se séparent des lieux de la terre, vers lesquels ils tendent par les moments de la gravité, « leurs mouvements ne sont pas affectés par le

nonquam assequetur. Sed ad vapores redeo. Illi igitur asportantur cum locis Terrarum sibi subjectis a virtute magnetica Telluris, et sic quiescunt incumbentes iisdem Terrarum locis, quantisper non a causis aliquibus impelluntur, quae causae ex eodem cum ipsis origine nascuntur. Impulsi vero ab iis causis, quae ventum faciunt, facillime a catenis illis magneticis avelluntur in plagam quaecunque, idque aequali spatio, si causa aequalis. Quippe in eorum motu non consideratur longitudo tractus per aetherem, sed multitudo catenarum seu longitudo tractus Terrarum. »

1. *Ibid.*, p. 463 : « Nam ad trajiciendum per aetherem non indigent sua opera, contentae virtute Telluris. seu navi. Adeoque genuinum est exemplum navis et vectorum in ea discursantium, nisi quod vectores navis non attrahit magnetica virtute, sed solo contactu rapit, eosdem vero Tellus adhuc attrahit per gravitatis virtutem, quam Tellus non communicat motu navis, vapores vero et projectilia non attrahit aether, itaque a sola sua navi (id est a Tellure) attrahuntur. Non itaque ut in navi ex motu navis contingunt corporum jactationes, dum abripiuntur corpora a locis iis Terrarum, ad quae tendunt, gravitatis momentis, non, inquam, sic etiam jactari necesse est corpora nostra, dum a Terra abripiuntur, neque enim tendunt ea ad ullam partem aetheris, sed ad solius Terrae subjectum planum per catenas magneticas attrahuntur : quo fit demonstratione geometrica, ut ad centrum tendant gravia ; etsi non tendunt ad centrum tanquam ad rem geometricam, sed tanquam ad medium corporis rotundi. Nisi enim Terra rotunda esset, ad idem ejus commune punctum omnia gravia non tenderent. »

mouvement de la terre, comme le sont les projections des corps par suite du mouvement du navire ; car ils ne tendent vers aucune région de l'éther, mais sont seulement attirés par le plan sous-jacent de la terre au moyen de chaînes magnétiques (1). »

On le voit bien : Kepler n'admet pas le point de vue purement mécanique de Bruno ; il n'admet pas que le mouvement se continue et se prolonge dans le mobile ; il n'admet pas, enfin, que le fait de participer au mouvement commun crée entre les choses un lien et les sépare, de ce fait *seul*, du reste de l'Univers. La notion du système mécanique n'existe pas pour lui ; il ne connaît que le système physique, une unité réelle, des liens ou des liaisons *réelles*. Le navire est une chose, la terre en est une autre. Pratiquement, sans doute, la différence est imperceptible, et Tycho a tort dans les deux cas. Mais théoriquement la distinction demeure. Théoriquement, philosophiquement, Tycho a raison. Le mouvement et le repos ne sont pas, ontologiquement, au même niveau. Le mouvement est un être. Le repos n'est qu'une privation.

Ce qui, d'ailleurs, avouons-le, est bien conforme à l'expérience et au bon sens : comment expliquer autrement qu'il faille une force ou un effort pour mettre les corps en mouvement, et que cette force doive être proportionnelle au corps ou à sa masse ? Comment, si le corps matériel était indifférent au mouvement et au repos, pourrait-on comprendre qu'il faille un effort *plus grand* pour lui donner un mouvement *plus rapide*, ou pour mettre en mouvement un *corps plus grand* ?

Et comment nier que le mouvement, beaucoup plus que le repos, ait besoin d'une cause qui l'explique ? En fait, personne, sauf Descartes peut-être, ne s'est jamais demandé pourquoi il y a du repos dans le monde ; tout le monde, au contraire, a toujours cherché la cause ou la source du *mouvement*. Personne — en dehors de Descartes — n'a jamais formé la notion de la quantité de repos ; tout le monde a toujours parlé de la quantité de mouvement.

Kepler n'a jamais varié sur ce point. Il a bien pu passer d'un vita-

1. Kepler veut dire qu'en quittant le sommet du mât du navire en mouvement le grave subit l'action entraînant des « chaînes » de la gravité terrestre qui ne sont pas liées au navire ; Bruno a donc tort, et le mouvement du navire affecte nécessairement les projections qui se font sur lui.

lisme, ou animisme, cosmique à une conception « physique » ; il a bien pu géométriser la matière jusqu'à lui enlever, en tant que telle, toute propension au mouvement, il n'a jamais admis l'équivalence ontologique du mouvement et du repos et l'indifférence de la matière envers l'un et l'autre. L'inertie est toujours restée pour lui une force de *résistance au mouvement*. Elle ne devient jamais, comme pour Galilée ou Descartes, une simple persistance dans un état, puisque jamais, le mouvement ne sera pour lui un *état*. Aussi l'exposé de l'*Epitome Astronomiae Copernicanae* suit-il fidèlement les grandes lignes de la théorie développée dans l'*Astronomia Nova*.

Là encore, nous voyons apparaître l'argument célèbre des corps lancés en l'air (1) : « Si la terre tournait autour de son axe, les objets projetés perpendiculairement en haut ne retomberaient pas à leur ancienne place, d'où ils furent projetés, parce que, le centre demeurant immobile, le lieu de la surface de la terre où se tient celui qui projette s'écarterait entre temps de la droite menée du centre de la terre au projectile. Si les graves tendaient vers le centre en tant que tel (*per se*) et en soi, l'argument serait concluant. Mais on a dit dans le paragraphe précédent que le but du mouvement des graves n'est pas le centre en premier lieu et en soi, mais seulement par accident et en deuxième lieu, c'est-à-dire, que les graves vont au centre uniquement parce que le centre est le milieu et le plus intérieur du corps que les graves recherchent en soi et en premier lieu, et par lequel ils sont attirés.

« Or, comme les graves recherchent le corps de la terre en tant que tel (*per se*) et sont recherchés par celui-ci, ils se meuvent plus fortement vers les parties les plus proches de la terre que vers les parties les plus éloignées. C'est pourquoi lorsque ces parties les plus proches, placées perpendiculairement au-dessous, sont en translation, les graves qui descendent vers cette surface mobile, la suivent, en plus, circulairement, de même que s'ils étaient attachés au lieu au-

1. KEPLER, *Epitome Astronomiae Copernicanae*, l. I, p. v, *Opera*, vol. VI, p. 181. « Si Terra volveretur circa axem, tunc ea, quae recta sursum projiciuntur, non reciderent in locum pristinum, unde sunt projecta, quippe centro quidem persistente, loco vero superficiei, in quo stat projiciens, interim se subducente ex linea ducta ex centro Telluris ad projectile. Si gravia centrum per se peterent nihilque praeterea, sequeretur argumentum. At dictum in priori themate, motus gravium scopum non esse centrum per se primo, sed per accidens et secundario, quia scilicet centrum est medium et intimum corporis, quod gravia per se et primo petunt et a quo gravia attrahuntur.

Cum autem gravia petant Terrae corpus per se petanturque ab illo, fortius itaque movebuntur versus partes viciniores Terrae, quam versus remotiores. Quare transeuntibus illis partibus vicinis perpendiculariter subjectis, gravia inter decidendum versus superficiem transeuntem illam insuper etiam circulariter sequuntur, perinde ac si essent alligata loco,

dessus duquel ils se trouvent par la perpendiculaire, ainsi que par une infinité de lignes ou de nerfs obliques, moins forts ceux-ci que celle-là, qui, petit à petit, se contractent en eux-mêmes.

« Mais on a dit que les corps matériels s'opposent, par leur inertie naturelle, au mouvement qui leur est conféré du dehors ; or si cela était vrai, il s'ensuivrait que les graves se détacheraient quelque peu de ce *raptus* et du lien perpendiculaire, ainsi que des autres liens. En effet, ils s'en détacheraient quelque peu s'ils s'éloignaient de la terre d'une distance comparable au semi-diamètre de la terre ou du moins à celui de l'horizon visible » ; mais comme cela n'arrive jamais, ce retard sera tout à fait insensible parce que la force tractrice de la terre est incommensurablement plus grande que celle de l'inertie. Quant à l'objection de Tycho Brahe, Kepler la rapporte fidèlement une fois de plus (1) : « les boulets de canon lancés l'un vers l'Orient, l'autre vers l'Occident tombent à des distances inégales du premier lieu (du tir) ; et ces distances sont plus grandes vers l'Occident, parce que les parties de la terre situées vers l'Occident, en tendant vers l'Occident iront à la rencontre du boulet ; plus petites vers l'Orient, parce que les parties orientales de la terre, où, si elles étaient demeurées immobiles, le boulet serait tombé, fuient le boulet vers l'Orient. »

Mais, encore une fois, le raisonnement de Tycho est faux. Tycho raisonne comme si le boulet était très loin de la terre et non sur celle-ci. Et reprenant, une fois de plus, le parallèle avec le navire, Kepler explique que, sans doute, par rapport à la terre, c'est-à-dire par rapport aux bords immobiles du fleuve sur lequel il glisse, il y a une différence sensible entre la projection d'un objet quelconque en avant ou en arrière de la marche du bateau. Du point de vue de la

cui imminent, per ipsam perpendicularem, adeoque per infinitas circum lineas, cum nervos quosdam obliquos, minus illa fortes, qui omnes in sese paulatim contrahi soleant.

Atqui dixisti, corpora materiata naturali sua inertia reniti motui sibi ab extra illato ; id si verum est, gravia igitur extricabunt sese nonnihil ex hoc raptu exque suo illo perpendiculari ceterisque vinculis. Extricarent sese nonnihil, si abscederent a Terra intervallo tanto, quod ad semidiametrum Terrae vel saltem horizontis visibilis proportionem haberet sensibilem. »

1. KEPLER, *Epitome Astronomiae Copernicanae*, l. I, p. v, vol. VI, p. 182 sq. : « At saltem emissi globi bombardici, alter in ortum, alter in occasum, cadent inaequalibus intervallis a loco primo : longius in occasum, quippe partes Terrae versus occasum sitae obviabunt globo, tendentes in ortum, brevius in ortum, quia partes orientales Terrae, in quas, si immobiles starent, globus fuerat casurus, fugiunt globum versus ortum. Non recte fit, quod comparantur spatia mundi, quasi Terra longissime absente ab emissio globo, cum de hoc solo agatur, pomum quod alter tenet manibus, quorsum ei facilius excutitur a socio ejusdem navis vectore, non quam longe a navi aut per quantum spatium inter navem et litora. Nam si litora consideres, quantum fugit navis a loco superiore, in quem excutitur pomum, tanto fere langidior, respectu litorum quiescentium, est excussio, cedente quippe deorsum, quod

terre, la distance franchie ne sera pas la même, la force du jet, ainsi que le choc de l'objet projeté seront différents. » Les forces du jet et du mouvement s'ajoutent ou se soustraient, etc., mais tout cela, toutes ces causes composites, et leurs effets, n'ont pas d'existence pour celui qui se tient sur le navire. Pour lui, l'objet — que le navire se meuve ou soit immobile — a toujours le même poids ; lancé, il parcourt toujours le même intervalle.

« Que l'on raisonne donc de la même manière, *mutatis mutandis*, dans le cas du canon. Ainsi un grand obus dont le vol dans l'air perdure pendant deux minutes, parcourt sur la terre un mille allemand vers l'Occident, et pendant ce temps, la terre, à l'équateur, parcourt en sens inverse huit milles. Aussi, par rapport à l'espace du monde le boulet est-il emporté d'un mouvement violent en sens inverse, c'est-à-dire vers l'Orient, à une distance de sept milles et l'explosion qui le lance dans la direction contraire à ce mouvement de la terre ne lui sert à rien d'autre qu'à enlever ce huitième mille, et à faire que le boulet se meut plus lentement vers l'Orient. Car la poudre ne peut pas l'arracher entièrement des mains, pour ainsi dire, de la terre ... et il demeure toujours dans le champ de sa vertu tractrice. Et, au contraire, le boulet tiré en même temps vers l'Orient est porté à une distance de huit milles par le *raptus* de la terre et, vu qu'il a été violemment projeté par l'explosion vers l'Orient, il y ajoute lui-même le neuvième. Ainsi, qu'il ait été tiré vers l'Orient ou vers l'Occident, il se porte toujours vers l'Orient, bien qu'un peu plus dans un cas que dans l'autre. Or, cet espace composé (mondial) n'a rien à voir avec l'espace que les hommes peuvent mesurer sur la terre. Sur la terre l'espace parcouru par le boulet est dans les deux

excutienti substernitur, enervata resistentia ; ita quod erat defluxus navis adjecturus saltui pomi, detrahit iterum cessio ejus, quo nitetur flictus. Et vicissim, quod erat pernicitas navis praereptura saltui pomi deorsum, hoc addit resistentia fortior violentiae flictus : fortius enim deorsum excutit vis eadem, cum a navi deorsum et rapitur, quam cum in litore stat immobilis. At cum, ut par est, vires nudaе considerantur manus pomum prehendentis ipsiusque pomi pondus, vis equidem infertur utrinque eadem, nihil ad hanc magnitudo effectus, qui foris extra navem, compositis causis, est secuturus, etsi respectu navis solius (non etiam litorum) idem proxime futurum est ab ipsa intervallum.

Idem igitur judicium mutatis mutandis et de bombardis esto. Equidem globus magnus, duobus minutis horae unius perdurans in volatu per aerem, trajicit in occidentem per unum milliare Germanicum in Terra, interimque Terra, subjecta aequatori, obviat per octo milliaria ; quare respectu spatii mundani rapitur globus adhuc in contrariam motus violenti plagam, scilicet in orientem, septem milliariis nihilque prodest ei aliud explosio in contrariam plagam, nisi quod octavum milliare absumit facitque, ut globus tardius in orientem sequatur ; excutere non potest pulvis globum penitus veluti de manibus Telluris, semper ille in virtute trahente haeret irretitus ; si rupit prehensionem indicis, haeret in prehensione succedentis minimi digiti. E contra globus, in orientem emissus ejusdem temporis intervallo, promovetur raptu ipsius Terrae pro octo milliaria additque nonum ipse, violenter

cas à peu près le même, car la force est la même, et les liens magnétiques sont les mêmes.

« Or, la promotion effective vers l'Occident est due à la collaboration des deux causes. En effet, en lui-même l'obus est *inerte* par rapport au mouvement et s'il n'était pas emporté vers l'Orient, il resterait, de lui-même, en Occident, et comme le lieu s'éloigne vers l'Orient, un mouvement violent le pousserait plus facilement vers l'Occident qu'en sens inverse. Car lors du mouvement vers l'Orient, ce mouvement doit vaincre non seulement l'attraction magnétique de la terre, mais encore l'inertie du globe matériel (du boulet) qui le retient en Occident... Mais, de toute façon, cette force de résistance du boulet n'est pas mesurable et les deux forces n'ont aucun rapport entre elles. En effet, si cet obus était placé en dehors du champ de la vertu attractrice de la terre et lancé par la même force explosive de la poudre, il volerait dans l'espace du monde non pas à la distance d'un ou de huit milles, mais, certes, à une distance incroyable.

« En admettant même que la différence soit perceptible en elle-même, il n'en reste pas moins vrai que la possibilité d'en faire l'expérience est inexistante. Qui donc pourra m'assurer que la force de l'explosion de la poudre a été la même dans les deux cas, et que toutes les autres circonstances ont été pareilles ? »

C'est là le dernier mot de Kepler. Et l'on voit bien la source philosophique ou mieux, métaphysique, de son échec : il s'explique entièrement par le refus de mettre sur le même plan ontologique le repos d'un corps avec son mouvement.

quippe explosus itidem in ortum. Ita sive in orientem sive occidentem explodatur, semper in orientem fertur, tantum paulo plus hic quam ille. At hoc compositum spatium mundanum nihil attinet ad spatium in Terra, quod homines metiri possunt ; hoc utrinque fore idem est, quia vis eadem, quia vincula magnetica utrinque eadem, ex quibus globus velut eripitur inque ulteriora transponitur.

Concurrunt tamen in occasum promotionis duae causae. Nam globus, se ipso iners ad motum, si non raperetur versus ortum, permaneret se ipso in occidente, loco in ortum abeunte, facilius igitur de loco in occasum promoveretur a violento motu ; at in ortum vincenda est illi motui non tantum prehensio magnetica Telluris, sed etiam inertia materialis globi, restitantis in occasu. Esto hoc ut supra de oceano concessum ; at quidquid sit, in globo certe bombardico inaestimabile quippiam est, nec ulla proportio sensibilis alterius pugnae ad alteram. Nam si globus bombardicus exploderetur eadem vi pulveris, positus extra virtutem Telluris attractoriam, transvolaret is non tantum per unum aut per octo millia spatii mundani, sed plane per incredibile eorum numerum.

Posito etiam, quod differentia sit perceptibilis se ipsa, tandem deerit occasio experimentandi. Quis enim certum me reddet de eadem vi pulveris in utraque explosione certisque circumstantiis utrinque isdem ? »

LE « DIALOGUE SUR LES DEUX PLUS GRANDS SYSTÈMES DU MONDE » ET LA POLÉMIQUE ANTI-ARISTOTÉLICIEUNE

Il y aurait, sans doute, quelque exagération à prétendre que l'œuvre de Galilée soit, tout entière, sortie de préoccupations cosmologiques ; et de la présenter, tout entière (ainsi que l'ont fait Henri Martin (1) et plus récemment E. Wohlwill (2), comme une lutte pour la conception copernicienne de l'Univers : n'oublions pas les *Discorsi e dimostrationi*... Il n'en reste pas moins vrai que les préoccupations cosmologiques jouent un rôle de toute première importance dans la pensée et les études de Galilée, et que dès sa jeunesse, dès les traités et dialogues sur le mouvement ébauchés par lui à Pise, nous le voyons se poser des problèmes qui ne prennent leur sens plein et entier qu'en fonction de la conception copernicienne de l'Univers (3).

Nous le voyons, d'ailleurs, s'y heurter aux mêmes difficultés — insolubles à son époque — qui entraveront la marche de la pensée quarante et cinquante ans plus tard.

Le problème central qui préoccupe Galilée à Pise est celui de la persistance du mouvement. Or, il est clair que lorsqu'il étudie le cas du mouvement (de rotation) d'une sphère placée au centre du monde, ainsi que celui d'une sphère placée en dehors de ce centre, il a en vue la situation créée par la doctrine copernicienne ; la sphère marmoreenne dont il analyse les mouvements représente, sans nul doute la terre ; et ses mouvements sont ceux de la terre (4).

Mais le résultat auquel il aboutit — en contradiction, d'ailleurs, avec les prémisses essentielles de la physique de l'*impetus* — nous

1. V. TH. HENRI MARTIN, *Galilée*... Paris, 1868.

2. E. WOHLWILL, *Galileo Galilei und sein Kampf für die Copernikanische Lehre*, 2 vol. Hamburg-Leipzig, 1909-1926.

3. V. E. WOHLWILL, *op. cit.*, t. v. 105 sq et plus haut, *A l'aube de la science classique*, p. 68 sq.

4. Cf. GALILÉE, *De Motu*, p. 304 (*Opere*, Ed. Nazionale, vol. I), cité plus haut, *A l'aube de la science classique*, p. 68, n. 1.

révèle d'une manière éclatante les difficultés, et la source des difficultés, que recontraient sur leur chemin la physique et l'astronomie nouvelles.

En effet, le résultat auquel aboutit l'analyse galiléenne, c'est la persistance naturelle ou, plus exactement, la situation privilégiée du mouvement *circulaire* (1). Et c'est celle-ci, corroborée puissamment par l'expérience journalière et surtout par l'« expérience » copernicienne du mouvement circulaire de la terre (mouvement orbital et mouvement de rotation) confirmant l'expérience astronomique du mouvement circulaire des planètes, qui forme l'obstacle contre lequel l'effort galiléen viendra se briser.

Ainsi que nous avons eu l'occasion de le dire, l'expérience ne favorise guère la physique nouvelle (2) : les corps tombent et la terre tourne ; voilà deux faits qu'elle ne peut expliquer et qui la font trébucher à ses débuts.

Contrairement à ce qu'on affirme bien souvent, la loi d'inertie n'a pas son origine dans l'expérience du sens commun et n'est ni une généralisation de cette expérience, ni même son idéalisation. Ce que l'on trouve dans l'expérience, c'est le mouvement circulaire ou, plus généralement, le mouvement curviligne. On n'est jamais — sauf le cas exceptionnel de la chute, qui n'est justement pas un mouvement inertiel — en présence d'un mouvement rectiligne. Et c'est pourtant le premier — le mouvement curviligne — que la physique classique va s'efforcer d'expliquer à partir du dernier. Curieuse démarche de la pensée, dans laquelle il ne s'agit pas d'expliquer le donné phénoménal par la supposition d'une réalité sous-jacente (ainsi que le fait l'astronomie, qui explique les phénomènes, c'est-à-dire les mouvements apparents, par une combinaison de mouvements réels), ni même d'analyser ce donné en ses éléments simples pour l'en reconstruire après coup (méthode résolutive et compositive, à laquelle — à tort à notre avis —, on réduit le nouveau de la méthode galiléenne) ; il s'agit, à proprement parler, d'expliquer ce qui *est* à partir de ce qui *n'est pas*, de ce qui n'est jamais. Et même à partir de ce qui *ne peut jamais être*.

1. *Ibid.*, p. 67, sq.

2. Comme le remarque très bien P. Tannery, *Galilée et les principes de la dynamique*, Mémoires scientifiques, vol. VI, Paris, 1926, p. 399. « Si, pour juger le système dynamique d'Aristote, on fait abstraction des préjugés qui dérivent de notre éducation moderne, si l'on cherche à se replacer dans l'état d'esprit que pouvait avoir un penseur indépendant au commencement du XVII^e siècle, il est difficile de méconnaître que ce système est beaucoup plus conforme que le nôtre à l'observation immédiate des faits » ; cf. *A l'aube*, p. 9, n. 3.

Explication du réel à partir de l'impossible. Curieuse démarche de la pensée ! Démarche paradoxales 'il en fût ; démarche que nous appellerons archimédienne, ou mieux platonicienne : explication, ou mieux, reconstruction du réel empirique à partir d'un réel idéal. Démarche paradoxale, difficile et risquée ; et l'exemple de Galilée et de Descartes nous fera immédiatement toucher du doigt sa contradiction essentielle : nécessité d'une conversion totale, d'une substitution radicale d'un monde mathématique, platonicien, à la réalité empirique — puisque c'est dans ce monde seulement que valent et se réalisent les lois idéales de la physique classique —, et impossibilité de cette substitution totale qui ferait disparaître la réalité empirique au lieu de l'expliquer, et qui, au lieu de sauver le phénomène, ferait apparaître entre la réalité empirique et la réalité idéale, le gouffre mortel du fait non expliqué. Or, dès Pise, l'archimédisme galiléen se heurte au fait.

Dans la physique aristotélicienne tous les mouvements, on le sait bien, sont divisés en deux grands groupes, ou, plutôt, classés en deux catégories : mouvements « naturels » et mouvements « violents » ; c'est à ce classement même que s'attaque Galilée. La division, nous fait-il observer, est mal faite (1). Les deux termes, en effet, ne sont pas incompatibles, et il y a des mouvements qu'il faudrait envisager comme étant à la fois naturels et violents. Au surplus, et ceci est plus grave, il y a des mouvements qui ne rentrent dans aucun des deux groupes, des mouvements qui ne sont ni naturels ni violents. Tel est par exemple le mouvement circulaire (rotation) d'une sphère placée au centre du monde. Sans doute n'est-il pas naturel à la sphère qui n'a, en elle-même, aucune propension au mouvement. On ne peut cependant l'estimer violent : on ne fait, en effet, aucune violence à la sphère puisqu'elle reste dans son lieu et que son mouvement ne change rien, n'élève ni n'abaisse aucun poids. Il le fait, au surplus, d'autant moins que la sphère, située dans le centre du monde, c'est-à-dire dans son lieu naturel, ne pèse pas (2).

Mais le cas de la sphère située dans le centre du monde est loin

1. Cf. Galilée, *De Motu*, p. 305, cité, *A l'aube de la science classique*, p. 68, n. 1.

2. Ainsi les corps célestes ne pèsent point. En général, le corps placé dans son lieu propre « n'a pas la tendance d'aller vers le bas », il est donc privé de poids. Cf. *A l'aube de la science classique*, p. 62 sq.

d'être unique : à vrai dire tout mouvement circulaire (autour du centre) est un tel mouvement qui n'est ni naturel ni violent ; là encore, le mouvement ne change rien, c'est-à-dire il n'élève ni n'abaisse de poids. Enfin le mouvement d'un corps grave sphérique roulant sur un plan horizontal, n'est, non plus, ni naturel ni violent. Là encore le mouvement n'élève ni n'abaisse de poids. Il s'ensuit, nous dit Galilée, que si l'on élimine toute action de la résistance extérieure (un plan absolument lisse, des corps absolument durs, absolument sphériques, etc...) le mouvement de ces corps pourrait bien ne point s'arrêter. Pourrait bien se prolonger indéfiniment (1).

Mais, en fait, qu'est-ce qu'un plan horizontal ? plus précisément, qu'est-ce qu'un plan horizontal pour un corps grave ? Et, plus précisément encore, qu'est-ce qu'un plan horizontal réel, pour un corps grave réel, sur la terre ? Ce n'est pas du tout le plan horizontal de la géométrie, ou d'une physique archimédienne. Sur un tel plan horizontal — géométrique — réalisé sur la terre, par exemple, sur un plan tangent à la surface de la terre, un grave serait dans une situation toute différente. En effet, se mouvant sur ce plan, il s'éloignerait du centre de la terre (ou du monde) et, par conséquent, s'élèverait. Son mouvement serait donc violent et, en fait, comparable à celui d'un corps qui remonte sur un plan incliné, c'est-à-dire sur un plan ascendant : donc, non seulement il ne pourrait se prolonger indéfiniment, mais au contraire, il devrait nécessairement s'arrêter. Le seul mouvement réel qui ne serait ni naturel ni violent, le seul mouvement qui ne le ferait ni s'élever ni s'abaisser un grave, le seul mouvement qui ne le ferait pas s'éloigner ou se rapprocher du centre de la terre (ou du monde), est celui qui en suivrait le pourtour. Ce serait par conséquent un mouvement circulaire. Autrement dit : le plan horizontal réel est une surface sphérique (2).

Le raisonnement, on le voit bien, confirme l'expérience : le mouvement circulaire occupe dans la réalité physique une position absolument privilégiée. Et, en même temps une conclusion s'impose :

1. *De Motu*, p. 300, 304, cité A l'Aube etc. p. 68, 72 cf. *Le Mécanisme, Opere*, Ed. Nazionale, vol. II, p. 180 : « Nella superficie esattamente equilibrata detta palla resti come indifferente e dubbia tra il moto e la quiete, sì che ogni minima forza sia bastante a muoverla, siccome all'incontro, ogni pochissima resistenza, e quale è quella sola dell'aria che la circonda, potente a tenerla ferma. Dal che possiamo prendere, come per assioma indubitato, questa conclusione : che i corpi gravi, rimossi tutti l'impedimenti esterni ed accidenti, possono esser mossi nel piano dell'orizzonte da qualunque minima forza ».

2. V. *De Motu*, p. 300, cité A l'Aube, p. 72. Le même raisonnement se retrouve dans le *Dialogo dei due massimi sistemi del mondo* (*Opere*, vol. VII), pp. 46 sq ; 53 sq ; 172, et les *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno à due nuove scienze* (*Opere*, vol. VIII), p. 268.

les conceptions géométriques ne s'appliquent pas telles quelles à la réalité physique. Nous pourrions dire, en termes non galiléens, sans doute : l'espace réel n'est ni archimédien ni euclidien ; il en diffère justement comme une surface sphérique diffère d'un plan géométrique.

Telle est la situation galiléenne. Elle est presque la même à Pise, à Padoue, à Florence. Il y a un fait indéniable et en même temps inexplicable, fait dont, au surplus, la dynamique galiléenne ne peut pas se passer (1) : le fait du poids ; le fait qu'il y a des graves ; que ces graves tombent. Il y a un autre fait, étroitement lié au premier : la droite réelle est une circonférence, le plan réel est une surface sphérique, le cercle — et non la droite — : voilà la ligne physique privilégiée (2).

Cela, Galilée l'affirme *expressis verbis* : « Le mouvement rectiligne, nous dit-il, est quelque chose qui, à vrai dire, ne se trouve pas dans le Monde. Il ne peut y avoir de mouvement rectiligne naturel. En effet, le mouvement rectiligne est infini de par sa nature et puisque la ligne droite est infinie et indéterminée, il est impossible qu'un mobile quelconque ait, par nature, le principe de se mouvoir en ligne droite, c'est-à-dire vers où il est impossible d'arriver, puisqu'il n'y a pas de terme dans l'infini. Et la nature, comme le dit Aristote lui-même, n'entreprend pas de faire quelque chose qui ne puisse être fait, et n'entreprend pas de mouvoir vers où il est impossible de parvenir. » (3)

Texte curieux, et sur lequel nous allons revenir (il est d'ailleurs

1. Ainsi que nous le verrons plus bas, la dynamique galiléenne pourrait être appelée une dynamique de la chute.

2. *Dialogo*, I, p. 53.

3. GALILÉE, *Dialogo*, I, (*Opere*, vol. VII), p. 43. En marge : *moto retto di sua natura infinito. Moto retto impossibile per natura. Moto retto impossibile esser nel mondo ben ordinato* : « Ayant établi ce principe on peut en conclure immédiatement que, si tous les corps cosmiques doivent être mobiles par leur nature, il est impossible que leur mouvement soit rectiligne, ou autre que circulaire : et la raison en est assez facile et manifeste : puisque ce qui se meut d'un mouvement rectiligne, change de lieu ; et, continuant de se mouvoir, s'éloigne toujours davantage du terme d'où il était parti et de tous les lieux par lesquels il passe successivement ; si un tel mouvement convenait naturellement à [un corps], il s'ensuivrait que, dès le commencement, il n'était pas dans son lieu naturel, et que, par conséquent, les parties du monde n'étaient pas disposées en un ordre parfait ; mais nous avons admis qu'elles étaient parfaitement ordonnées ; donc, il est impossible qu'elles soient déterminées par leur nature à changer de lieu et, par conséquent, à se mouvoir en ligne droite. »

corroboré par beaucoup d'autres (1), et où l'on trouve la plupart des notions dont la physique galiléenne est sensée nous avoir libérés.

Comment alors, s'il en est bien ainsi, Galilée a-t-il pu être le fondateur — ou l'un des fondateurs — de la physique moderne, physique fondée, ainsi que nous l'avons dit, sur la prépondérance de la droite sur le cercle, sur la géométrisation de l'espace, la loi d'inertie ? Ou est-ce un leurre ? Un cas de contre-sens fécond ? Les successeurs et les disciples de Galilée, Gassendi, Toricelli, Cavallieri, l'ont-ils tout simplement mécompris ? Ont-ils perdu de vue la distinction et, négligeant les assertions réitérées du maître, identifié le plan réel au plan géométrique ? et, par là-même, tiré de la doctrine galiléenne ce qui n'y était pas inclus ? Telle est, on le sait bien, l'opinion de Wohlwill (2), violemment combattue d'ailleurs par E. Mach (3) et surtout par M. E. Cassirer (4) qui, eux, estiment au contraire que la physique galiléenne est tellement pénétrée du principe d'inertie qu'il est impossible que Galilée lui-même n'en ait pas eu conscience.

Alors ? Galilée a-t-il ou n'a-t-il pas formulé — ou du moins posé — le principe d'inertie ? Dilemme trop simple, à notre avis — la réalité historique est plus complexe, plus nuancée, plus riche —, dilemme qui, au surplus, laisse échapper le seul problème vraiment instructif et intéressant : celui de savoir *pourquoi*, dans sa lutte pour la mathématisation du réel, Galilée n'est pas arrivé à poser, expressément du moins, (cela, M. Cassirer lui-même ne saurait le nier) ce principe d'inertie que ses successeurs et disciples ont, nous dit-on, si facilement adopté ? Car il ne s'agit pas seulement de constater un fait : il faut le comprendre. Et pour ce faire, il faut étudier pour elle-même la pensée réelle du grand florentin.

1. Cf. *Dialogo*, I, p. 56 (en marge) : « *Moti circolari finiti e terminati non disordinano le parti del mondo. Nel moto circolare ogni punto della circonferenza è principio e fine. Moto circolare solo uniforme. Moto circolare può continuarsi perpetuamente. Moto retto non può naturalmente esser perpetuo. Moto retto assegnato a i corpi naturali per ridursi al ordine perfetto, quando ne siano rimossi. La quiete sola e il moto circolare atti alla conservazione dell'ordine.* » cf. *ibid.*, p. 166. *Salv.* : « il est impossible qu'un mobile quelconque se meuve éternellement en ligne droite ».

2. Cf. E. WOHLWILL, « Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes », *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, etc., v. XV, p. 387. Cf. aussi : A. HÖFLER, *Studien zur gegenwärtigen Philosophie der mathematischen Mechanik*, Leipzig, 1900, p. 111 sq.

3. Cf. E. MACH, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch-kritisch dargestellt*, 8^e éd., Leipzig, 1921, p. 133 sq. et surtout 265 sq.

4. Cf. E. CASSIRER, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, Berlin, 1911, p. 397 : « *Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes hängt... mit den Grundgedanken von Galileis Forschung innig und unverkennbar zusammen. Schon aus der Betrachtung dieses Zusammenhangs heraus sollte jeder Zweifel daran schwinden, ob Galilei die volle Einsicht von der Allgemeinheit und Tragweite seines neuen Grundsatzes gewonnen hat.* » Et pourtant, c'est Wohlwill qui a raison : beaucoup plus encore qu'il ne le croyait lui-même.

C'est cela justement que nous nous proposons d'entreprendre (1). Et nous verrons — chose bien curieuse — que si Galilée a effectivement échoué dans sa tâche (la thèse de Wohlwill est juste, *grosso modo*), c'est parce que, à l'encontre de Descartes, il n'a pas su, ou pu, ni s'affranchir du fait, ni accepter la conséquence inévitable de la mathématisation du réel : la géométrisation complète de l'espace, ce qui veut dire l'infinité de l'Univers et la destruction du Cosmos (2).

Nous avons déjà dit que la physique moderne naît dans les cieux autant que sur la terre (3), et se présente comme solidaire d'une entreprise astronomique, ou mieux, cosmologique. Les œuvres de Galilée, le *Dialogue* autant que l'*Essayeur*, sont tout d'abord des œuvres coperniciennes et la physique de Galilée est une physique copernicienne, physique qui doit défendre l'œuvre du grand astronome — le mouvement de la terre — contre les objections anciennes et les attaques nouvelles. Or, cette physique nouvelle, cela Galilée le voit mieux que quiconque, doit être *toto coelo* différente de l'ancienne ; aussi, pour construire celle-ci, faut-il tout d'abord démolir celle-là, c'est-à-dire, démolir les bases mêmes, les fondements *philosophiques* qui la supportent ; quant à la nouvelle physique, mathématique, archimédienne, Galilée comprend bien que pour l'établir il lui faut refondre et refonder tous ses concepts ; et qu'il faut l'appuyer, aussi solidement que possible, à une *philosophie*. De là le mélange subtil, dans l'œuvre galiléenne, de « science » et de « philosophie » et l'impossibilité pour l'historien — à moins de renoncer à comprendre — de séparer les deux éléments intégrants de sa pensée.

1. Aussi citerons-nous abondamment, car ce ne sont pas les résultats, c'est la marche même de la pensée galiléenne qui nous intéresse ici.

2. *Notae per il Morino* (J. B. MORINI, *Famosi et antiqui problematis de Telluris motu vel quiete hactenus optata solutio*, Paris, 1631), *Opere*, v. VII, p. 565 : « *Noi non cerchiamo quello che Iddio poteva fare, ma quello che Egli ha fatto. Imperò che in vi domando, se Iddio poteva fare il mondo infinito o no : se Egli poteva e non l'ha fatto, facendolo finito e quale egli è de facto, non ha esercitato della Sua potenza, in farlo così, più che se l'avesse fatto grande quanto una vecchia.* » Cf. *Dialogo*, I, 43 où Galilée proclame que, parmi les choses dites par Aristote-j'admets et suis d'accord avec lui que le monde est un corps doué de toutes les dimensions, et donc, le plus parfait ; et j'ajoute que, comme tel, il est nécessairement bien ordonné, c'est-à-dire [composé] de parties disposées en un ordre suprême et le plus parfait ; laquelle assumption, je ne crois pas qu'elle soit niée ni par vous ni par quiconque.

3. Cf. P. TANNERY, *Galilée et les principes de la dynamique*, Mémoires scientifiques, v. VI, pp. 401 sq., Paris, 1926. P. PAINLEVÉ, *Les axiomes de la mécanique*, Paris, 1922, p. 31 sq.

Le *Dialogue sur les deux plus grands systèmes du monde* prétend exposer deux systèmes astronomiques rivaux (1). Mais, en fait, ce n'est pas un livre d'astronomie (2), ni même de physique. C'est avant tout un livre de critique ; une œuvre de polémique et de combat ; c'est en même temps une œuvre pédagogique, une œuvre philosophique ; et c'est enfin un livre d'histoire : « l'histoire de l'esprit de M. Galilée ».

Une œuvre de polémique et de combat : c'est cela qui détermine (en partie) la structure littéraire du *Dialogue* (3) : c'est contre la science et la philosophie traditionnelles que Galilée monte sa machine de guerre. Mais, si le *Dialogue* est dirigé contre la tradition aristotélicienne, il ne s'adresse pas, ou presque pas, à ses tenants, aux philosophes de Padoue et de Pise, aux auteurs des traités *De Motu* et des commentaires du *De Coelo* : il s'adresse au lecteur « honnête homme (4) » ; aussi est-il écrit non en latin, la langue savante des Universités et des Écoles, mais en langue vulgaire, en italien, la langue de la cour et de la bourgeoisie. Tous les réformateurs ont d'ailleurs procédé ainsi : souvenons-nous de Bacon et de Descartes.

C'est l'honnête homme que Galilée veut gagner à sa cause ; or, l'honnête homme, il faut le persuader et le convaincre : il ne faut pas le fatiguer et l'accabler. De là (en partie) la forme dialoguée de l'œuvre ; le ton léger de la conversation ; les digressions et les reprises constantes, le désordre apparent du débat : c'est bien ainsi qu'on conversait et discutait, entre honnêtes gens, dans les salons des patriciens de Venise, ou à la Cour des Médicis. De là, la variété des

1. Cf. U. FORTI, *Introduzione Storica alla lettura del DIALOGO SUI MASSIMI SISTEMI di Galileo Galilei*, Bologna, 1931.

2. La partie astronomique du *Dialogue* est singulièrement pauvre. Galilée ne tient aucun compte non seulement des découvertes de Kepler, mais même du contenu concret de l'œuvre de Copernic. L'héliocentrisme se présente chez lui sous sa forme la plus simple — le soleil au centre, les planètes se mouvant autour du soleil sur des cercles — forme qu'il savait pertinemment être fautive. Simplification volontaire, tout à fait analogue à la simplification présentée par Descartes dans les *Principes* et qui — étant inexplicable dans un ouvrage d'astronomie — s'explique fort bien dans un ouvrage philosophique.

3. Sur la structure littéraire du *Dialogue* et son plan voir L. STRAUSS, dans l'introduction à sa traduction de l'œuvre de Galilée, *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme*, Leipzig, 1891 et plus récemment L. OLSCHKI, *Galilei und seine Zeit*, Halle, 1927. La structure littéraire ou, mieux, la forme dialoguée de l'œuvre galiléenne est aussi importante pour lui qu'elle l'est pour Platon : et cela pour des raisons analogues, des raisons très profondes, liées à la conception même du savoir scientifique. Aussi devons-nous en donner au lecteur des échantillons. Il en résultera des longueurs et des répétitions. Tant pis ! L'œuvre de Galilée occupe une place unique dans la pensée moderne et l'on ne peut comprendre celle-ci sans comprendre celle-là.

4. Toute œuvre littéraire est écrite pour être lue par des lecteurs déterminés. Le *Dialogue* n'est pas écrit pour un lecteur du XX^e siècle, mais pour des Italiens du XVII^e, comme les dialogues de Platon, pour des Athéniens du IV^e.

« armes » dont se sert Galilée : la discussion sereine qui cherche la preuve et tente de démontrer ; le discours éloquent qui veut persuader ; enfin cette dernière — la plus puissante — des armes du polémiste : la critique incisive, acérée et mordante, la plaisanterie qui, se moquant de l'adversaire, le rend ridicule, et par là-même sape et ruine ce qui lui reste encore d'autorité (1).

Une œuvre « pédagogique ». Car il ne s'agit pas seulement de convaincre, de persuader et de prouver : il s'agit aussi, et même peut-être surtout, d'amener, petit à petit, le lecteur honnête homme, à pouvoir être persuadé et convaincu ; à pouvoir comprendre la démonstration et recevoir la preuve (2). Et pour cela un double travail de destruction et d'éducation s'avère nécessaire : destruction des préjugés et des habitudes mentales traditionnelles et du sens commun ; création, à leur place, d'habitudes nouvelles, d'une aptitude nouvelle au raisonnement.

De là les longueurs insupportables pour le lecteur de notre temps — lecteur qui a bénéficié des résultats de la révolution galiléenne — de là les répétitions, les retours en arrière, la critique renouvelée des mêmes arguments, la multitude d'exemples... Il faut, en effet, éduquer le lecteur, lui apprendre à ne plus avoir confiance dans l'autorité, la tradition et le sens commun. Il faut lui apprendre à penser.

Une œuvre de philosophie (3) : ce n'est pas, en effet, la physique et la cosmologie traditionnelles seules qu'attaque et combat Galilée, c'est toute la philosophie et toute la *Weltanschauung* de ses adversaires. D'ailleurs, en ce temps-là, la physique et la cosmologie étaient solidaires de la philosophie, ou si l'on préfère, en faisaient partie. Or, si Galilée combat la philosophie d'Aristote, c'est au profit d'une autre philosophie sous les bannières de laquelle il se range : au profit de la philosophie de Platon. D'une certaine philosophie de Platon (4).

1. Cf. tout le début de la deuxième journée.

2. C'est pourquoi les raisonnements de Galilée ne sont pas tous au même niveau.

3. Sur le caractère philosophique de l'œuvre galiléenne voir E. CASSIRER « Wahrheitsbegriff und Wahrheitsproblem bei Galilei », *Scienza*, septembre-octobre 1937.

4. Il y a, dans l'histoire de la philosophie, plusieurs Platons et plusieurs platonismes. Il y en a, notamment, deux types différents : le platonisme ou plus exactement, le néo-platonisme, de l'Académie Florentine, mélange de mystique, d'arithmologie et de magie ; et il y a le platonisme des mathématiciens, celui d'un Tartaglia et d'un Galilée ; un platonisme qui est un mathématisme, sans plus. Ne pas avoir distingué entre ces deux platonismes — pour l'un le *Timée* est un traité de cosmologie magique, pour l'autre, un essai de physique mathématique — est le péché véniel du beau livre de M. E. A. BURTT, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, London, 1925, et aussi, mais mortel, cette fois-ci, de celui de M. E. STRONG, *Procedures and Metaphysics*, University of California

De là, dès le début du *Dialogue*, l'attaque contre la conception traditionnelle du Cosmos, avec sa séparation tranchée entre les cieux et la terre, le monde céleste et le monde sublunaire (1), opération pour laquelle Galilée utilise toutes les données fournies par l'astronomie nouvelle, les découvertes du *Nuntius Sidereus* qui font voir dans la lune un corps strictement comparable, et de même nature, que la terre. De là aussi les allusions à Platon, disséminées à travers tout le livre, dont la forme dialoguée s'inspire, sans nul doute, de Platon et qui commence en outre, par un mythe cosmologique pseudo-platonicien ; de là, les allusions à la méthode socratique, méthode qu'applique d'ailleurs — et avec succès — le porte-parole de Galilée, Salviati. Tout cela pour nous dire : faites attention ! Dans la lutte séculaire qui oppose l'un à l'autre les deux grands philosophes, nous, nous sommes pour Platon (2).

Press, Berkeley, 1936. Sur les deux platonismes voir L. BRUNSCHVICG, *Les étapes de la philosophie mathématique*, Paris, 1922, pp. 69 sq. et *Le Progrès de la conscience dans la philosophie occidentale*, Paris, 1927, pp. 39 sq.

1. Ainsi dès le début du *Dialogue* (p. 42 sq.) Galilée nous montre la physique et la cosmologie aristotéliennes fondées sur la croyance à la perfection du cercle et du « mouvement circulaire plus parfait que le mouvement rectiligne : combien celui-ci est plus parfait que celui-là, il le prouve par la perfection de la ligne circulaire comparée à la droite, appelant celle-ci parfaite, et l'autre imparfaite : imparfaite parce que si elle est infinie, elle manque de fin et de terme ; si elle est linéaire, il y a en dehors d'elle quelque chose où elle pourrait être prolongée. C'est là la première pierre, base et fondement de toute l'architecture du monde aristotélien, sur laquelle se fondent toutes les autres propriétés du non-grave et du non-léger, de l'ingénérable, incorruptible et exempt de toute mutation, sauf de la locale, etc. Et toutes ces affections, il les affirme être propres au corps simple et qui se meut d'un mouvement circulaire ; tandis que les affections opposées de la gravité, légèreté, corruptibilité, etc., il les assigne aux corps composés naturellement d'un mouvement rectiligne. D'où, si l'on trouve un manquement dans la stabilité de ce qui a été dit, on pourra raisonnablement douter de tout le reste, qui sera construit là-dessus ». Or, pour Galilée lui-même, il est ridicule de faire une distinction de perfection entre les lignes mathématiques (cf. *Il Saggiatore*, Opere, VI, p. 293, où Galilée dit ne pas avoir lu les chroniques contenant les titres de noblesse des figures mathématiques), autant qu'il est injustifié de voir dans l'immutabilité — peu sûre, d'ailleurs — du monde céleste un signe de perfection. Pourquoi, en effet, la vie et la mobilité du monde sublunaire ne serait-elle pas, au contraire, une perfection plus grande que l'immobilité glacée des cieux ? (*Dialogue*, I, p. 85). L'aristotélisme lui-même ne voit-il pas dans le mouvement une réalité et dans le repos, une simple privation ? — Notons enfin que, pour faire la critique d'Aristote, Galilée estime devoir non pas lui opposer des faits d'expérience, mais un autre système, et que sa construction rejette l'anthropocentrisme comme une impertinence (*Dialogue*, III, p. 399).

2. Le platonisme de Galilée, fait, à notre avis, de toute première importance et sur lequel nous reviendrons plus bas (pp. 117 sq.), a été remarqué par quelques-uns des historiens récents du grand florentin. Ainsi E. Strauss, auteur d'une excellente, bien que parfois modernisante, traduction du *Dialogue* en allemand (G. GALILEI, *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme*, aus dem Italienischen übersetzt und erläutert von E. Strauss, Leipzig, Teubner, 1891, p. xlii) observe très justement l'influence platonicienne sur la forme même du *Dialogue* et ajoute : « Die platonische Lehre von dem unbewussten Wissen und der Wiedererinnerung, die Galilei mit besonderer Vorliebe erwähnt, beeinflusst seine Darstellung ; er will nicht nur die erkannte Wahrheit überliefern, auch den psychologischen Vorgang bei dem Acte der Erkenntnis veranschaulicht er, er gibt uns ein literarisches Gegenstück zu der berühmten Mathematikergruppe der Raphaelischen Schule von Athen, welche malerisch die Stufen der

Une œuvre « historique » : sans doute, Galilée ne nous y raconte pas, à proprement parler, l'histoire de sa pensée, mais se rendant bien compte de l'effort titanique qu'il a dû dépenser pour passer, lui-même, de la physique d'Aristote à celle de l'*impetus* et, de là, à celle des *Discours*, il nous fait refaire en quelque sorte avec lui-même la route qu'il a, lui-même, parcourue ; de là, à quelques pages de distance, des raisonnements appartenant à des étapes et des niveaux bien différents de la pensée (1) ; de là, l'emploi de termes traditionnels — toujours les mêmes — dont cependant le sens se modifie progressivement (2) ; de là l'absence d'une terminologie rigide ; de là aussi un certain clair-obscur qui baigne le *Dialogue* : l'atmosphère du progrès réel de la pensée. De là, enfin, une réticence et une prudence qui laissent délibérément dans l'ombre certains problèmes ; qui évitent certains noms et certaines doctrines, trop difficiles, ou bien, trop dangereux (3).

Ouvrons maintenant le *Dialogue*. Les rôles des interlocuteurs (4)

Erkenntnis darstellt. Die ganze Inszenierung, die an die platonischen Dialoge erinnert und erinnern will, legt ein rühmliches Zeichen für die künstlerische Befähigung Galileis ab. » M. E. CASSIRER, dans son *Erkenntnisproblem*, v. I, estime que Galilée a renouvelé l'idéal platonicien de la science qui comprend : d'où suit, pour Galilée (et Kepler) la nécessité de mathématiser la nature, car (p. 389) « Das platonische Ideal des Begreifens ist nur von dem möglich, was in dauernder Einheit sich erhält ». Malheureusement (à notre avis, du moins), M. Cassirer kantise, si l'on peut dire, Platon. Aussi le « platonisme » de Galilée se traduit-il, pour lui, par la prévalence donnée par celui-ci, à la fonction (p. 402) et à la loi (p. 397) sur l'être et la substance. Galilée aurait ainsi renversé la proposition scolastique *operatio sequitur esse*. M. L. OLSCHKI (*Galilei und seine Zeit*, Leipzig, 1927) parle très justement de la *Platonische Naturansicht* chez Galilée (p. 350) et voit l'essence de son œuvre dans une *Uebertragung mathematischer Denkmethode auf die Erfassung der Naturvorgänge* (p. 360). Il remarque même (à la suite de Mach, d'ailleurs) que Galilée, parfois, *vertraute der Theorie mehr als der Beobachtung* (p. 268), ce qui, cependant — chose curieuse ! — ne l'empêche pas de nous dire que la dynamique galiléenne provient de l'étude de la balistique (p. 206), que la technique est la *Vorbereitung seiner Forschung* (207), que Galilée prolongeait la tradition des ingénieurs de la Renaissance, et que « in Galilei's Methode dem Experimente das Uebergewicht zukommt und die geometrische Fassung seiner Ergebnisse lediglich deren Uebertragung in eine strenge Begriffssprache ist, die nur auf diesem konkreten Erfahrungsboden sinnvoll und zweckhaft erscheint » (p. 212). — C'est M. E. BURTT, *The Metaphysical Foundations of the Modern Physical Science*, 1925, qui nous paraît avoir le mieux compris la substructure métaphysique — mathématisme platonisant — de la science classique.

1. Surtout dans la critique de l'aristotélisme. L. OLSCHKI, *Galilei und seine Zeit*, pp. 198-204, estime que Galilée raconte sa propre histoire, ou même que le *Dialogue* réunit des parties appartenant effectivement à des étapes différentes de l'évolution de la pensée de son auteur (p. 355).

2. Ainsi par exemple le sens du terme *impetus* qui, de force = cause du mouvement animant le mobile, devient moment = produit du mouvement par la masse = quantité de mouvement.

3. Ainsi ne nomme-t-il jamais Bruno. Et très rarement Kepler.

4. Ces interlocuteurs ne sont, d'ailleurs, nullement de simples masques, des prête-noms de l'auteur. Non seulement Salviati et Sagredo — figures historiques — mais même Simplicio,

y sont intrinsèquement et parfaitement délimités (1). Salviati, le porte-parole de Galilée, représente l'intelligence mathématique de la science nouvelle ; Sagredo, la *bona mens*, l'esprit déjà libéré des préjugés de la tradition aristotélicienne et des illusions du sens commun, l'esprit, par conséquent, capable de saisir — et même, l'ayant saisie, d'en développer les conséquences —, la vérité nouvelle du raisonnement galiléen ; Simplicio, le sens commun, imbu des préjugés de la philosophie scolastique, qui croit à l'autorité d'Aristote et de la science officielle, et se débat péniblement sous le poids de la tradition.

Au cours du débat c'est Simplicio qui est, en général, chargé d'opposer à Copernic les arguments anciens et nouveaux des partisans de l'astronomie géocentriste. Et pourtant, lorsqu'on en vient aux arguments *physiques*, aux vieux arguments des nuages, des oiseaux, à l'argument des graves tombant perpendiculairement sur la terre, Simplicio cède la place à Salviati. C'est que les objections physiques, à l'encontre des autres, sont à prendre au sérieux ; et pour les discuter et les réfuter, toute la subtilité de Salviati, s'appuyant *ouvertement* sur les recherches mécaniques de Galilée, n'est pas de trop.

Nous connaissons ces objections. Nous connaissons aussi les réponses. Or, celle de Galilée ne diffère pas beaucoup, à première vue du moins, de la réponse de Bruno ; de même que celui-ci, c'est le principe de la relativité du mouvement et la dynamique de l'*impetus* que Galilée oppose aux arguments aristotéliens.

« Si la terre se mouvait, nous dit Simplicio (2), reproduisant le passage célèbre du *De Coelo* (3), soit en elle-même en étant au centre du Monde, soit en cercle, se tenant en dehors du centre, il est inévitable qu'elle se meuve violemment puisque ce n'est pas là son mouvement naturel ; car s'il l'était, il serait celui de toutes ses parties ; mais celles-ci se meuvent toutes en ligne droite vers le centre ; étant donc violent et contre la nature, il ne pourrait être éternel : or, l'ordre du monde est éternel, donc... En deuxième lieu : tous les autres corps qui se meuvent d'un mouvement circulaire, restent en arrière et se meuvent de plus d'un mouvement, à l'exception du

ont une personnalité très marquée ; ce sont des êtres vivants, aussi vivants que les personnages des dialogues de Platon. Cf. E. WOHLWILL, *op. cit.*, v. II, pp. 85 sq. ; A. FAVARO, « Amici et corrispondenti di Galileo », VIII, *Nuovo Archivio Veneto*, 1903, et G. GABRIELI, « Degli interlocutori dei Dialoghi Galileiani... », *Rendiconti dell'Accademia dei Lincei*, 1932.

1. Cf. *Annuaire de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes*, 1936-37.

2. *Dialogo*, II (*Opere*, v. VII), pp. 150 sq.

3. ARISTOTE, *De Coelo*, II, 14.

premier mobile (1) : c'est pourquoi il serait nécessaire que la terre se meuve également d'un double mouvement ; et si elle le faisait, il faudrait nécessairement que l'aspect du ciel des étoiles fixes se modifie, ce qui ne se voit pas : mais elles naissent (apparaissent) et se lèvent plutôt sans aucun changement aux mêmes places et se couchent aux mêmes (2). Troisièmement, le mouvement des parties et du Tout est naturellement dirigé vers le centre de l'Univers ; aussi la terre s'y trouve-t-elle.

« Après cela, continue Simplicio, Aristote se demande si le mouvement des parties consiste à aller naturellement vers le centre de l'Univers, ou bien vers le centre de la terre ; et il conclut que leur instinct est d'aller vers le centre de l'Univers, et par accident seulement vers le centre de la terre. Il le confirme finalement par un quatrième argument tiré de l'expérience des graves, lesquels, tombant du haut vers le bas, arrivent en perpendiculaire sur la surface de la terre ; et de même, les corps projetés perpendiculairement vers le haut, retournent vers le bas perpendiculairement et par la même ligne. Ces arguments démontrent clairement que ce mouvement est dirigé vers le centre de la terre. Aristote indique enfin que les astronomes ont produit d'autres raisons encore pour confirmer cette opinion, à savoir celle que la terre est immobile au centre du monde. Il en donne une seule, à savoir celle que toutes les apparences que l'on perçoit et qui se produisent lors des mouvements des étoiles s'accordent avec la position de la terre dans le centre, accord qui n'aurait pas lieu si elle n'y était pas. Les autres arguments allégués par Ptolémée et les autres astronomes, je puis les produire tout de suite, si vous le désirez, ou plus tard, lorsque vous aurez répondu ce qui vous plaît aux arguments d'Aristote » (3).

Les arguments aristotéliens, nous le savons, ne sont nullement négligeables. Et Galilée aura à les discuter un par un. Mais avant de le faire, et avant de passer à la discussion de certains arguments de Ptolémée, tenus en réserve par Simplicio (4), Galilée estime nécessaire de développer avec plus d'ampleur la fameuse démonstration tirée

1. Tous les corps célestes (toutes les planètes) possèdent un double mouvement et « retardent » sur celui de la voûte céleste.

2. Si la terre se meut d'un mouvement de rotation, elle doit posséder également un mouvement orbital, ce qui devrait provoquer des modifications dans l'aspect du ciel. Copernic a déjà répondu à cette objection en alléguant l'immensité du ciel des fixes, par rapport auquel l'orbite de la terre est conçue comme un point. Cf. COPERNIC, *De Revolutionibus*, I, I, c. vi.

3. Les autres arguments étant spécifiquement astronomiques, nous ne les étudierons pas. Leur étude forme le contenu de la troisième journée du *Dialogue*.

4. Notamment, l'argument de la force centrifuge.

de la chute des graves sur laquelle Simplicio avait glissé un peu trop rapidement, et de compléter l'argument de la tour, et des corps projetés en l'air, par les preuves plus « modernes » du navire en mouvement, de la bombarde et de la coulevrine (1).

Aussi, en renvoyant à une autre journée l'étude des arguments astronomiques, Salviati enchaîne-t-il (2) :

« L'argument des corps graves qui, tombant du haut en bas, arrivent à la surface de la terre en suivant une ligne perpendiculaire, est toujours présenté comme l'argument le plus fort ; c'est, dit-on, un argument irréfutable en faveur de l'immobilité de la terre : car si elle possédait la rotation diurne, une tour, du sommet de laquelle on laisse tomber une pierre, participerait à la rotation de la terre et, pendant le temps que la pierre emploie pour sa chute, la tour serait emportée de plusieurs centaines de coudées vers l'Orient ; aussi la pierre devrait-elle tomber sur la terre en un endroit éloigné de la base de cette distance-là. Effet que l'on confirme par une autre expérience, à savoir celle de laisser tomber une balle de plomb du sommet du mât d'un navire immobile, en notant la place où elle tombe, place qui est voisine du pied du mât. Mais si du même lieu on laisse tomber la même balle lorsque le navire se meut, le lieu de sa chute sera éloigné du premier d'une distance égale à l'espace que le navire aura parcouru pendant le temps de la chute de la balle ; ceci pour la seule raison que le mouvement naturel de la balle laissée libre consiste à se porter en ligne droite vers le centre de la terre. On fortifie cet argument par l'expérience d'un projectile lancé en haut à une très grande distance, tel, par exemple, un boulet tiré d'un canon dressé perpendiculairement à l'horizon ; ce boulet, pour son aller et retour emploie un temps suffisant pour que, à notre parallèle, le canon, et nous avec lui, soyons portés par la terre à plusieurs milles vers l'Orient. Aussi la balle, en retombant, ne pourrait pas retomber près du canon, mais resterait en arrière aussi loin vers l'Occident que la terre aurait avancé vers l'Orient. On allègue en plus une troisième, et la plus probante, expérience, à savoir, celle de

1. Ces preuves, nous le savons, apportent peu de nouveau et ne sont, à vrai dire, que des formes différentes d'un seul et même argument. Aussi s'est-on étonné de voir Galilée les exposer et les discuter avec autant de soin, et s'est-on demandé la raison de ces répétitions oiseuses. Elle est pourtant bien simple : les arguments « modernes », ceux de la bombarde et de la coulevrine, arguments lancés dans la circulation par le grand astronome Tycho Brahe, ce sont les arguments qu'on entend alléguer par tous les aristotéliciens » à la page » ; ce sont aussi ceux qui produisent le plus d'effet.

2. *Dialogo*, II, p. 151 sq.

tirer avec une coulevrine une balle vers l'Orient et puis une autre, avec la même élévation et la même portée, vers l'Occident ; la portée du tir vers l'Occident serait alors beaucoup plus grande que l'autre, vers l'Orient ; parce que, tandis que la balle va vers l'Occident, le canon, porté par la terre, va vers l'Orient ; aussi la balle devrait-elle percuter sur la terre à une distance du canon aussi grande que la somme des deux parcours, l'un, fait par elle-même, vers l'Occident, et l'autre, fait par le canon, porté par la terre, vers l'Orient ; et, au contraire, du parcours fait par la balle vers l'Orient, il faudrait retirer celui qu'aurait fait le canon qui la suit ; admettons donc, pour l'exemple, que la portée de la balle elle-même soit de cinq milles et que la terre, à telle latitude, fasse, pendant le temps du parcours de la balle, trois milles ; alors, lors du tir vers l'Occident la balle touchera la terre à une distance de huit milles de la pièce, distance qui se compose des cinq milles franchis par la balle dans son mouvement propre vers l'Occident et des trois milles parcourus par la pièce vers l'Orient ; mais le tir vers l'Orient ne porterait qu'à deux milles, car c'est ce qui reste lorsque l'on retire des cinq milles du tir les trois milles du mouvement de la pièce vers la même direction : or, l'expérience montre que les portées des tirs sont égales ; par conséquent, la pièce reste immobile, la terre l'est donc également. En outre, les tirs vers le Midi et vers le Nord confirment la stabilité de la terre non moins que les expériences précédentes ; car, si la terre se mouvait, on ne pourrait jamais atteindre le but que l'on aurait visé, mais tous les coups seraient déviés vers l'Occident par suite du chemin que le but, porté par la terre, parcourrait vers l'Orient, pendant que la balle serait dans l'air.

« La même chose, d'ailleurs, se passerait dans tous les cas où l'on tirerait un coup de canon : la balle passerait au-dessus ou au-dessous du but selon que l'on tirerait vers l'Orient ou vers l'Occident... (1)

Passons maintenant à la critique. Elle est à la fois très profonde et très simple. Les raisonnements des aristotéliciens, nous dit Galilée ne sont que des paralogismes. Ils présupposent ce qu'il faut démontrer. Et, sans doute, c'est vrai. Mais l'aristotélicien pourrait fort bien ne pas accepter la critique, suite du reproche que lui avait

1. *Dialogo*, II, p. 153.

déjà adressé Copernic : Aristote raisonne, non pas, ainsi qu'il le prétend, à partir du fait, mais bien au contraire, à partir d'une théorie (1). A quoi l'aristotélicien pourrait, à bon droit, répondre :

- a) qu'il est impossible de raisonner autrement ;
- b) que Galilée fait de même.

En effet, le raisonnement aristotélicien présuppose une théorie, ou si l'on préfère, une notion déterminée du mouvement : processus qui affecte le mobile. Il présuppose en outre que la perception sensible nous permet d'appréhender directement le réel physique (2) ; que c'est même là le seul moyen de l'appréhender. Et que, par conséquent, une théorie physique ne peut jamais mettre en doute la donnée immédiate de la perception.

Or Galilée le nie expressément. Il part, lui, des admissions directement opposées :

- a) que le *réel* physique n'est pas donné aux sens, mais au contraire, appréhendé par la raison ;
- b) que le mouvement n'affecte pas le mobile, qui reste indifférent vis-à-vis de tout mouvement qui l'anime, et qu'il n'affecte que les rapports entre un mobile et un objet qui ne se meut pas.

Paralogisme au point de vue de Galilée, le raisonnement aristotélicien est inattaquable en soi.

Dialectiquement, toutefois — à l'intérieur du *Dialogue*, du moins, — Galilée a sans doute le droit de désigner le raisonnement aristotélicien comme un paralogisme. C'est que déjà, avant d'avoir exposé les preuves physiques et mécaniques de l'immobilité de la terre, il a posé le double principe de la relativité optique autant que mécanique du mouvement (3).

La relativité optique du mouvement n'a sans doute jamais été reconnue ; et déjà Copernic en avait conclu à l'impossibilité d'une discrimination purement optique entre les deux astronomies : géo- et héliocentriques ; en effet, tout mouvement apparent de la voûte céleste peut être interprété, physiquement, de l'une ou de l'autre manière (4). C'est cela justement qui explique l'importance des preuves physiques alléguées par Aristote et par Ptolémée.

1. *V. supra*, p. 8.

2. Cf. *Dialogo*, p. 153.

3. Cf. *Dialogo*, I, pp. 57, 101, 139, 141.

4. COPERNIC, *De Revolutionibus*, I, I, c. v. GALILÉE, *Dialogo*, II, 139, 141.

La relativité optique du mouvement est indubitable. Aussi, nous dit Galilée, doit-elle être posée comme « principe », dès le début de la discussion (1). « Posons donc en principe de notre investigation que, quel que soit le mouvement que l'on attribue à la terre, il est nécessaire que pour nous, qui sommes habitants d'icelle et par conséquent participant de celui-là, il reste totalement imperceptible et comme n'étant pas, tant que nous envisageons uniquement les choses terrestres ; mais, au contraire, il est tout autant nécessaire que le même mouvement soit commun à tous les autres corps et objets visibles qui, étant séparés de la terre, en sont privés. De telle façon que la vraie manière de rechercher si un mouvement quelconque peut être attribué à la terre et, le cas échéant, lequel, est de considérer et d'observer si dans les corps séparés de la terre se laisse observer une apparence de mouvement qui convient également à tous... » Ce mouvement, commun aux corps séparés de la terre, est justement le mouvement diurne. Aussi, *optice* ou *astronomicè loquendo*, peut-on l'attribuer soit à la terre, soit aux cieux ; ou, comme le dit en plaisantant Sagredo (2), on peut attribuer le rôle du *primum mobile* à la terre ou aux cieux.

En fait le « principe » posé par Galilée est plus vaste que celui de la relativité optique ; en posant l'impossibilité de percevoir le mouvement auquel nous participons nous-mêmes, il a posé déjà la relativité *physique* du mouvement. Et même, il l'a posée comme équivalente et équipollente à la relativité optique. En effet, si le mouvement est absolument imperceptible pour celui qui y participe, il s'ensuit que le mouvement de la terre n'aura aucune influence sur les phénomènes qui se passent sur celle-ci. Ce qui, en termes modernes, implique l'attribution à tout mouvement, et notamment au mouvement *circulaire*, des caractères du mouvement inertial.

Nous aurons l'occasion de revenir sur cette question. Suivons maintenant Galilée. « Notons donc : le mouvement est mouvement et agit comme mouvement en tant seulement qu'il est en rapport avec les choses qui en sont privées ; mais, en ce qui concerne celles qui y participent toutes également, il est sans effet ; il est comme s'il n'était pas (3) ; aussi les marchandises dont un navire est chargé se

1. *Dialogo*, II, p. 139 sq.

2. *Dialogo*, II, p. 158.

3. Par rapport au mobile lui-même, le mouvement est « comme rien » ; or, le « rien » n'a pas besoin de « cause ». Autrement dit, le mouvement, en tant que tel, agit aussi peu que le repos, ce qui permet de les placer tous deux sur le même plan ontologique. Cf. plus haut, II, pp. 47 sq. et plus bas pp. 162 sq.

meuvent en tant que laissant Venise elles passent par Corfou, par la Crète, par Chypre et vont à Alep ; lesquels Venise, Corfou, Crète, etc... demeurent et ne se meuvent pas avec le navire. Mais pour les balles, caisses et autres colis dont le navire est chargé et rempli, et par rapport au navire lui-même, le mouvement de Venise en Syrie est comme non-existant, et ne change rien à leurs rapports mutuels, et cela parce qu'il est commun à eux tous et que tous y participent également ; et si parmi les marchandises qui se trouvent dans ce navire une des balles s'écartait d'un seul pouce d'une caisse, ce serait là pour elle un mouvement plus grand, par rapport à la caisse, que le voyage de deux mille milles fait par elles ensemble (1). »

A première vue Galilée n'innove aucunement. Et sa doctrine paraît pouvoir être acceptée par un aristotélicien. Mais uniquement à première vue. Car il faut se garder de confondre, ainsi qu'on le fait trop souvent, la relativité aristotélicienne du mouvement avec la relativité galiléenne (que l'on devrait d'ailleurs appeler plus exactement, cartésienne ou newtonienne). Pour Aristote, en effet, le mouvement, en tant que tel, implique nécessairement un repère, un point de rapport. Le mouvement local, en particulier, implique, comme point de comparaison, un point qui ne se meut pas. Mais le mouvement étant envisagé non point comme un pur et simple rapport entre deux termes, mais, répétons-le une fois de plus, comme un processus qui affecte réellement le mobile, le point de comparaison ou de rapport doit être un terme effectivement et réellement immobile : le monde et, tout spécialement, le centre immobile du monde. Rien de tel dans la conception galiléenne : le mouvement conçu comme un état-rapport qui n'affecte pas le mobile n'implique aucunement l'existence d'un point réellement et absolument en repos ; il implique seulement l'existence d'un point ou, plus exactement d'un corps « privé » du mouvement en question : les balles et les caisses par rapport les unes aux autres, le navire par rapport aux caisses, Corfou et Candie par rapport au navire, etc... Et Galilée justement d'en conclure : que le mouvement en tant qu'il est commun à plusieurs mobiles, est sans effet et comme non-existant en ce qui concerne leurs rapports entre eux, puisque entre eux rien ne se modifie, et qu'il ne produit d'effet qu'en ce qui concerne les relations que possèdent ces mobiles avec d'autres, qui sont privés du dit mouvement.

La réponse aux arguments, précédemment exposés par Salvati,

1. *Dialogo*, II, p. 141 sq.

s'ensuit tout naturellement : en effet, si la pierre et la tour participent ensemble au même mouvement de la terre, ce mouvement sera, pour elles, comme non-existant, et tout se passera comme s'il n'existait réellement pas, c'est-à-dire, comme si la terre était en repos. Ce qui implique, disons-le tout de suite, des conséquences très graves : notamment, la compatibilité de tous les mouvements ; et même bien plus : le fait qu'aucun mouvement ne peut en gêner un autre ; le fait que, l'un par rapport à l'autre, les mouvements (animant un seul et même mobile) sont comme non-existants. Or c'est cela justement que l'aristotélicien ne peut admettre. Pour lui, en effet, les mouvements expriment la nature du mobile, et sont, en eux-mêmes, naturellement qualifiés. Pour lui, le mouvement ne doit pas être pris en dehors du mobile ou du moteur, comme une entité existant en soi ; et divers mouvements, selon qu'ils sont compatibles ou non avec la nature du mobile, sont également compatibles ou non entre eux. Aussi n'admettra-t-il pas la riposte galiléenne. Le mouvement circulaire de la terre, si la terre tournait, serait d'un ordre et d'une nature entièrement différents du mouvement rectiligne de la chute, et n'aurait aucune raison de se combiner avec elle. Sans doute, si on le pressait, admettrait-il que l'on peut s'arranger pour qu'un grave exécute en même temps deux mouvements, mais justement, ce serait là un cas de mouvement « mécanique » et, du moins partiellement, violent (1).

Or, la pierre tombe en chute libre. Qu'est-ce donc qui pourrait l'obliger à suivre le mouvement de la tour ? Si, ainsi que justement on le suppose, rien ne la lie à la tour, il est peu vraisemblable qu'elle le fasse. Il l'est beaucoup plus, au contraire, d'admettre que la pierre tombant du haut de la tour se comporterait (si la terre tournait) tout autrement qu'elle ne se comporte en fait, à savoir, « de même que la pierre tombant du haut du mât d'un navire, qui, ainsi que le prouve l'expérience, tombe au pied du mât lorsque le navire se tient immobile, et loin de lui (restant en arrière) lorsque celui-ci se meut sur les flots (2) ». C'est là, on le reconnaît bien, l'argument de Tycho.

1. Il nous paraît certain que la conception Galiléo-Cartésienne du mouvement, prise à la lettre, est contradictoire et que la loi d'inertie implique, en dernière analyse, la conception newtonienne de mouvement et de repos absolus. Mais ce n'est pas le lieu de discuter cette question qui a fait déjà couler beaucoup d'encre. V. le résumé des discussions dans E. MACH, *Die Mechanik*, etc., 8^e éd., pp. 231 sq. Cf. également P. DUHEM, *Le mouvement absolu et le mouvement relatif*, Montligeon, 1907 et A. SEGMAT, *Systèmes de références et mouvements*, fasc. II, *Mécanique newtonienne et gravitation*, fasc. IV, *Le système absolu de la mécanique*, Paris, 1937.

2. *Dialogo*, II, p. 167.

Mais, en fait, en le proposant Tycho a dépassé la mesure. Acceptant de placer sur le même plan les processus terrestres (le navire) et cosmiques (la terre), il a, plus qu'à moitié, trahi la position aristotélécienne, fondée tout entière, ainsi que — dès le début du *Dialogue*, a eu soin de nous le dire Galilée (1), — sur la différence *essentielle* entre les lois de la terre et celles des cieux. Et Galilée, bien entendu, saura en tirer parti, en concluant, comme Bruno, du navire à la terre, de la terre aux cieux (2).

Aussi précise-t-il :

Salviati (3). « Vous dites : puisque, lorsque le navire est immobile, la pierre tombe au pied du mât, et lorsqu'il se meut, elle tombe loin du pied ; inversement, du fait que la pierre tombe au pied du mât on infère que le navire est immobile, et du fait qu'elle en tombe loin, il s'ensuit que le navire est en mouvement ; et ainsi, de la chute de la pierre près du pied de la tour s'infère l'immobilité de la terre. N'est-ce pas là votre raisonnement ? » Et *Simplicio* acquiesçant, *Salviati* poursuit. « Or, dites-moi, si la pierre, lâchée du haut du mât lorsque le navire marche à une grande vitesse, tombait précisément au même point du navire où elle tombe lorsque le navire était immobile, de quel service cette chute vous serait-elle pour vous assurer si le navire est immobile ou en marche ? » — *Simplicio* : « Absolument d'aucun. » — *Salviati* : « Très bien. Avez-vous déjà fait cette expérience avec le navire ? » — *Simplicio* : « Je ne l'ai pas faite ; mais je crois bien que les auteurs qui la produisent (comme argument) l'ont soigneusement observée ; d'ailleurs, la cause de la différence se reconnaît avec tant de clarté qu'elle ne laisse aucun doute. »

1. *Dialogo*, II, p. 42.

2. Le but que poursuit la discussion des arguments classiques contre le mouvement de la terre est double ; il s'agit, avant tout, de ruiner la conception traditionnelle des deux mondes et des deux physiques, d'affirmer l'unité fondamentale de la nature et de ses lois ; il s'agit ensuite d'élaborer et de faire pénétrer dans la conscience de ses lecteurs-auditeurs une nouvelle théorie, ou, plus exactement, une nouvelle conception du mouvement.

Or, l'affirmation de l'unité de la nature aboutit sans doute à l'égalisation par *en bas*, dans laquelle la nature céleste perd ses privilèges et se trouve ramenée au niveau de la nature terrestre ; mais elle débute par un mouvement dans la direction exactement opposée : l'égalisation par *en haut*, l'attribution à la terre et à la nature terrestre des propriétés et des privilèges de la nature des cieux. Aussi, ce ne sont pas les astres qui se trouvent, tout d'abord assimilés à la terre, mais, au contraire, c'est la terre qui se trouve transformée en un astre et donc par la même d'un mouvement circulaire *naturel*. C'est plus tard seulement que l'élan se renverse, que l'assimilation change de sens, et que l'homme s'aperçoit du vrai sens du message sidéral. En effet, si la terre est un astre, les astres à leur tour ne sont rien que des terres...

3. *Dialogo*, II, p. 169 sq.

Personne n'a jamais fait cette expérience, rétorque *Salviati* (1). Tous ces auteurs s'en sont tenus à l'autorité de leurs prédécesseurs, car s'ils l'avaient faite, ils auraient vu, comme le verra quiconque la fera, que la pierre tombe en tout état de cause au pied du mât, et que de ce fait on ne peut rien conclure ni pour ni contre le mouvement du navire, pas plus que du fait que la pierre tombe au pied de la tour rien ne s'ensuit ni pour ni contre le mouvement de la terre. C'est maintenant le tour de *Simplicio* de poser la question : « Et vous, cette expérience, l'avez-vous faite pour en parler avec autant d'assurance ? Car si ni vous ni les autres ne l'ont faite, la discussion est oiseuse, puisque là où il s'agit de choses aussi éloignées de la raison humaine, l'expérience seule peut apporter une décision (2). »

Le lecteur moderne trouvera peut-être que l'aristotélécien *Simplicio*, pour une fois, a raison. En effet, entre deux théories rivales et opposées, peut-on décider autrement que par une expérience ? Aussi s'attendra-t-il, probablement, à voir *Salviati* en donner à *Simplicio* le récit détaillé et sera-t-il surpris de l'entendre proclamer qu'elle est parfaitement inutile ; inutile, non seulement pour lui-même, *Salviati*, mais aussi pour *Simplicio* qui vient à l'instant même de la réclamer.

Salviati (3) : « Et moi, sans expérience, je suis sûr que l'effet s'ensuivra comme je vous le dis, puisqu'il est nécessaire qu'il s'ensuive ; et j'ajoute en plus que vous-même vous savez qu'il ne peut

1. *Dialogo*, II, pp. 171, 208. Galilée a raison : personne n'a jamais fait l'expérience, ce qui n'empêche pas un Antonio Rocco d'écrire et ce après la publication du *Dialogue* (*Eserciziuzioni filosofiche di Antonio Rocco, Opere*, vol. VII, p. 677) : « Che un sasso cadente dall'albero della nave corrente venga direttamente al piede dell'albero, io non lo credo ; e quando lo vedessi, m'ingegnerei trovarli altra cagione che la rivoluzione della terra (!). » En fait, l'expérience du navire n'a été réalisée qu'en 1641, par Gassendi. Elle eut un très grand retentissement : cf. *Recueil de Lettres des sieurs Morin, De la Roche, De Nevre et Gassend, et suite de l'apologie du sieur Gassend, touchant la question DE MOTU IMPRESSO A MOTORE TRANSLATO*, A Paris, chez Augustin Courbè... MDCL, préface : « M. Gassendi ayant été tousiours très curieux de chercher à justifier par les expériences la vérité des spéculations que la philosophie lui propose, et se trouvant à Marseille avec Monseigneur le Comte d'Allais en l'an 1641 fit voir sur une galère qui sortit exprès en mer par l'ordre de ce prince, plus illustre par l'amour et la connaissance qu'il a des bonnes choses, que par la grandeur de sa naissance, qu'une pierre laschée du plus haut du mast, tandis que la galère vogue avec toute la force et la vitesse possible, ne tombe point ailleurs qu'elle ne feroit si la même galère estoit arrestée et immobile ; si bien que soit qu'elle aille, ou qu'elle n'aille pas, la pierre tombe tousiours le long du mast à son pié et de mesme costé. Cette expérience faite en présence de Monseigneur le Comte d'Allais et d'un grand nombre de personnes qui y assistoient, semble tenir quelque chose du paradoxe à beaucoup qui ne l'avaient point vue : ce qui fut cause que M. Gassendi composa un traité *De motu impresso a motore translato* que nous vismes de lui la mesme année en forme de lettre écrite à M. du Puy. »

2. *Dialogo*, II, p. 169.

3. *Dialogo*, II, p. 171 sq. Cf. *Lettre à Ingoli, Opere*, VI, pp. 542, 546.

s'ensuivre autrement ; bien que vous prétendiez ou essayez de feindre que vous ne le savez pas. Mais je suis *un si bon accoucheur des cerveaux* (1) que je vous le ferai confesser de vive force. »

Arrêtons-nous ici un instant. Le passage que nous venons de citer — et qui n'est nullement isolé dans l'œuvre de Galilée (2) — nous paraît être d'une importance capitale : il commande, à notre avis, toute l'interprétation de l'œuvre galiléenne. Et donc de la science classique en général.

En effet, de quoi s'agit-il ? Tout simplement du rôle et de la place de l'expérience dans la science. Or, la science classique nous est, le plus souvent, présentée comme fondée avant tout sur l'expérience ; comme opposant la richesse, et la fécondité, du raisonnement expérimental à l'apriorisme stérile et verbal de la physique scolastique. Aussi voit-on habituellement dans Galilée l'observateur prudent et sagace (3), le fondateur de la méthode expérimentale (4), l'homme qui pèse, mesure et calcule, et qui, se refusant à suivre la voie du raisonnement abstrait, *a priori*, à partir des principes, cherche, au contraire, à fonder la science nouvelle sur la base solide de l'empirie. Et, sans doute, a-t-on raison. Il est clair que c'est l'observation du mouvement réel des planètes qui a conduit Kepler à la réforme de l'astronomie ; il est clair également que c'est en braquant sa lunette sur la voûte céleste, en observant les cièux, que Galilée a porté un coup mortel au Cosmos médiéval ; il est certain aussi que l'œuvre de Galilée est pleine d'appels et de recours à l'expérience, et à l'observation (5) : expérience du pendule, du plan incliné, etc... et d'attaques violentes contre les gens qui se refusent à admettre ce qu'ils voient, puisque ce qu'ils voient est contraire aux principes (ainsi, d'admettre que les nerfs partent du cerveau et non du cœur puisque

1. Souligné par nous.

2. Cf. *Il Saggiatore* (*Opere*, VI, p. 328 sq.) ; *Lettre à Ingoli* (*Opere*, v/VI, p. 545) : « *io sono stato doppiamente miglior filosofo di loro, perché loro al dir quello ch'è il contrario in effetto hanno ancor ajuto la bugia, dicendo d'aver ciò veduto dall'esperienza, ed io ne ho fatto l'esperienza, avanti la quale il natural di-corso mi aveva molto fermamente persuaso che l'effetto dovea succedere come appunto succede.* »

3. Cf. E. JOUGUET, *Lectures de Mécanique*, Paris, 1924, vol. I, p. 111.

4. Cf. E. MACU, *Die Mechanik* *, pp. 127 sq.

5. Une grande partie de la première journée du *Dialogue* est consacrée à l'expérience optique de la réflexion de la lumière sur des surfaces planes et rugueuses, et à la démonstration expérimentale du paradoxe qu'un miroir éclairé par le soleil paraît, généralement, plus sombre que le mur sur lequel il est placé, ainsi que du fait qu'une sphère polie est très mal visible. Galilée en conclut que si la lune en était une, on ne la verrait probablement pas du tout. V. *Dialogo*, I, p. 91 sq ; *Il Saggiatore*, p. 281.

Aristote enseigne le contraire) (1) ou même de regarder, de peur de voir des choses que leurs principes déclarent impossibles (2) ; pleine aussi de passages dans lesquels Galilée proclame la richesse infinie de la nature et condamne la présomption de gens qui prétendent pouvoir dire d'avance ce qu'elle peut ou ne peut pas faire... Et cependant ce n'est pas le porte-parole de Galilée, Salviati, mais l'aristotélicien Simplicio qui est présenté comme champion de l'expérience, et c'est Salviati, au contraire, qui en proclame l'inutilité.

Nous reviendrons encore sur ce problème. Pour le moment retenons le fait : la bonne physique se fait *a priori* (3).

La preuve c'est que, ainsi qu'au grand étonnement, et même à la grande indignation de Simplicio le proclame Salviati, Simplicio lui-même n'a pas besoin de recourir à l'expérience pour reconnaître le vrai. Car les choses dont il s'agit ne sont pas du tout « éloignées de la raison humaine », mais, au contraire, lui sont les plus proches. Si proches qu'avant toute expérience l'homme est déjà en possession des vrais principes de la nature du monde physique ; il sait la vérité, sans cependant s'en rendre compte ; aussi n'est-il pas nécessaire de la lui apprendre (ce qui est même impossible) ; il suffit, en lui posant des questions appropriées, de lui (et nous) montrer qu'il la connaît déjà.

C'est ainsi que, reprenant pour nous les analyses par lesquelles le jeune Galilée avait, à Pise, commencé l'étude du mouvement, Salviati demande à Simplicio (4) : « Donc, dites-moi : si vous aviez une surface plane, polie comme un miroir et d'une matière dure comme l'agate, et qui soit non point parallèle à l'horizon, mais quelque peu inclinée, et que sur cette surface vous posiez une balle parfaitement sphérique et d'une matière grave et extrêmement dure comme, par exemple, du bronze, et qu'elle soit lâchée en liberté, que croyez-vous qu'elle fera ? ne croyez-vous pas (comme je le crois), qu'elle restera immobile ? » — *Simpl.* : « Si cette surface était inclinée ? » — *Salv.* : « Oui, car c'est ainsi qu'on la suppose être. » — *Simpl.* : « Moi je ne crois pas qu'elle s'arrête aucunement, mais je suis sûr qu'elle se mouvra spontanément vers l'inclinaison. »

Personne n'a appris la réponse à Simplicio. C'est son jugement

1. *Dialogo*, II, p. 134.

2. *Dialogo*, II, p. 138.

3. Ce n'est qu'après la déduction que l'on institue l'expérience : cf. le passage de la *Lettre à Ingoli*, cité p. 66.

4. *Dialogo*, II, p. 171. Cf. *A l'aube de la science classique*, p. 68 sq.

naturel qui la lui a dictée : la preuve — pour le lecteur (1) — est donc faite que l'expérience réclamée par Simplicio n'est pas toujours nécessaire. Et l'emploi par Salviati de la méthode socratique (impossible, en effet, de ne pas la reconnaître, et de ne pas songer au *Théétète* et au *Ménon*), nous permet d'entrevoir le sens de son apriorisme et de voir qu'il se range sous la bannière de Platon. Salviati peut donc continuer (2) : « Et combien durera le mouvement de cette balle, et avec quelle vitesse ? Remarquez bien que j'ai dit une balle parfaitement ronde et un plan parfaitement lisse afin d'écarter tous les empêchements externes et accidentels ; et aussi, je veux que vous fassiez abstraction de la résistance de l'air, et de tous les autres obstacles accidentels s'il pouvait y en avoir d'autres (3). » — *Simpl.* : « Je l'ai très bien compris ; et, à votre question je réponds que cette balle continuera à se mouvoir *in infinito* pourvu que le plan s'étende ainsi ; elle aura un mouvement continuellement accéléré ; car telle est la nature des mobiles graves qui *vires acquirit eundo* ; et la vitesse sera d'autant plus grande que plus grande sera la déclivité. » — *Salv.* : « Mais si l'on voulait que la dite balle se meuve vers le haut sur cette même surface, croyez-vous qu'elle le ferait ? » — *Simpl.* : « Spontanément, non ; mais bien si elle est poussée ou jetée avec violence. » — *Salv.* : « Et si elle eût été poussée par cet *impetus* à elle violemment imprimé, quel serait son mouvement et combien durerait-il ? » — *Simpl.* : « Le mouvement irait en retardant et se ralentissant toujours, parce qu'il serait contre nature, et serait plus long ou plus bref selon que l'*impulsion* (4) serait plus ou moins forte et selon que la déclivité serait plus ou moins grande. » — *Salv.* (5) : « Ainsi vous avez expliqué les accidents d'un mobile sur deux plans différents ; et vous dites que, sur un plan incliné le mobile grave descend spontanément et va en s'accéléralant constamment, et que, pour le retenir au repos il faut user de la force ; mais que sur le plan ascendant on a besoin de force pour le lancer et même pour le retenir et que le mouvement (6) à lui imprimé va en s'affaiblissant constamment et finalement s'annihile. Vous dites encore que dans l'un et dans

1. Encore une fois : n'oublions jamais le rôle du lecteur. En fait, c'est le personnage le plus important du dialogue.

2. *Ibid.*, p. 172.

3. Une surface parfaitement lisse, une balle parfaitement ronde, etc., nous ne sommes plus dans le monde de la réalité sensible. Nous sommes dans le monde archimédien de la géométrie réalisée. Cf. *A l'aube...* p. 72 sq.

4. Souligné par nous. Le texte dit : *impulso*.

5. *Dialogo*, II, p. 172 sq.

6. Souligné par nous. Le texte dit : *movimento*.

l'autre cas des différences naissent de la plus ou moins grande inclinaison ou élévation du plan ; et que de la plus grande inclinaison suit une vitesse plus grande et, au contraire, sur le plan qui s'élève, le même mobile, lancé par la même force, se meut à une distance d'autant plus grande que l'élévation est moindre. Or, dites-moi ce qui arrivera au même mobile sur une surface qui ne serait ni inclinée ni élevée ? » — *Simpl.* : « Ici il faut que je pense un peu à la réponse. La surface n'ayant pas de déclivité, il ne peut y avoir d'inclinaison naturelle au mouvement, et n'ayant pas de montée, il ne peut y avoir de résistance naturelle à être mu. Aussi la balle devra-t-elle demeurer indifférente entre la propulsion et la résistance au mouvement ; il me semble donc qu'elle devra rester naturellement arrêtée (au repos). » — *Salv.* : « Je le crois aussi, lorsqu'on la pose immobile ; mais si un *impetus* vers quelque côté lui était donné, que s'ensuivrait-il ? » — *Simpl.* : « Il s'ensuivrait qu'elle se mouvrait vers ce côté. » — *Salv.* : « Mais quel sera ce mouvement ? continuellement accéléré, comme sur le plan incliné, ou successivement retardé comme sur l'ascendant ? » — *Simpl.* : « Je ne vois aucune cause d'accélération ni de retard pour ce qu'il n'y a ni déclivité ni acclivité. » — *Salv.* : « Sans doute ; mais s'il n'y a pas de cause de retard, bien moins encore doit-il y avoir de cause d'immobilité (1) ; combien longtemps donc estimez-vous que le mobile continuera à se mouvoir ? » — *Simpl.* : « Aussi longtemps que durera la longueur de cette surface qui ne s'abaisse ni ne s'élève. » — *Salv.* : « Par conséquent, si cet espace était sans terme, le mouvement serait pareillement sans fin, c'est-à-dire éternel ? » — *Simpl.* : « Il me semble, à condition que le mobile soit d'une matière pouvant durer. »

Le principe de la persistance éternelle du mouvement horizontal — et la persistance de sa vitesse — sont désormais acquis. Et les historiens de Galilée — et ceux de la physique — de citer ce passage, ainsi que des passages analogues, comme une formule restreinte du principe d'inertie (2). Or, en fait, pas plus qu'à Pise, Galilée ne peut faire abstraction de la pesanteur, qualité naturelle des graves, pas

1. L'immobilité n'est présentée par Galilée que comme le degré infini de la lenteur. Or, comme Galilée n'admet pas de passage brusque de l'un de ces états à l'autre (II, pp. 59, 63), une cause qui provoque l'arrêt doit provoquer un ralentissement progressif. Inversement, s'il n'y a pas de cause de ralentissement, il ne peut y avoir de cause ou principe de repos. L'opposition à Aristote, à la physique de l'*impetus*, à Kepler est parfaitement nette. Cf. plus haut, p. 32.

2. Cf. E. WOHLWILL, « Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes », *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, v. XV, pp. 14 sq., 132 sq., 134.

plus qu'à Pise, il ne peut oublier que le *plan horizontal réel est une surface sphérique*. Et la suite de la discussion le montre parfaitement bien.

Salv. (1) : « Ceci — le caractère perdurable du mobile — est déjà admis, étant donné qu'on a décidé de supprimer tous les obstacles accidentels et extérieurs, et la fragilité du mobile, en ce cas, est un des obstacles accidentels (2). Dites-moi donc, quelle estimez-vous être la cause de ce que la balle se meut spontanément sur le plan incliné, et ne le fait pas sans violence sur celui qui monte ? » — *Simpl.* : « Le fait que l'inclination des corps graves est de se mouvoir vers le centre de la terre et de ne se mouvoir vers la circonférence que par violence : or le plan incliné est celui qui augmente le voisinage du centre, et le relevé est celui qui en augmente l'éloignement. » — *Salv.* : « Ainsi donc, pour qu'une surface ne soit ni inclinée ni élevée, il faudrait que dans toutes ses parties elle soit également éloignée du centre. Mais une telle surface se trouve-t-elle dans le monde ? » — *Simpl.* : « Il n'en manque pas. Ainsi celle de notre globe terrestre, pourvu qu'elle soit bien polie et non telle qu'elle est, rugueuse et couverte de montagnes ; mais telle qu'une eau tranquille et placide. » — « Or, répond Salviati, la mer n'est-elle pas une telle surface ? par conséquent, un navire qui se mouvra sur cette surface, avec une impulsion une fois conférée, se mouvra uniformément et éternellement. La pierre, qui est sur le sommet du mât de ce navire, ne se meut-elle pas aussi, portée par celui-ci, sur la circonférence d'un cercle et, par conséquent, d'un *mouvement qui est indélébile en elle* (3) tant que les obstacles extérieurs sont écartés ? Et ce mouvement n'est-il pas d'une vitesse égale à celle du navire ? »

Nous voilà donc revenus au problème classique de la persistance du mouvement dans le mobile séparé du moteur ; et replacés, semble-t-il, dans la situation de Bruno (4). Aurons-nous, comme celui-ci, à choisir entre la théorie aristotélicienne de l'influence du milieu et la doctrine parisienne de l'*impetus* (5) ?

Oui et non. La doctrine aristotélicienne est, sans doute, à rejeter purement et simplement ; mais la théorie parisienne n'est pas à être adoptée telle quelle ; elle subira, ou plus exactement, elle a déjà subi une modification profonde : l'*impetus* a cessé d'être compris

1. *Dialogo*, II, p. 173. Cf. *Ibid.*, I, p. 53.

2. Pour l'aristotélicien c'est là un obstacle *essentiel*.

3. Souligné par nous. Le texte dit : *d'un moto indelebili in lei*.

4. Cf. *plus haut*, p. 43 sq.

5. Telle est l'interprétation de DUREM ; cf. *Études sur Léonard de Vinci*, v. III, p. 560 sq.

comme la *cause* du mouvement ; il est identifié au mouvement lui-même.

L'objection la plus forte des aristotéliciens contre la doctrine de l'*impetus* était une objection ontologique : un accident ne passe pas d'un corps à un autre ; aussi l'*impetus* ne peut-il pas le faire. Sans doute, répond Galilée, si l'*impetus* veut dire : force causant le mouvement ; mais le *mouvement lui-même* passe.

Contre la théorie aristotélicienne, Galilée utilise les vieux arguments « parisiens ». Le vent qui emporte facilement une plume, ou du liège, mais est incapable d'emporter une pierre, ou un boulet de canon... tandis qu'une pierre ou un boulet lancés par la main, ou par la bombarde, volent beaucoup plus loin qu'une plume, ou qu'un morceau de liège ; le pendule pesant qui se meut beaucoup plus longtemps qu'un pendule léger ; la flèche qui vole contre le vent, et vole mieux lorsqu'elle est lancée la pointe en avant que lorsqu'elle l'est par le travers... L'erreur d'Aristote, qui place la motricité dans l'air, est de confondre la facilité d'être mû avec la faculté d'emmagasiner et de conserver le mouvement. La première, sans doute, est liée à la légèreté ; la seconde, au contraire, à la pesanteur. Le milieu peut, certes, avoir de l'influence sur le mouvement du mobile : généralement parlant, c'est un obstacle ; mais le mouvement du mobile est propre à celui-ci. D'où l'on conclut que l'*impetus* avec lequel se meut le navire reste *indélibilement imprimé* dans la pierre après qu'elle se soit séparée du mât, ... et que ce mouvement ne cause ni empêchement ni retardement au mouvement « naturel » de la pierre vers le bas ; et de là il s'ensuit que, bien qu'avec la vitesse du navire la trajectoire réelle de la pierre puisse être allongée à volonté, néanmoins, la pierre ne mettra pas plus de temps à la parcourir qu'elle n'en met pour tomber au pied du mât du navire au repos. Et qu'un boulet tiré horizontalement du sommet d'une tour tombera à terre — bien qu'ayant parcouru deux, trois, six ou dix mille pas — exactement au même moment qu'un boulet qui en tomberait directement, sans avoir reçu aucune impulsion (1).

Ce ne sont pas, on s'en doute, ces conclusions paradoxales et merveilleuses qui vont réconcilier Simplicio avec la doctrine galiléenne de la relativité du mouvement et de l'indépendance mutuelle des *impetus*. Les scrupules sont loin d'être levés. Peut-être, nous dit-il gentiment, par sa propre faute, parce qu'il n'est pas aussi rapide à

1. *Dialogo*, II, p. 180. C'est Sagredo, la *bona mens*, qui développe les conséquences de la doctrine galiléenne.

comprendre que Sagredo. Quoi qu'il en soit, il lui semble « que si ce mouvement participé (1) de la pierre devait se conserver en elle d'une manière indélébile (2) après sa séparation d'avec le navire, il s'ensuivrait que, si quelqu'un, lancé sur un cheval en course rapide, laissait tomber de ses mains une balle, celle-ci, tombée à terre, devrait semblablement continuer son mouvement et suivre la course du cheval sans demeurer en retard ; or un tel effet, je ne crois pas qu'on le puisse voir, à moins que le cavalier ne jette cette balle dans la direction de sa course ; car, sans cela, je crois qu'elle restera à terre là où elle la touchera. »

Le lecteur moderne aura sans doute un mouvement d'impatience. A quoi bon, dira-t-il, ces répétitions interminables ? N'est-il pas clair que l'exemple de Simplicio n'apporte rien de nouveau et n'éclaire aucunement la discussion ? Peut-être même soupçonnera-t-il Galilée de vouloir se moquer de l'aristotélécien en nous le présentant plus bête que nature. Le lecteur moderne aura tort. L'exemple du cavalier apporte du nouveau et nous fait faire un pas en avant. Et Galilée, en le faisant alléguer par Simplicio ne se moque pas de lui. Bien au contraire ; il nous le montre comme très intelligent.

En effet, les deux cas, le cas de la balle tombant du haut du mât et celui de la balle lâchée par le cavalier sont identiques pour nous. Mais non pour la physique du ^{xvi}e siècle : jeter une balle, et la lâcher ce n'est pas la même chose. Gassendi aura encore à dissenter là-dessus (3). En outre, la balle qui tombe du haut du mât s'en sépare sans doute, mais moins radicalement que celle que le cavalier laisse tomber. Car continuer son mouvement dans l'air avant d'être tombé sur la terre est tout autre chose que le continuer après y être arrivé.

Aussi Galilée va-t-il nous montrer l'équivalence des deux cas, distingués par Simplicio — à savoir, de « jeter » et de « lâcher » la balle (4) — : « Lorsque vous la lancez avec le bras, que reste-t-il d'autre dans la balle, issue de la main, que le mouvement (5) engendré par votre bras, lequel, conservé en elle, continue à la conduire plus loin ? Or, il n'importe guère que cet *impetus* soit conféré à la balle davan-

1. *Dialogo*, II, p. 181. Souligné par nous : *Moto partecipato dalla pietra*.

2. Souligné par nous.

3. Mersenne, dans la préface à sa traduction des *Mécaniques* de Galilée (Paris, 1634) note encore avec étonnement le fait allégué par Simplicio ! voir aussi GASSENDI, *De moto impresso a motore translati*, Paris, 1642, pp. 22 sq.

4. *Dialogo*, II, p. 182. Toute la première partie du *De Moto...* de Gassendi est consacrée à l'établissement de cette équivalence.

5. Souligné par nous.

tage par votre bras que par le cheval ; votre main, et par conséquent la balle, ne court-elle pas aussi vite que le cheval lui-même ? Sans nul doute. Ainsi donc, lorsque la main est seulement ouverte, la balle en part avec un mouvement (1) déjà engendré non pas par votre bras, au moyen de votre mouvement particulier, mais par le mouvement (1) dépendant de celui du cheval, qui arrive à être communiqué à vous, au bras, à la main, et, finalement, à la balle. Aussi vous dirai-je en plus que si (pendant qu'il court), le cavalier, avec son bras jetait la dite balle dans la direction opposée à celle de sa course, celle-ci, arrivée à terre, et bien qu'elle eût été jetée dans la direction opposée, tantôt suivra la course du cheval, et tantôt restera immobile, et ne se mouvra dans la direction opposée à celle de la course que si le mouvement (1) qu'elle aura reçu du bras possède une vitesse supérieure (1) à celle de la course. Et ce que certains disent, à savoir que le cavalier pourrait jeter une lance en l'air dans la direction de sa course, la suivre à cheval et, finalement, la rattraper, est une sottise, car, pour que le projectile vous retombe dans les mains, il faut le lancer en haut, de la même manière que si l'on était immobile... » ce qui, désormais, va de soi, vu que la flèche, ou tout autre objet lancé par le cavalier, ayant participé à son mouvement, le garde lorsqu'il est lancé en l'air ; ou, si l'on préfère, vu que, dans le système mécanique du cavalier et de la lance (comme dans le système mécanique du navire), le mouvement commun est comme s'il n'était pas. »

Il serait trop long, et pour nous assez inutile, d'analyser en détail les faits par lesquels, volant au secours de Salviati, Sagredo — et aussi Salviati lui-même — en viennent à illustrer les grands principes de la physique galiléenne : la relativité, l'interindépendance et la conservation du mouvement. Ces « cas », d'allure paradoxale et frappante — le cas de la lettre écrite sur un navire en mouvement ; le cas de la balle que l'on laisse rouler sur des plans inclinés fixés aux flancs d'un carrosse en mouvement et qui tantôt s'arrête ou même roule en arrière, tantôt, arrivée à terre, court en avant et, même, dans sa course, dépasse le carrosse ; le cas des joueurs à la boule qui, — en lui imprimant un mouvement de rotation — peuvent, tout en la lançant en avant, la faire rouler en arrière ; le cas de la boule qui, tantôt roulant, tantôt bondissant dans l'air, peut dans l'air et sur la terre se mouvoir à des vitesses différentes (2)... — nous sont allé-

1. Souligné par nous

2. *Dialogo*, II, p. 186 sq., p. 197.

gués pour familiariser le lecteur avec les principes de la physique nouvelle ; et aussi — et non en dernier lieu — pour dissocier dans son esprit le mouvement-translation et le mouvement-rotation. Car dans la physique nouvelle, ce n'est plus seulement le mouvement de rotation, c'est le mouvement tout court qui se conserve de lui-même.

Le lecteur moderne trouvera, sans doute, que c'est assez ; et que la discussion a assez duré. C'est que le lecteur moderne est convaincu d'avance ; il est, depuis longtemps déjà, *familiarisé* avec la notion classique du mouvement. Le lecteur contemporain de Galilée ne l'est pas. Et cette notion, la notion de quelque chose qui est et qui n'est pas, et qui se conserve, et qui passe d'un objet à un autre, lui paraît, non sans droit, bien plus obscure encore que la notion aristotélécienne du mouvement-processus. Sans doute ne nie-t-il pas les *faits* allégués par Sagredo. Mais il doute ; et, par la bouche de Simplicio, il demande une fois de plus (1) le recours à l'expérience. « Je voudrais, nous dit-il, que nous trouvions quelque moyen de faire une expérience concernant le mouvement de ces projectiles... » et Sagredo propose de prendre une petite charrette ouverte, d'y placer une arbalète, en lui donnant une élévation moyenne, celle avec laquelle la portée du tir est la plus grande et, l'ayant mise en mouvement, de tirer une fois dans le sens de la marche, et une autre fois en sens contraire, en ayant soin de bien marquer le lieu où chaque fois se trouve la charrette. Ainsi on pourra voir si la portée est plus grande dans une direction que dans l'autre (2).

L'expérience semble à Simplicio être fort bien imaginée (3). Aussi nous dit-il (4) : « Je ne doute pas que la portée du tir, c'est-à-dire la distance entre l'endroit où la flèche se fiche en terre et celui où, à ce moment, se trouve la charrette, sera sensiblement plus petite lorsque l'on tire dans la direction du mouvement que lorsque on le fait en sens inverse. Que, par exemple, cette portée soit, en elle-même, de trois cents coudées ; alors, lorsque l'on tire dans le sens du mouvement, des trois cents coudées de cette portée, la charrette aura franchi cent ; d'où il s'ensuit que lors du contact (percussion) de la flèche avec la terre, la distance entre elle et la charrette sera seulement de deux cents coudées ; mais, au contraire, lors de l'autre tir,

la charrette se mouvant en sens inverse de la flèche, lorsque celle-ci aura franchi ses trois cents coudées et la charrette ses propres cent coudées en sens inverse, la distance entre elles se trouvera être de quatre cents coudées. » — *Salv.* : « Y aurait-il moyen de faire que ces tirs soient d'égale portée ? » — *Simpl.* : « Je n'en connais pas d'autre que de rendre la charrette immobile. » — *Salv.* : « Sans doute ; mais je demande : en laissant courir la charrette à toute vitesse. » — *Simpl.* : « Peut-être en tendant l'arc lors du tir dans le sens de la course, et en le relâchant pour tirer en sens inverse. » — *Salv.* : « Ainsi donc, il y a un autre moyen. Mais de combien faudrait-il tendre et de combien relâcher l'arc ? » — *Simpl.* : « Dans notre exemple, où nous avons supposé que l'arc tirait à trois cents coudées, il serait nécessaire que, pour le tir dans le sens de la course, on le tende de manière à tirer à quatre cents, et pour l'autre, le relâcher de manière à ne porter qu'à deux cents, parce qu'ainsi, l'un et l'autre tir porteraient à trois cents coudées par rapport à la charrette, laquelle avec son mouvement propre de cent coudées qu'elle soustrait au tir de quatre cents et ajoute à celui de deux cents, les réduirait tous les deux à trois cents. »

Le raisonnement de Simplicio, disons-le une fois de plus, n'est nullement absurde. Dans la physique aristotélécienne le mouvement du projectile est produit par une réaction du milieu : il s'ensuit que le dit mouvement y est parfaitement indépendant de celui de la source, exactement comme le mouvement de propagation d'une onde lumineuse l'est pour nous.

L'expérience imaginée par Sagredo est pour l'argument du canon ce que le cas du navire en mouvement est pour celui du grave tombant du haut de la tour. Dans l'un comme dans l'autre cas, des phénomènes de la physique terrestre, nous concluons à ceux de la physique céleste. Dans l'un comme dans l'autre cas, nous éliminons le caractère « naturel » du mouvement.

Mais revenons au *Dialogue*. Nous sommes, en effet, à un des moments décisifs. « Or, quel est l'effet que produit sur la flèche la plus ou moins grande tension de l'arc ? » demande Salvati (1), et Simplicio répond : « L'arc tendu la lance avec une *plus grande vitesse* (2), et l'arc plus relâché, avec une *vitesse moindre* (2) ; et la même flèche va chaque fois d'autant plus loin que la *vitesse* (2)

1. *Dialogo*, II, p. 194.

2. *Dialogo*, II, p. 194.

3. Remarquons, en passant, que l'expérience restera imaginée. En effet, dans le galiléisme, les expériences les plus importantes sont des « expériences de pensée ».

4. *Dialogo*, II, p. 195.

1. *Dialogo*, II, p. 195.

2. Souligné par nous.

avec laquelle elle est lancée est plus grande. » — *Salv.* : « Ainsi donc, pour que la flèche tirée dans l'un autant que dans l'autre sens s'éloigne également de la charrette en mouvement, il faut que, dans le premier tir de l'exemple proposé, elle parte avec quatre *degrés de vitesse* (1), et dans l'autre, elle ne parte qu'avec deux. Mais si on use chaque fois du même arc, elle en recevra chaque fois *trois degrés*. »

Simpl. : « C'est cela. Et c'est pourquoi, si l'on tire avec le même arc pendant la course de la charrette, on ne pourra réussir des tirs d'égale portée. » — « Cependant, poursuit Salviati (2), lorsque le chariot se meut, est-ce que les choses qui sont dans ce chariot, ne se meuvent pas aussi, et avec la même vitesse ? »... « Sans doute. » — « Ainsi donc, et l'arc, et la flèche, et la corde de l'arc, participant au mouvement du chariot, possèdent déjà un *degré de vitesse* (1). Par conséquent, lorsque la flèche est lancée dans le sens du mouvement du chariot, l'arc imprime ses trois *degrés de vitesse* (1) à une flèche qui en possède déjà un, grâce au chariot qui la porte dans cette direction et avec cette vitesse, de telle façon que lorsqu'elle part de l'arbalète, elle se trouve avoir *quatre degrés de vitesse* (1) ; et au contraire, lorsque l'on tire dans le sens inverse, le même arc confère ses mêmes *trois degrés (de vitesse)* (1) à une flèche qui se meut en sens inverse avec un *degré (de vitesse)* (1), de telle façon que, après qu'elle se sépare de la corde, il ne lui reste plus que deux. Mais vous-même, vous avez déjà constaté que pour égaliser la portée des tirs, il fallait faire que la flèche parte une fois avec quatre, et l'autre fois avec deux *degrés de vitesse*. (1) Ainsi donc, sans que l'arc soit modifié, le mouvement même du chariot est ce qui ajuste les portées, et l'expérience le démontre à ceux qui ne veulent ou ne peuvent pas ouvrir leurs yeux à la raison (3). Or donc, appliquez ce raisonnement au cas du canon et vous trouverez que, soit que la terre se meuve soit qu'elle reste immobile, les tirs faits avec la même force auront toujours la même portée, quelle qu'en soit la direction. »

Arrêtons-nous ici un instant.

Les résultats auxquels nous sommes arrivés — la loi de la conser-

1. Souligné par nous.

2. *Dialogo*, II, p. 196.

3. Pour ceux qui peuvent « ouvrir leurs yeux à la raison » cette expérience — *l'esperienza sensata* que cherche Simplicio —, est visiblement inutile.

vation du mouvement, l'uniformité et la persistance indéfinie du mouvement circulaire — ont été, à vrai dire, formulés dès le début du *Dialogo* (1) ; et le principe de la relativité du mouvement, principe qui commande toute la discussion ultérieure, se trouve, comme nous l'avons vu, posé dès le début de la deuxième journée ; mais ces principes, bien qu'évidents en eux-mêmes, bien que — pour employer un terme qui n'est pas galiléen, mais qui pourrait l'être — *innés* à la raison (2), sont cependant tellement étranges, et comportent des conséquences paraissant tellement surprenantes que Simplicio, tout en les ayant admis, au fond ne les accepte pas. Il se rebiffa à la première occasion. C'est que son esprit — l'esprit de l'homme cultivé — est tellement encombré par les habitudes acquises, par des notions toutes faites (les notions de l'école) qu'il lui est tout d'abord impossible de penser autrement qu'à l'aide de ces concepts traditionnels. Il a beau — ne pouvant faire autrement et l'ayant en quelque sorte déduite lui-même — admettre la loi de la conservation du mouvement, puisqu'il continue à penser le mouvement en catégories aristotéliennes, puisque le nouveau concept du mouvement n'est ni clair, ni habituel pour lui, il va immédiatement retomber au niveau dépassé, et présenter, à nouveau, des objections en principe déjà réfutées. Il faut donc *l'habituer* à penser les notions nouvellement acquises (3).

Or, ces notions-là, comment Galilée va-t-il les faire pénétrer dans l'esprit du lecteur ? Fera-t-il comme Descartes, rejetant tout simplement la définition scolastique du mouvement pour lui en substituer une autre, la sienne propre ? — Nullement. Galilée procède par glissement. Il suit la tradition historique et, de ce point de vue, le progrès accompli n'est nullement négligeable. La discussion des arguments d'Aristote était partie du point où l'avait laissée Copernic : distinction *qualitative* entre mouvement naturel et mouvement violent expliquant une différence de leurs effets. Un glissement insensible, et le mouvement *naturel* de la terre (qui, en bonne logique, s'explique par la « nature » ou la « forme » de celle-ci) se trouve être attribué aux corps qui sont sur la terre, non plus en vertu d'une communauté de nature, mais uniquement en vertu du fait qu'ils y participent. Encore un glissement, et le mouvement de la terre nous paraît ne posséder

1. Cf. *Dialogo*, I, p. 53.

2. L'innéisme galiléen, comme celui de Descartes, est un reflet du platonisme.

3. Plus exactement, ce n'est même pas Simplicio, c'est le lecteur qu'il faut éduquer. Mais le lecteur ne peut l'être qu'à travers Simplicio.

un caractère privilégié qu'en vertu du fait qu'il est circulaire, caractère qu'un glissement nouveau étend au navire qui glisse sur la mer... Le privilège du mouvement *naturel* a complètement disparu. Le mouvement se conserve désormais non plus parce qu'il est *naturel*, mais tout simplement parce qu'il est un *mouvement*. C'est bien le mouvement, en tant que tel, qui se conserve et qui est *indélébilement imprimé* au mobile ; et Simplicio lui-même l'a compris, et admis ; en effet, il ne cherche pas de cause pour laquelle perdure le mouvement de la balle absolument ronde roulant sur un plan horizontal : il suffit qu'il n'y ait point de cause pour laquelle elle pourrait s'arrêter.

La même tactique préside à la transformation de la notion d'*impetus*. Galilée commence son attaque de la physique aristotélicienne à l'aide de l'arsenal d'objections et de notions accumulées et élaborées par la physique « parisienne ». Mais, en fait, il y a beau temps que, convaincu du caractère bâtarde et confus de la conception même de l'*impetus*, source et cause du mouvement, Galilée en a fait l'abandon. Aussi, au cours du *Dialogue* l'*impetus* se trouve-t-il identifié au moment, au mouvement, à la vitesse... glissements successifs qui, insensiblement, amènent le lecteur à concevoir le paradoxe du mouvement se conservant tout seul dans le mobile, d'une vitesse « indélébilement imprimée » au corps en mouvement.

En principe, le privilège du mouvement circulaire est battu en brèche : c'est le mouvement en tant que tel qui se conserve, et non le mouvement circulaire. En principe. Mais, en fait, le *Dialogue* ne va pas plus loin. Et quoiqu'on l'ait dit, jamais nous ne glissons, ni ne glisserons jusqu'au principe d'inertie. Jamais, dans les *Discours* pas plus que dans le *Dialogue*, Galilée n'affirmera la conservation éternelle du mouvement rectiligne. Ceci pour la simple raison qu'un tel mouvement rectiligne des *graves* est une chose impossible, et que — pour Galilée — des corps non-graves cesseraient d'être des corps et ne pourraient se mouvoir du tout (1).

1. *Dialogo*, II, p. 193 : « *Sagredo. Ma io, Sig. Salviati vo pur ora considerando un'altra cosa mirabile : e questa è, che stanti queste considerazioni, il moto retto vadia del tutto a monte e che la natura mai non se ne serva, poichè anco quell'uso che da principio gli si concedette, che fu di ridurre al suo luogo le parti de i corpi integrati quando fussero dal suo tutto separate e però in prava disposizione costituite, gli vien levato, ed assegnato pur al mot circolare* ». En marge *Moto retto par del tutto escluso in natura*.

La physique de Galilée est une physique des graves. Une physique des corps qui tombent. Qui vont vers le bas. C'est pourquoi le mouvement de la chute y joue un rôle de tout premier plan. Ce rôle, disons-le tout de suite, est tel, qu'on pourrait la définir : une physique de la chute. En effet, non seulement le mouvement de la chute est conçu par Galilée comme un mouvement naturel, mais c'est encore le seul mouvement naturel qu'il admette.

Il va de soi que le terme « mouvement naturel » n'a pas, pour Galilée, ou, si l'on préfère, n'a pas à l'intérieur de la physique galiléenne, le même sens qu'il avait pour Aristote. Celui-ci distinguait plusieurs mouvements naturels, qui exprimaient, par leur diversité même, les différences de nature des corps qui en étaient animés. Il n'en reste plus qu'un seul dans la physique galiléenne. De plus, ce mouvement est commun à tous les corps. Ce qui indique, à n'en pas douter, une identité de nature (1), mais ne nous la révèle pas.

Le mouvement, dans la physique galiléenne, ne révèle et n'exprime jamais la nature du mobile. Nous avons déjà eu l'occasion de voir à quel point le mouvement y est extérieur à ce dernier : il est, on s'en souvient, quelque chose qui n'affecte pas le mobile en lui-même — en soi-même, le mouvement, est comme nul et non existant (2), — et que le mobile ne possède que par rapport à autre chose que lui. Mouvement et repos sont de purs accidents. Au sens strict, aristotélicien, de ce terme, il n'y a donc pas pour Galilée de mouvements naturels, pas plus qu'il n'y a de mouvements violents. La distinction aristotélicienne est, en effet, inadmissible pour Galilée et depuis longtemps déjà Galilée lui avait adressé l'objection de n'être ni exhaustive, ni absolue, et de ne pas porter sur le mouvement en tant que tel (3).

1. Cf. *plus haut*, I, pp. 66 sq. et III, p. 28 sq.

2. Cf. *plus haut*, pp. 3 sq. ; 60 s.

3. Cf. *plus haut*, *A l'aube de la science classique*, p. 68 sq.

Les mouvements dits naturels et violents se transforment, en effet, l'un dans l'autre : la balle jetée en l'air redescend, et celle qui descend une pente remonte le versant opposé ; le poids du pendule ne s'arrête pas au point le plus bas de sa course, mais remonte pour redescendre encore, et s'il y avait un trou à travers toute la terre, une pierre que l'on y jetterait ne s'arrêterait pas à son centre mais remonterait à la surface opposée (1) : exemples classiques des théoriciens de la physique de l'*impetus* (2) ; exemples qui ont fait fortune et que Galilée se garde bien de ne pas reproduire.

Mais, s'il en est ainsi, si dans la physique galiléenne, les termes « naturel » et « violent », appliqués au mouvement, n'ont plus de sens théorique, que peuvent-ils désigner encore ? Tout simplement la distinction de sens commun entre les mouvements qui se font d'eux-mêmes (la chute, le mouvement vers le bas) et ceux qu'un corps n'exécute qu'en vertu d'une action extérieure (le jet, le mouvement vers le haut). Or, le fait que Galilée maintient à l'intérieur de sa physique une distinction du sens commun, nous semble être d'une importance capitale.

Nous reviendrons encore sur cette question. Retournons maintenant à la chute. La chute, tout le monde le sait, et Galilée nous le dit expressément, est un mouvement naturel *des graves* (3). Or, dans la physique galiléenne, tous les corps sont « graves ». Aucun n'est privé de poids. A fortiori, aucun n'est « léger ». A l'encontre d'Aristote, Galilée n'admet pas l'existence dans les corps d'une qualité propre nommée « légèreté ». C'est pour cela aussi que le mouvement vers le haut n'est pas, pour lui, un mouvement naturel, c'est-à-dire spontané. Aucun corps ne se meut *de lui-même* vers le haut. S'il le fait, c'est qu'il est repoussé et chassé de l'endroit qu'il occupe par d'autres, plus lourds que lui. Tout mouvement d'ascension, est un mouvement d'extrusion.

Ces idées, que Galilée avait adoptées dès ses premiers travaux de physique (4), ne sont, nous le savons, ni très originales, ni très neuves.

1. Cf. *Dialogo*, I, p. 46, 47. II, p. 253 : « Quando il globo terrestre fusse perforato, un grave descendente per tal foro passerebbe, ascendendo poi oltre al centro, per altrettanto spazio quanto fu quel della scesa. » Cf. *ibidem*, p. 262 : « Il moto naturale si converte per sè stesso in quello che si chiama preternaturale e violento. »

2. Cf. DUHEM, *Études sur Léonard de Vinci*, III, p. 185 sq. Ces exemples, empressons nous de le dire, ne sont aucunement admis par les aristotéliens. Ainsi Antonio Rocco répond-il à Galilée dans ses *Esercitazione filosofiche* (*Opere*, VII, p. 689) : « All' esempio della Terra forata, io negherò liberamente e senza scrupolo alcuno che, giunta la palla al centro, seguisse il suo moto dalla parte dell'altro emisfero verso il cielo. »

3. *Dialogo*, I, p. 53.

4. Cf. *A l'aube*, etc., 64 sq.

Bien avant lui, les nominalistes parisiens les avaient amplement développées. Copernic, et plus tard Benedetti, les avaient enseignées. Bonamico les avait exposées. Et c'est là, sans doute, que les avait trouvées Galilée (1).

Celui-ci, d'ailleurs, n'en revendique aucunement la paternité. Si, à vrai dire, il ne nomme ni Benedetti ni Copernic, il affirme, par contre, que ce sont là des idées très anciennes ; et que sa théorie de la pesanteur, qualité ou propriété générale des corps, n'est autre que celle des anciens philosophes, et notamment celle de Platon (2).

Pour le jeune Galilée, la gravité, ou la pesanteur, est une propriété naturelle des corps. C'est même leur *seule* propriété naturelle. Ce qui explique fort bien, et que le mouvement de la chute soit un mouvement naturel, et qu'il soit un mouvement naturel général.

Dans la physique du jeune Galilée, la pesanteur, ou la gravité, est une source de mouvement. Et comme elle est la seule propriété naturelle des corps, elle est aussi la *seule* source naturelle du mouvement ; comme d'autre part, elle est une propriété naturelle *générale* de tous les corps, elle produit dans tous les corps un mouvement *naturel* vers « le bas ».

Or, nous avons vu que, pour la physique du *Dialogue* — et il n'en est pas autrement pour celle des *Discours* —, tous les corps sont graves ; et que tout corps, placé sur un plan incliné, plus simplement, privé de support, « descend » et se meut naturellement vers le bas (3).

On serait donc tenté de définir la physique de Galilée : physique de la pesanteur, comme celle de Descartes a été définie physique du choc, et celle de Newton, physique de la force. Matériellement, on aurait sans doute raison. Formellement, cependant, on aurait tort. Car Galilée, en fait, se refuse à voir dans la gravité une *qualité naturelle* des corps ; et se refuse également à voir une *source* ou une *cause* du mouvement « vers le bas ». Ceci pour la simple raison qu'il sait fort bien ne pas savoir ce qu'elle est. En effet, la pesanteur, ou la gravité, n'est pas chez Galilée une propriété théorique des corps. Elle est une propriété empirique ; une qualité du sens commun. Et c'est ce qui explique l'attitude curieuse de Galilée qui dans le *Dialogue* et les *Discours* nous parle de corps *graves*, et évite de nous parler de la *gravité*.

1. V. BENEDETTI, *Diversarum speculationum mathematicarum liber*, Taurini, 1585. Cf. *A l'aube*, etc., pp. 49 sq. ; 29 sq.

2. Cf. *Dialogo*, I, p. 44 sq. et déjà *De Motu*, p. 300.

3. Cf. *Dialogo*, I, p. 48 sq. ; 171 sq. et *Discorsi*, III, p. 205.

Sans doute Galilée nous dit-il d'abord que la pesanteur n'est rien d'autre que la tendance naturelle des corps à se mouvoir et se porter vers le centre de la terre, ou vers celui des choses graves, que ce soit celui de la terre ou de l'Univers tout entier (1) ; ne faut-il pas, justement pour pouvoir étendre le domaine de la gravité à l'ensemble des corps, commencer par parler un langage acceptable et compréhensible pour tout le monde, et même, spécialement, pour l'aristotélicien ? Galilée dira aussi qu'il faut bien que le corps ait une inclination particulière vers quelque lieu déterminé pour qu'il se mette ainsi en mouvement : sinon, il resterait tranquillement sur place (2). C'est par cette même inclination qu'il expliquera et l'accélération de ce mouvement, et le fait que la chute s'effectue en ligne droite. Ne prenons toutefois pas ces explications à la lettre : nous sommes tout au début du *Dialogo*, et, dans la suite, la situation se modifiera du tout au tout. Pour commencer, nous aurons à dissocier le centre de la terre de celui du monde — si tant est qu'il y a un tel centre, observe Galilée, auquel cas il serait sans doute dans le soleil (3) — et à nous expliquer, à la suite de Copernic, le mouvement de la chute par une tendance naturelle des parties à s'unir à leur tout (4). Mais là encore, ce n'est qu'une étape et la critique galiléenne, qui dissout progressivement, afin de les reconstituer et de les reconstruire, les notions traditionnelles et fondamentales de la physique, en arrive à dénier à la notion de la pesanteur toute valeur positive d'explication.

1. Cf. *Dialogo*, I, 58. La gravité est la *naturale inclinazione delle parte di tutti i globi mondani d'andare a lor centri*.

2. Cf. *Dialogo*, I, 44, 56. — Comme Aristote, Galilée considère que le cas du repos en place est un cas impossible (à l'exception du soleil). Cf. *Ibid.*, p. 44 : « *Salviati*. Tout corps, mis en état de repos par quelque cause que ce soit, mais qui, par sa nature est mobile, laissé libre, se mouvra, pourvu qu'il ait, par nature, une inclination vers quelque lieu particulier, mais s'il était indifférent à tous [les lieux] il demeurerait en repos, n'ayant de raison plus grande de se mouvoir vers un côté plutôt que vers un autre. Du fait d'avoir cette inclination il s'ensuivra que, dans son mouvement, il ira en s'accélération continuellement ; et commençant par un mouvement extrêmement lent, il n'atteindra aucun degré de vitesse à moins qu'il n'ait, d'abord, passé par tous les degrés de vitesse moindres, ou, si l'on veut [par tous les degrés] de lenteur plus grande ; puisque partant de l'état de repos (qui est le degré de la lenteur infinie de mouvement), il n'y a aucune raison pour laquelle il doive entrer en un degré de vitesse déterminé avant d'entrer dans un moindre, et en un autre, encore moindre, avant celui-ci ; ainsi est-il beaucoup plus conforme à la raison qu'il passe d'abord par les degrés de vitesse voisins de celui dont il part, et puis, par les plus éloignés ; mais le degré [de vitesse] à partir duquel le mobile commence à se mouvoir est celui de la lenteur suprême, c'est-à-dire, du repos. Or, cette accélération du mouvement n'aura lieu que si le mobile, par son mouvement, acquiert quelque chose ; et cette acquisition n'est rien d'autre si ce n'est le rapprochement du lieu désiré, c'est-à-dire, de celui où le pousse l'inclination naturelle ; et il s'y portera par la voie la plus courte, c'est-à-dire, en ligne droite. »

3. Cf. *Dialogo*, I, 58 : « *ma, si se può assignare centro alcuno all'universo, troveremo in quello esser più presto collocato il Sole*, » cf. III, 349.

4. *Dialogo*, I, 58, cf. COPERNIC, *De Revolutionibus*, I, I, c. V.

Les corps tombent, c'est-à-dire, les parties de la terre sont poussées vers le « bas ». Ceci est une expérience courante. Mais c'est tout. Car la « cause » de ce mouvement — cause externe ou interne — nous est parfaitement inconnue. Dire « pesanteur », « gravité », « tendance vers le bas » ou « tendance vers le centre », c'est désigner le fait ; ce n'est pas l'expliquer. Aussi, à l'objection indignée de Simplicio, disant que tout le monde connaît la cause de cet effet (le mouvement vers le bas), et que tout le monde sait que c'est la pesanteur, Salviati répond (1) : « Vous faites erreur, Sign. Simplicio, vous auriez dû dire : tout le monde sait qu'on l'appelle la pesanteur. Or, je ne vous demande pas le nom, mais l'essence de la chose : de cette essence vous ne savez pas plus que vous ne savez de l'essence du principe du mouvement circulaire des étoiles (2), sauf le nom qu'on lui a donné et qui nous est devenu familier et habituel par suite de l'expérience fréquente que nous en faisons mille fois par jour. En fait, nous ne comprenons pas plus quel est le principe et la vertu qui meut la pierre vers le bas que nous ne savons ce qui la pousse vers le haut, lorsqu'elle est séparée de ce qui la projette, ou ce qui meut la lune en cercle, sauf, comme je l'ai dit, le nom propre et spécial que nous avons assigné, à savoir à celui-ci, celui de la *gravité*, tandis que pour celui-là nous employons le terme plus général de *vertu impressa* (3), et pour le dernier nous parlons de l'intelligence, ou de forme assistante, ou informante, et à une infinité d'autres nous donnons pour raison la *nature*. »

On voit bien le chemin parcouru depuis Pise : c'était la légèreté qui, alors, était déclarée n'être qu'un simple « nom », employé — et faussement substantialisé — pour désigner des effets (le mouvement vers le haut) d'une cause sous-jacente. La pesanteur désormais partage son sort : elle aussi n'est qu'un « nom »,... comme un « nom » également — rien qu'un nom ! — est encore la fameuse *vis impressa*, l'*impetus* de l'école parisienne, prétendue cause interne du mouvement de l'objet projeté. Et l'on voit très bien la conclusion dernière

1. Cf. *Dialogo*, II, p. 260.

2. *Ibidem* : *Simpl.* « Bien. Mais comme les graves et les légers ne peuvent avoir de principe, ni interne, ni externe, de se mouvoir circulairement, le globe terrestre ne se mouvra pas, non plus, d'un mouvement circulaire. — *Salv.* Je n'ai pas dit que la terre ne possède aucun principe, ni interne ni externe, de mouvement circulaire ; je dis, que je ne sais pas lequel des deux elle possède et mon non-savoir n'a pas la force de le lui enlever. Mais... il sera le même que celui des autres corps célestes. »

3. Souligné par nous.

à laquelle tend et qu'insinue Galilée : toutes ces « causes internes » ne sont que des « noms » (1).

La gravité est, sans doute, quelque chose. Et même quelque chose de fort important. Cette propriété, absolument fondamentale, ne forme pas, cependant, la « nature » des corps, n'en est pas une propriété *essentielle*. En effet, dans le fameux et justement célèbre passage de *L'Essayeur* (textuellement reproduit, en outre, dans la *Lettre à la Grande Duchesse de Toscane* (2)), passage dans lequel Galilée résume les fondements de sa philosophie de la nature, *il n'est pas question de la pesanteur*. Dans ce texte, qui rappelle étrangement — et significativement — des textes analogues de Descartes, Galilée nous explique que : « dès que je conçois une matière ou une substance corporelle, je me sens poussé par la nécessité de concevoir en même temps qu'elle est terminée et figurée de telle ou telle autre figure, qu'elle est, en comparaison avec d'autres, grande ou petite, qu'elle est en tel ou tel autre lieu, et temps, qu'elle se meut ou demeure immobile, qu'elle touche ou ne touche pas un autre corps, qu'elle est une ou est en un petit ou en un grand nombre; et par aucun effort de l'imagination je ne puis la séparer de ces conditions; mais qu'elle doive être blanche ou rouge, amère ou douce, sonore ou muette, d'une odeur agréable ou désagréable, je ne sens pas que mon esprit soit forcé de devoir l'appréhender comme étant nécessairement

accompagnée de telles propriétés. Aussi, si les sens n'en étaient pas affectés, il se peut que ni la raison ni l'imagination n'y seraient jamais arrivées. Or, à cause de cela, j'en viens à penser que ces saveurs, odeurs, couleurs, etc., ne sont rien du côté du sujet... (1), ne sont rien d'autre que des noms, et ne possèdent leur existence que dans le corps sensitif, de telle sorte que si l'animal était supprimé, toutes ces qualités seraient annihilées et détruites. »

On le voit bien : ce qui constitue l'*essence* du corps, ou de la matière, ce sans quoi il ne peut être pensé — et, par conséquent, ne peut être, — c'est, pour Galilée comme pour Descartes, et cela pour les mêmes raisons, ses propriétés mathématiques. Le nombre, la figure, le mouvement : l'arithmétique, la géométrie, la cinématique. La gravité ne s'y trouve pas incluse.

On ne la trouve pas, non plus, parmi les qualités purement sensibles, telles que la couleur, l'odeur, la chaleur ou le son, que Galilée déclare purement subjectives et dépendant, dans leur existence même, de celle de l'animal.

Où se trouve-t-elle alors ? Nulle part. Ou bien, quelque part entre le néant et l'être ; entre le néant des apparences sensibles et l'être du réel mathématique, la gravité occupe une place intermédiaire. Ou, si l'on veut, une place d'intermédiaire. Aussi n'a-t-elle qu'une existence de fait.

Comment, d'ailleurs, en nier l'existence ? Les corps tombent... les corps *physiques*, bien entendu : les corps géométriques, eux, ne « tombent » aucunement. C'est bien cela, le fait que les corps « tombent », ce qui veut dire : spontanément se mettent en mouvement, qui fait de la physique une science spéciale et la distingue de la géométrie (2) : les corps sont *graves*... La gravité a beau ne pas être une notion claire, mathématique, et ne pas désigner une qualité essentielle du corps : la *physique*, science du mouvement et du repos, ne peut s'en passer. Comment le ferait-elle ? Les corps de la physique mathématique, les corps galiléens, ou pour les appeler de leur vrai nom, les corps archimédiens, ne sont rien d'autre que des « corps » géométriques, euclidiens, doués de gravité. En d'autres termes, la gravité est la seule propriété « physique » qu'ils possèdent.

1. En termes modernes : ne sont rien dans l'*objet*, n'ont aucune réalité *objective*, n'existent que dans le sujet connaissant ou percevant.

2. Les corps géométriques — et, lorsque nous aurons traité de la dynamique de Descartes, on verra les conséquences — n'ont, en eux-mêmes, aucune propension *ni au mouvement, ni au repos*. Aussi Descartes se verra-t-il obligé, non seulement de faire créer par Dieu le mouvement, mais aussi de faire créer par lui le repos.

4. La pesanteur n'est qu'un « nom », nous dit Galilée. Ce qui veut dire qu'il se résout à un nominalisme positiviste parce qu'il ignore la *nature* de la pesanteur (comme il ignore celle de la lumière). Mais, pas plus dans un cas que dans l'autre, Galilée ne se résout à cette ignorance que parce qu'il ne peut pas faire autrement. En fait, il sait bien que la pesanteur est une force de la même nature que l'attraction magnétique. Aussi se proclame-t-il ouvertement partisan de la philosophie magnétique de Gilbert (*Dialogo*, III, pp. 431 sq, 429 sq.) ; il croit, comme lui, que la terre est un grand aimant. Mais il ne sait pas ce qu'est la force magnétique, et ses propres recherches, consignées dans les *Discorsi e Dimostrazioni*, ne lui ont pas permis de fonder une véritable théorie, c'est-à-dire, une doctrine mathématique du magnétisme. Quant à celle de Gilbert lui-même, elle est animiste. Et même celle de Kepler, v. plus haut. pp. 28 sq.

2. Cf. *Il Saggiatore, Opere*, vol. VI, p. 341 sq. : « Per tanto io dico che ben sento tirarmi dalla necessità, subito che concepisco una materia o sostanza corporea, a concepire insieme ch'ella è terminata e figurata di questa o di quella figura, ch'ella in relazione ad altre è grande o piccola, ch'ella è in questo o quel luogo ch'ella si muove o sta ferma, ch'ella tocca o non tocca un altro corpo, ch'ella è una, poca o molta, nè per veruna imaginazione posso separarla da queste condizioni ; ma ch'ella debba essere bianca o rossa, amara o dolce, sonora o muta, di grato o ingrato odore, non sento farmi forza alla mente di doverla apprendere da cotali condizioni necessariamente accompagnata : anzi, se i sensi non ci fussero scorta, forse il discorso o l'immaginazione per sè stessa non v'arriverebbe giammai. Per lo che vo io pensando che questi sapori, odori, colori, etc. per la parte del soggetto nel quale ci par che riseggano, non sieno altri che puri nomi, ma tengono solamente lor residenza nel corpo sensitivo, sicché rimosso l'animale, sieno levate e annichilate tutte queste qualità. » Cf. *Ibid.*, p. 350 : « molte affezioni che sono reputate qualità risidenti ne' soggetti esterni, non danno veramente altra essistenza che in noi, et fuor di noi non sono altro che nomi. »

Les corps « physiques » archimédiens sont donc graves, en quelque sorte, par définition (1). Et c'est pour cela qu'ils sont des « mobiles », ce que les corps géométriques ne sont aucunement (2). Aussi tombent-ils et possèdent-ils une tendance naturelle à se mouvoir vers le bas — ce que ne font nullement les corps géométriques.

La gravité apparaît donc comme liée au mouvement ; ou, si l'on préfère, le mouvement — sans lequel il n'y a pas de physique — apparaît comme lié au fait de la gravité. Et c'est cela, l'archimédisme profond de la pensée galiléenne — archimédisme sur lequel nous avons déjà insisté — qui, avec son réalisme (3) explique, mieux encore que l'influence inconsciente de l'expérience, l'impossibilité, pour Galilée, de formuler correctement le principe d'inertie.

Dans la physique galiléenne, la gravité reste donc, malgré tout, une source de mouvement. C'est même, avons-nous dit, la seule source de mouvement qu'elle connaisse. Le choc, en effet, ne fait que transférer d'un mobile à un autre un mouvement (une vitesse) déjà existant : la chute, au contraire, le produit. Aussi, pour créer du mouvement, ou encore, pour conférer à un corps une vitesse, il faut, dans la physique galiléenne, le laisser tomber du « haut » vers le « bas » (4).

Que la gravité soit une source du mouvement, c'est là une proposition bien facile à admettre. C'est du bon sens. Et même du sens commun. C'est également une proposition de la physique aristotélécienne. Mais la physique aristotélécienne ne peut, de toute évidence, admettre que ce soit la seule : ce serait admettre, en même temps, l'unicité de la matière, abandonner la division du Cosmos en deux régions, céleste et sublunaire, et reconnaître que les mêmes lois et que la même physique valent également sur terre et dans les cieux.

Or, c'est justement la thèse de Galilée. Et le curieux mythe cosmo-

1. C'est ce que soutiendra ouvertement Torricelli, cf. *Opera Geometrica, Florentiae*, 1642, p. 8 sq., cité plus bas, pp. 140 sq.

2. Un « corps » purement mathématique, privé de pesanteur, ne peut pas se mouvoir. Cf. plus bas, p. 115.

3. Galilée ne cherche pas à construire un monde abstrait, mais à saisir l'essence mathématique du monde réel, mobile et donc temporel. Cf. *La loi de la chute des corps*, p. 74.

4. *Dialogo*, I, p. 53 : SALV. « Il moto per la linea orizzontale, che non è declive né elevata, è moto circolare intorno al centro : adunque il moto circolare non s'acquisterà mai naturalmente senza il moto retto precedente, ma bene, acquistato che e' si sia, si continuerà egli perpetuamente con velocità uniforme. »

gonique que nous trouvons au début même du *Dialogo* (et que, pour marquer une fois de plus ses préférences philosophiques, il attribue à Platon, bien que Platon n'ait jamais enseigné rien de pareil), mythe dans lequel nous voyons Dieu laisser tomber les planètes avant de leur conférer le mouvement circulaire sur leurs orbites respectives (1), ne nous est présenté, sans doute, que pour nous faire toucher du doigt cette opposition entre l'aristotélisme et le galiléisme, la science antique et la science classique, et nous faire bien saisir la portée philosophique des principes essentiels de cette dernière : notamment, de celui de l'uniformité des lois.

On pourrait dire que la pensée de Galilée parcourt en sens inverse la démarche initiale de la pensée de Copernic : celui-ci appliquait à la terre les lois établies pour les cieux (2) ; celui-là, au contraire, applique aux cieux les principes établis pour la terre.

Le mouvement de la chute a été reconnu seul mouvement naturel sur la terre. Galilée proclame qu'il en est de même dans les cieux, que le mouvement circulaire des planètes n'est nullement un mouvement « naturel », c'est-à-dire, spontané, et que, pour produire du mouvement, personne, même Dieu, ne pourrait se servir de moyens différents de ceux, ou plus exactement de celui dont nous nous servons sur la terre.

Sans doute, Galilée est prudent. L'omnipotence divine n'est pas en cause. Dieu pourrait bien créer du mouvement directement. Mais ce serait là, en quelque sorte, un miracle de plus (3). Or celui de la création pure et simple des corps est déjà suffisamment difficile. En bonne science, on n'a pas à charger le Seigneur d'un second, parfaitement inutile, d'ailleurs. En outre, ce mouvement, que Dieu créerait directement, ne serait pas un mouvement naturel.

Le renversement de la situation — par rapport à l'aristotélisme — est complet. Le mouvement circulaire des planètes, conçu comme mouvement spontané, prouvait, pour Aristote, la nature différente

1. *Dialogo*, I, p. 44 : « Nous pouvons dire raisonnablement que la nature, pour conférer à un mobile, qui tout d'abord se trouve être en repos, une vitesse déterminée, procède en le faisant se mouvoir, pendant quelque temps, et à travers quelque espace, en ligne droite. Ceci étant admis, nous pouvons nous imaginer Dieu ayant créé le corps, par exemple de Jupiter, auquel il s'est décidé de vouloir donner une vitesse déterminée, laquelle plus tard il doit conserver perpétuellement uniforme : nous pourrions dire avec Platon qu'il devrait se mouvoir d'abord d'un mouvement rectiligne et accéléré, et puis, ayant acquis un degré déterminé de vitesse, convertir son mouvement rectiligne en mouvement circulaire dont la vitesse alors naturellement doit être uniforme. » Il est à noter que ce mythe est repris par Sagredo dans les *Discorsi*, IV, p. 283.

2. Cf. plus haut, pp. 5 ; 10 ; 64.

3. Miracle que Descartes demande à son Dieu ; et dont Newton dispense le sien.

de la terre et des cieux. Au contraire, conçu comme un mouvement dérivé, il démontre pour Galilée qu'ils possèdent une nature commune. En effet, les caractères privilégiés du mouvement circulaire (mouvement autour du centre) s'expliquent, justement, par le fait de la gravité (1).

Le fait de la gravité conditionne et explique le fait du mouvement. Le mouvement de la chute est le mouvement naturel de tout corps abandonné à lui-même. De plus, le mouvement de la chute, déjà en tant que mouvement (cinématiquement), possède des particularités tout à fait exceptionnelles. Ce n'est pas un mouvement comme les autres. Non seulement c'est un mouvement constamment et continuellement accéléré, ce qui veut dire qu'un corps animé de ce mouvement acquiert progressivement tous les degrés de vitesse ou de lenteur, sans en passer un seul et sans s'attarder à un seul (ce qui le rend éminemment apte à conférer à un corps donné un degré déterminé de mouvement, c'est-à-dire de vitesse (2)), mais encore il représente un type bien déterminé (3) de mouvement qui se réalise, le même, partout où un corps tombe en chute libre ou descend sur un plan incliné. Bien plus, ce n'est pas seulement le type, mais le mouvement lui-même qui se réalise, identique, quel que soit le corps qui descend. En effet, quel que soit le corps qui tombe, c'est-à-dire quel que soit son poids ou sa constitution physique, il tombe toujours avec la même vitesse (4).

Lorsqu'on songe à tout cela, lorsqu'on songe notamment au fait que les corps, quels qu'ils soient, tombent tous selon la même loi et avec la même vitesse, on comprend la tentative de Galilée de

1. Pour Bruno encore, les planètes tournaient parce qu'elles ne *pesaient pas*. Cf. plus haut, p. 17 sq.

2. *Dialogo*, I, p. 45, en marge : *Tra le quarte e qualsisia grado di velocità mediano infiniti gradi di velocità minori.*

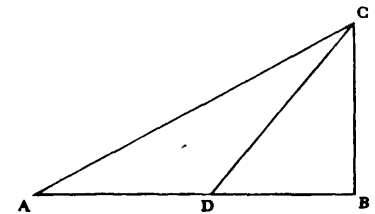
3. *Dialogo*, I, 46 : II, p. 248 : *Discorsi*, III, p. 198 sq. Cf. *La loi de la chute des corps*, p. 6.

4. Cf. *Dialogo*, II, p. 249. « *SALV. : palle di una, di dieci, di cento, di mille libbre, tutte misureranno le medesime cento braccia nel medesimo tempo.* » Cf. *Discorsi*, p. 128 sq. Les historiens de Galilée, et de la physique, confondent habituellement deux propositions bien différentes : 1) celle que Galilée aurait établie à Pise par des expériences qu'il n'a jamais faites — et n'avait pas besoin de faire — (cf. L. COOPER, *Aristotele, Galileo and the tower of Pisa*, Ithaca, 1935 et notre article, « Galilée et l'Expérience de Pise. » *Annales de l'Université de Paris*, 1937) et qui, en réalité l'a déjà été par Benedetti (cf. *L'Aube...*, p. 52 et p. 61), et selon laquelle les corps de même nature tombent avec une même vitesse et 2) celle dont les *Discorsi* nous donnent pour la première fois, la démonstration, et selon laquelle tous les corps, quelle que soit leur nature, tombent avec une vitesse égale.

développer sa dynamique comme une dynamique de la chute. Et l'on comprend aussi l'orgueil de la déclaration galiléenne annonçant par la bouche de Salviati que, sans doute, tout le monde a toujours observé que le mouvement des graves descendant à partir du repos n'est pas uniforme mais continuellement accéléré, mais que cette connaissance générale est sans aucun profit, lorsqu'on ne sait pas selon quelle proportion se fait cet accroissement de vitesse ; lorsqu'on ne sait pas notamment qu'elle se fait selon le rapport des nombres impairs *ab unitate*, c'est-à-dire, que le rapport des espaces parcourus est égal à celui des carrés du temps (1).

Découvrir les lois mathématiques du mouvement, découvrir que le mouvement de la chute *suit la loi du nombre* : vraiment, il y avait là de quoi être fier.

La dynamique de Galilée est fondée, tout entière, sur le « postulat » « que les degrés de vitesse acquis par le même mobile sur des plans diversement inclinés sont égaux lorsque les hauteurs des plans le sont (2) », et le commentaire de Salviati ajoute (3) : « L'auteur appelle *hauteur d'un plan incliné* la perpendiculaire abaissée de l'extrémité supérieure du plan sur l'horizontale menée par l'extrémité inférieure. Si par exemple, la ligne AB est parallèle à l'horizon et si, sur elle, sont inclinés les deux plans CA, CD, l'auteur donne à la perpendiculaire CB tombant sur l'horizontale BA le nom de *hauteur* des plans CA, CD et il suppose que si le même mobile descend sur les plans inclinés CA, CD, les degrés de vitesse acquis par lui aux extrémités A, D sont égaux, parce que la hauteur des plans est la même, à savoir, CB. Et il faut entendre aussi que ce serait ce même degré de vitesse que le même mobile, tombant du point C, aurait en B. »



1. Cf. *Dialogo*, II, p. 248. Et de cela, ajoute Salviati comme de beaucoup d'autres choses concernant le mouvement, la démonstration est purement mathématique. Cf. *Discorsi*, III, p. 199.

2. Cf. *Discorsi e dimostrazioni*, III, *Opere*, vol. VIII, p. 205. Notons qu'il en est de même pour Torricelli. Mais le postulat galiléen se transforme pour Torricelli en axiome. Cf. TORRICELLI, *Opera geometrica*, p. 98.

3. *Discorsi*, III, p. 205.

Pas plus que la définition bien connue du mouvement uniformément accéléré, le « postulat » de Galilée ne fait usage de notions dynamiques (1). Et mieux encore que cette définition, ou plus exactement, mieux encore que les raisonnements qui l'introduisent, il nous montre à quel point la pensée galiléenne est dominée par le fait de la gravité, par la conception du mouvement naturel des corps vers le bas. En effet, le postulat galiléen ne mentionne aucune cause ; aucune force ; il évite non seulement le nom de « gravité », mais même celui de « grave » ; et il admet, comme allant de soi, que tout mobile placé sur un plan incliné le descend en augmentant de vitesse !

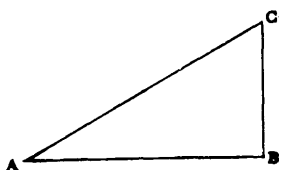
Le postulat galiléen ne nous paraît, à nous, aucunement évident. Et nous n'aurions, sans doute, pas l'idée de le placer au début d'un traité de mécanique. Galilée le fait cependant et Sagredo estime (2) « qu'une telle hypothèse a tant de probabilité qu'elle mérite d'être accordée sans controverse, étant entendu toujours que tous les empêchements accidentels et extérieurs sont écartés, que les plans sont bien solides et polis, que le mobile est parfaitement rond, de sorte que plan et mobile ne présentent pas de rugosités. Tous ces obstacles, tous ces empêchements étant écartés, les lumières naturelles me montrent sans difficulté qu'une balle pesante et parfaitement ronde descendant par les lignes CA, CD, CB arrivera aux extrémités A, D, B avec des *impetus* égaux. »

Sagredo a bien raison d'insister sur la nécessité d'écarter tous les

1. Cf. *La loi de la chute des corps*, p. 62.

2. Cf. *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 205. Dans le *Dialogo*, Sagredo a eu quelque peine à comprendre le sens du postulat galiléen. L'ayant compris, il l'admet cependant immédiatement. Cf. *Dialogo*, I, p. 47 : « *Salv.* Vous raisonnez parfaitement. Et puisque je sais que vous n'hésitez pas à concéder que l'acquisition de l'*impetus* se fait par le moyen de l'éloignement du terme d'où part le mobile, et le rapprochement au centre où tend son mouvement, aurez-vous une difficulté de concéder que deux mobiles égaux, lorsqu'ils descendent par des lignes différentes, sans empêchement aucun, feront l'acquisition d'*impetus* égaux, chaque fois que les rapprochements au centre seront égaux. — *Sagredo.* Je ne comprends pas bien la question. — *Salv.* Je m'expliquerai mieux en dessinant une figure. Je tracerai donc une ligne AB parallèle à l'horizon et sur le point B je dresserai la perpendiculaire BC à laquelle je joindrai la ligne inclinée CA. Il est entendu que la ligne CA est un plan incliné, parfaitement dur et poli, sur lequel descend une balle parfaitement ronde et d'une matière extrêmement dure, et une balle semblable descend librement par la perpendiculaire CB ; je demande donc si vous concéderez que l'*impetus* de la balle

descendant par le plan CA au terme A pourrait être égal à l'*impetus* acquis par l'autre au point B lors de la descente par la perpendiculaire CB. — *Sagredo.* Je crois résolument que si ; puisque en effet, les deux se sont rapprochés du centre d'une égale mesure et que, comme je l'ai déjà concédé, leurs *impetus* seront également suffisants pour les reconduire tous les deux à la même hauteur. »



« empêchements extérieurs » : les lois de la physique galiléenne sont, en effet, des lois « abstraites », qui ne valent pas telles quelles pour les corps réels. Sans doute portent-elles sur une réalité ; mais cette réalité n'est pas celle de l'expérience quotidienne ; c'est une réalité idéale et abstraite. Nous, nous n'avons pas besoin qu'on nous le rappelle ; nous sommes trop habitués à cette abstraction. Nous avons même besoin du contraire : besoin de nous rappeler que le monde idéal et abstrait de la physique mathématique n'est pas, à proprement parler, le monde réel (1). Mais, même pour ce monde-là, le postulat galiléen ne nous paraît aucunement aller de soi ; il n'est pas, pour nous, doué d'une évidence immédiate. Nos « lumières naturelles » l'éclairent assez mal. C'est que nous n'avons pas grandi avec Benedetti. Et Archimède. Depuis longtemps déjà nous ne sommes plus archimédiens.

Revenons maintenant à l'étude du mouvement. Nous venons de voir que la vitesse s'acquiert dans et par la descente. Mais comment se perd-elle ? Dans le monde archimédien de la physique galiléenne, ce monde où tous les empêchements extérieurs au mouvement sont « écartés » d'avance, elle ne se perd que par la remontée. Le postulat galiléen implique, en effet, que la translation pure et simple, la translation horizontale se fait sans dépense d'énergie : quelle que soit la distance parcourue par le grave, elle est irrelevante ; l'*impetus* ou moment acquis est le même (2). Il est clair que, inversement, quelle que soit la distance parcourue, l'énergie dépensée pour élever un grave à une hauteur déterminée sera toujours la même. Et que cette énergie sera exactement égale à celle que le grave acquiert en descendant. En d'autres termes, que le grave qui descend acquiert un *impetus* ou moment qui suffit, précisément, à lui faire remonter la pente (3).

1. Nous sommes tellement habitués à hypostasier, comme réalité, les résultats — ou les conditions — de nos opérations de calcul que, ou bien nous admettons naïvement que les limites de nos possibilités de détermination sont des propriétés du réel (ainsi, par exemple, nous admettons naïvement l'identité des constituants derniers de la matière, molécules, atomes, électrons), ou bien nous en faisons un « postulat ». L'histoire récente de la physique offre des exemples tellement frappants de cette tendance de notre esprit que nous croyons inutile d'insister.

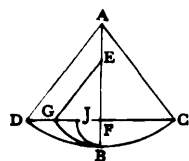
2. Cf. *Dialogo*, I, pp. 46, 47. *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 205.

3. Cf. *Dialogo*, I, p. 47 cité *supra*, p. 90, *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 202.

Ce sont là des conséquences nécessaires de la conception galiléenne du mouvement. Aussi Galilée, tout d'abord, ne se met-il pas en frais pour nous les démontrer. Il se borne, en fait, à nous dire que si l'on s' imagine une balle parfaite descendant le long d'un plan incliné et remontant le long d'un autre plan, et que si on enlève tous les obstacles qui nuisent « à l'expérience (notamment, la perte de l'*impetus* dans l'angle des deux plans) il... paraît bien que l'esprit continue à concevoir que l'*impetus* (lequel, en effet, renferme la force de toute la chute) serait capable de faire remonter le mobile à la même hauteur » (1). Autrement dit : pour Galilée, la proposition est évidente. Sans doute, nous propose-t-il de ne prendre cette affirmation, dont la vérité absolue sera établie plus tard, que comme un « postulat ». Nous savons bien que c'est là une façon de parler. Sans doute, nous l'éclaire-t-il préalablement par l'« expérience » infiniment ingénieuse du pendule qui, tombant du même point, remonte toujours à la même hauteur, c'est-à-dire, au même plan horizontal quel que soit l'arc de la remontée (2). L'expérience est merveilleuse d'ingéniosité. Toutefois — et Galilée ne nous le cache pas — c'est encore une expérience de pensée. Et, ajouterons-nous, pour être concluant, le raisonnement galiléen présuppose justement le postulat qu'il s'agit de démontrer.

1. Cf. *Discorsi e dimostrazioni*, III, pp. 218, 244.

2. Cf. *Discorsi*, III, p. 206 ; cf. E. JOUGUET, *Lectures de Mécanique*, v. I, p. 98 : « Imaginez que cette feuille soit un mur vertical, qu'un clou y soit planté auquel soit suspendu une balle de plomb, d'une once ou deux, par un fil AB long de deux ou trois coudes et perpendiculaire à l'horizon. Traçons sur le mur une horizontale CD coupant d'équerre le fil AB, lequel est



à une distance d'environ deux doigts du mur. Ecartons le fil AB et la balle dans la position AC et lâchons la balle. Nous verrons celle-ci descendre en décrivant l'arc CB et dépasser l'extrémité B de telle façon qu'elle remontera, suivant BD, à peu près jusqu'à la ligne tracée CD ; il s'en faudra toutefois d'un petit intervalle qu'elle n'y arrive, circonstance due précisément à la résistance de l'air et du fil. De là nous pouvons conclure, en toute vérité, que l'*impetus* acquis par la balle au point B, dans sa descente le long de l'arc CB est tel qu'il suffit à la faire remonter, le long d'un arc identique BD, à la même altitude. Cette expérience

faite et refaite, fixons dans le mur, tout contre la verticale AB, en E, par exemple, ou en F, un clou qui fasse saillie de cinq ou six doigts ; le fil AC tournant comme tout à l'heure, la balle décrira l'arc CB ; quand elle arrivera en B, le fil accrochera le clou E et la balle sera obligée de parcourir la circonférence BG décrite de E comme centre. Nous verrons alors ce que pourra produire le même *impetus* qui, acquis à l'extrémité B, peut remonter le mobile suivant l'arc BD jusqu'à la hauteur de l'horizontale CD. Eh bien..., vous verrez avec plaisir la balle atteindre l'horizontale au point G ; la même chose arrivera si le clou était planté plus bas, en F, par exemple, la balle décrirait alors l'arc BJ et terminerait toujours son ascension à la ligne CD et si le clou était trop bas pour que la longueur du fil permit à la balle d'atteindre la hauteur CD (cela arriverait si le clou était plus près de B que de CD) le fil s'enroulerait autour du clou. Cette expérience ne permet pas de douter de la vérité du principe suppose. Les deux arcs CB, BD étant égaux et semblablement placés, le moment acquis dans la descente sur CB est le même que celui qui serait acquis suivant DB ; mais le moment

Entendons-nous : nous n'en faisons nullement grief à Galilée. Le but de notre étude n'est pas de découvrir les fautes formelles des raisonnements galiléens ; mais de dévoiler la substructure réelle de sa pensée, et notamment de nous faire reconnaître le rôle qu'y jouent le fait et la notion de pesanteur. A dire vrai, nous eussions pu nous rendre notre tâche plus facile. Pour apprécier ce rôle, et nous faire voir la valeur dynamique de la gravité, nous aurions pu nous borner à citer la démonstration, donnée par Galilée, de son premier « postulat ».

Ce postulat, transformé plus tard en théorème (1), fait dépendre la vitesse d'un corps descendant de la hauteur de sa chute, quelle que soit la distance parcourue. Or, la loi de la chute des graves, entre temps établie par Galilée, fait dépendre cette vitesse du temps écoulé, c'est-à-dire de la durée de la descente qui, de toute évidence, ne peut être la même sur la verticale (en chute libre) et sur le plan incliné. Galilée va donc nous montrer que la loi de la chute — que Galilée admet comme valable pour la descente du grave sur le plan incliné (2) — conduit justement au théorème en question. « Il a été établi, nous dit-il par la bouche de Salviati (3), que sur un plan incliné quelconque la vitesse ou la quantité d'*impetus* d'un mobile partant du repos croît comme le temps (c'est là la définition donnée par notre auteur pour le mouvement naturellement accéléré) ; donc, comme cela a été dit dans la proposition précédente, les espaces parcourus sont en raison double des temps, et par suite, des degrés de vitesse ; tels furent les *impetus* dans le premier mouvement, tels seront proportionnellement les degrés de vitesse acquis dans le même temps, puisque les uns et les autres croissent suivant la même proportion du temps. » Or, comme la vitesse du mobile dépend de l'*impetus* ou « moment » initial, et que ces *impetus* ou « moments » varient avec l'inclinaison du plan, il s'ensuit que le mobile qui descend sur un plan incliné, tout en allant moins vite, se meut plus longuement et

acquis en B suivant CB est capable de remonter le même mobile suivant BD : donc le moment acquis suivant DB est égal à celui qui remonterait le même mobile le long du même arc de D en B, de sorte que, d'une manière générale, le moment acquis dans la chute suivant un arc quelconque est égal à celui qui peut faire rebondir le même mobile le long du même arc. Mais tous les moments qui font rebondir le mobile le long de tous les arcs BD, BG, BJ sont égaux puisqu'ils sont faits du moment acquis dans la descente CB, comme le montre l'expérience. Donc tous les moments, acquis en descendant suivant les arcs DB, GB, JB sont égaux. »

1. Cf. *Discorsi*, III, p. 215.

2. Cf. *Discorsi*, III, p. 218. Cf. *Dialogo*, I, p. 48.

3. Cf. *Discorsi*, III, p. 216.

cale de toute la longueur FA, et puisque le rapport entre l'ascension et la descente reste toujours le même, que le mouvement des mobiles soit grand ou petit (ils sont, en effet, réunis ensemble), nous pouvons affirmer que, lorsqu'il y aura équilibre, c'est-à-dire, repos des mobiles, les moments, les vitesses ou leur tendance au mouvement, c'est-à-dire, les espaces qu'ils parcourraient dans le même temps, devront être en raison inverse de leurs gravités, conformément à la loi qui se démontre dans tous les cas des mouvements mécaniques (1). Par suite, il suffira, pour empêcher la chute de G, que H soit d'autant moins lourd par rapport à lui que l'espace CF est moindre par rapport à l'espace FA. Donc les graves G et H étant entre eux comme FA à FC, ils'ensuivra que l'équilibre aura lieu, c'est-à-dire que les graves H, G auront des moments égaux et que leur mouvement cessera. Et puisque nous sommes convenus que pour un mobile, l'*impetus* (l'énergie, le moment ou la propension au mouvement) est égal à la grandeur de la force ou résistance *minima* qui suffit à le tenir fixe, nous concluons que le grave H est suffisant pour empêcher le mouvement du grave G; donc, le poids le plus petit, H qui exerce son moment total sur la verticale FC, sera la mesure précise du moment partiel que le plus grand poids G exerce sur le plan incliné FA; mais la mesure du moment total du même grave est lui-même (puisque pour empêcher la chute verticale d'un grave il faut l'action contraire d'un grave égal qui soit cependant libre de se mouvoir verticalement). Donc, l'*impetus* ou le moment partiel de G sur le plan incliné FA est à l'*impetus* maximum et total du même G sur la verticale FC comme le poids H au poids G, c'est-à-dire, par construction, comme la hauteur FC du plan est au plan FA. »

Le raisonnement galiléen, qui fait de l'*impetus* une grandeur et qui — en raccordant ainsi la dynamique à la statique (2) — mesure l'*impetus* par la résistance, c'est-à-dire, en dernière analyse, par le poids qui contrebalance l'impulsion au mouvement (3), est une transposition du raisonnement archimédien. La *gravitas secundum situm* devient un *impetus secundum situm*, et la statique se transforme en dynamique parce que la gravité elle-même est interprétée dynamiquement par Galilée.

Or, s'il en est ainsi, si la dynamique de Galilée est, dans son fond le plus profond, archimédienne et tout entière fondée sur la

notion de la pesanteur, il en résulte que Galilée ne pouvait pas formuler le principe d'inertie. Aussi ne l'a-t-il jamais fait.

En effet, pour pouvoir le faire, c'est-à-dire pour pouvoir affirmer la persistance éternelle non point du mouvement en général, mais du mouvement *en ligne droite*, pour pouvoir se représenter un corps, abandonné à lui-même et *privé de tout support*, comme demeurant au repos ou continuant à se mouvoir *en ligne droite* et non *en ligne courbe* (1), il eût fallu qu'il pût concevoir le mouvement de la chute comme un mouvement non point naturel, mais au contraire, comme « adventice » et « violent », c'est-à-dire comme causé par une force extérieure. Ce qui veut dire qu'il eût fallu que, poussant jusqu'au bout le mathématisme de sa philosophie de la nature, Galilée en arrivât à exclure la gravité non seulement de la constitution essentielle du corps, mais même de sa constitution « effective ». En d'autres termes, il eût fallu qu'il pût réduire l'être effectif du corps à ses déterminations essentielles. Et cela, à son tour, veut dire : il eût fallu que, cessant d'être archimédien, il devint cartésien.

On a dit quelquefois, et nous l'avons dit nous-même, que la route vers le principe d'inertie était, pour Galilée, obstruée par l'expérience astronomique du mouvement circulaire des planètes (2), mouvement inexplicable et donc éminemment « naturel ». Cela nous paraît incontestable. Ce n'était d'ailleurs pas le seul obstacle que l'astronomie, ou plus exactement la considération de l'Univers astral, opposait à l'invention du principe d'inertie : la croyance à la finitude de cet Univers dressait une barrière infranchissable devant la pensée galiléenne. Elle aurait suffi pour déterminer son échec. Mais, en outre, la physique céleste se trouvait être pleinement d'accord avec la physique terrestre : car celle-ci, fondée entièrement sur une conception dynamique de la gravité, source du mouvement et propriété constitutive et inadmissible de ses corps, ne pouvait pas admettre le caractère privilégié du mouvement rectiligne (3).

1. Pour les prédécesseurs de Galilée, le mouvement *en ligne droite* du projectile allait, de soi : la trajectoire ne s'incurvait que vers la fin de la course. Pour Galilée, elle s'incurve dès le début du mouvement : aussi le mouvement du projectile en ligne droite devient-il pour lui, *rigoureusement impossible*.

2. Cf. E. WOHLEWILL, « Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes », *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, vol. XV, p. 129 sq., 346 sq. ; cf. plus haut, p. 5.

3. Cf. *Dialogo*, II, p. 62, où le mouvement circulaire est présenté comme « naturel » pour tous les corps et non seulement pour les corps célestes et II, p. 193 où Galilée nous dit que le mouvement rectiligne n'existe pas dans ce monde.

1. Cf. *Le Mécanisme, Opere*, vol. II, pp. 156, 164, 168, 170, 185.

2. Cf. E. JOUGUET, *Lectures de Mécanique*, v. I, p. 106, n. 119 ; pp. 111 sq.

3. Aussi estime-t-il l'« inertie » keplerienne parfaitement superflue.

Nous venons de voir que l'impossibilité, pour Galilée, de formuler le principe d'inertie s'explique, d'une part, par son refus de renoncer entièrement à l'idée du Cosmos, c'est-à-dire à l'idée d'un monde bien ordonné (1), et d'admettre franchement l'infinité de l'espace ; et, d'autre part, par son incapacité de concevoir le corps physique (ou le corps de la physique) comme privé du caractère constitutif de la gravité.

Pourquoi Galilée se refuse-t-il à admettre l'infinité de l'espace ? Question à laquelle il nous est impossible de répondre. Nous sommes obligés de nous contenter du fait : l'Univers galiléen est un Univers fini (2). Peut-être — mais ce n'est là qu'une hypothèse — fut-il effrayé par l'exemple de Bruno. Nous voulons dire : par l'exemple des conséquences auxquelles la doctrine de l'infinité avait conduit celui-ci (3).

Et pourquoi est-il incapable de faire abstraction de la gravité ? Tout simplement, parce qu'il ne sait pas ce qu'elle est. Il peut bien s'abstraire de toute théorie de la pesanteur, mais non de la gravité, donnée immédiate de l'expérience et du sens commun. Pas plus que son maître Archimède, il ne peut l'expliquer. Il n'a rien à lui supposer.

On pourrait nous objecter, sans doute, que notre explication, valable pour Archimède, ne l'est pas en ce qui concerne Galilée. Archimède, en l'absence de toute théorie physique de la gravité, était bien forcé de l'accepter comme un fait. Mais ce qui est vrai pour son époque ne l'est plus pour celle de Galilée. Une théorie physique de la gravité existe. C'est celle de Gilbert, que, tout en la modifiant, adopte Kepler. Pourquoi donc Galilée qui admire Gilbert presque autant qu'il admire Copernic (4), qui est persuadé, et le proclame par la bouche de

1. Cf. *Dialogo*, I, p. 42 sq. cité plus haut, p. 49.

2. V. le texte cité plus haut, p. 51, n. 2 et *Dialogo*, III, pp. 324, 375, 388. Cf. *Lettre à Ingoli. Opere*, vol. VI, pp. 518 sq. ; 524 sq.

3. Nous avons déjà dit plus haut (cf. p. 55) que Galilée qui, sans aucun doute connaissait l'œuvre de Bruno ne le nomme jamais : lorsque Kepler lui envoie une interprétation brunnienne des découvertes du *Nuntius Sidereus*, Galilée ne répond pas. On sent bien : le nom de Bruno est tabou. Cf. *Dissertatio cum Nuntio Sidereo, Opere*, vol. III, 1, pp. 105 sq.

4. Cf. *Dialogo*, III, p. 432 sq. : « SALV. Io sommamento laudo ammire ed invidia questo autore, per essergli caduto in mente concetto tanto stupendo circa a cosa maneggiata da infiniti ingegni sublimi, nè da alcuno avvertita ; parmi anco degno di grandissima laude per le molte nuove e vere osservazioni fatte da lui, in vergogna di tanti autori mendaci i vani, che scrivono non sol quel che sanno, ma tutto quello che senton dire dal vulgo sciocco, senza cercare di assicurarsene

Sagredo (1), que Gilbert a raison, et que la terre est un grand aimant, ne l'adopte-t-il pas ? La réponse nous paraît évidente : Galilée a beau admirer Gilbert, il a beau accepter sa doctrine sur la nature magnétique de la gravité, il ne peut l'utiliser parce qu'elle n'est ni mathématique, ni même mathématisable (2). L'attraction gilbertienne est une force *animée* (3). L'attraction keplerienne, sans doute ne l'est pas ; ou plus. Mais de son passé animiste elle garde la faculté de pouvoir se diriger, d'elle-même, vers son objet. Elle sait, en quelque sorte, où il lui faut aller, où est le corps qu'il faut attirer (4). Faculté mystérieuse, que les recherches propres de Galilée sur l'aimant n'ont pas réussi à éclaircir, et à mathématiser, et qui est restée inutilisable pour la physique.

Aussi, par trois fois, Galilée s'approche-t-il du principe d'inertie jusqu'à, pour ainsi dire, le frôler ; et chaque fois, au dernier moment, il recule. Rien n'est plus instructif, croyons-nous, que l'analyse de ces trois refus.

Une première fois le principe du mouvement circulaire est mis en danger lors de la discussion sur la force centrifuge. Ptolémée, on s'en souvient, avait fondé là-dessus un argument contre le mouve-

con *esperienza...* » Et, un peu plus loin, après avoir adressé à Gilbert certaines critiques, Galilée continue : « *Nè perciò deve diminuirsi la gloria del primo osservatore ; nè io stimo meno, anzi ammire più assai, il primo inventore della lira... che cent'altri artisti che ne i conseguenti secoli tal professione ridussero a grand'esquisitezza.* » Cf. pp. 493 sq. La sympathie galiléenne pour Gilbert est sans doute nourrie également par le copernicanisme résolu de celui-ci. Cf. G. GILBERT Colchestrensis, *De Magnete*, Londini, 1660, l. VI, c. III, p. 220 : « Jam vero cum coelum totum, et vastam mundi amplitudinem, in gyrum rotari, absurdius quam dici potest vulgares philosophi imaginantur : relinquunt ut terra diurnam immutationem perficiat. Dies igitur hic qui dicitur naturalis est meridiani alicuius telluris a sole ad solem revolutio. Revolvitur vero integro cursu, a stella aliqua fixa ad illam rursus stellam. Quae natura moventur corpora motu circulari, aequali et constanti, illa in suis partibus variis instruuntur terminis. Terra vero non Chaos est, nec moles indigesta ; sed astra sua virtute, terminos habet motui circulari inservientes, polos non mathematicos, aequatorem non imaginatione conceptum, meridianos etiam et parallelos ; quos omnes permanentes, certos, naturales in terra invenimus : quos tota philosophia magnetica plurimis experimentis ostendit. » V. aussi, p. 225, 228.

1. *Dialogo*, III, 431.

2. *Dialogo*, III, p. 432. : « SALV. Quello che avrei desiderato nel Gilberti, è che fusso stato un poco maggior matematico, ed in particolare ben fondato, nella geometria ». Sur le caractère non mathématique de la physique gilbertienne, v. le livre déjà cité de E. BURTT, *The metaphysical foundations of modern physical science*, p. 68 sq.

3. Cf. GILBERT, *De Magnete*, l. V, cap. XII, p. 209 : « *Vis magnetica animata est, aut animatam imitatur, quae humanam animam dum organico corpori alligatur, in multis superat.* Admirabilis in plurimis experimentis magnes, et veluti animatus. Atque haec est una ex illis egregia virtus, quam veteres in caelo, in globis et stellis, in sole et luna animam existimabant. Suspiciabantur namque non sine divina et animata natura posse motus tam varios fieri, corpora ingentia certis temporibus torqueri, admirabiles potentias in alia corpora infundi. » Aussi Gilbert croit-il aux âmes des astres.

4. L'attraction newtonienne n'est pas dirigée vers un objet. Elle est une fonction de l'espace.

ment de la terre, affirmant que la vitesse énorme de ce mouvement la ferait voler en éclats. Et Salviati, suivant la méthode habituelle de Galilée de renforcer les arguments de l'adversaire, essaiera (1) « de montrer encore plus clairement combien il est vrai que les corps graves qui tournent rapidement autour d'un centre immobile, acquièrent un *impetus* de se mouvoir en s'éloignant de ce centre. Attachons à l'un des bouts d'une corde un récipient rempli d'eau, et tenons l'autre bout fortement dans la main ; que le bras et la corde soient le semi-diamètre, et la jointure de l'épaule, le centre ; faisons tourner rapidement le vase, de telle façon qu'il décrive une circonférence d'un cercle. Or, qu'il soit parallèle à l'horizon, ou vertical, ou incliné d'une manière quelconque, il s'ensuivra dans tous les cas que l'eau ne s'écoulera pas du vase, et aussi que celui qui le fait tourner sentira tout le temps la corde le tirer et faire un effort pour s'éloigner de l'épaule ; et si au fond du récipient on faisait un trou, on verrait l'eau en jaillir aussi bien vers le ciel que latéralement ou vers la terre. Et si au lieu de l'eau on y mettait de la pierre, on sentirait la même force tirer la corde ; et, enfin, on voit les enfants lancer des pierres à une grande distance en fixant les dites pierres au bout d'un bâton qu'ils font tourner rapidement : arguments qui, tous, confirment la vérité de la conclusion selon laquelle la rotation confère au mobile un *impetus* vers la circonférence, lorsque le mouvement est rapide ; or, donc, si la terre tournait autour d'elle-même, le mouvement de sa surface, surtout vers l'équateur, comme étant incomparablement plus rapide que les mouvements précités, devrait lancer toutes les choses dans le ciel. »

Pris à la lettre, l'argument exposé par Salviati est sans valeur (ce que, avant Galilée, personne n'avait, d'ailleurs, remarqué), puisqu'il confond la vitesse linéaire du point pris à la surface de la terre avec la vitesse angulaire de la rotation de celle-ci. Aussi Salviati dira-t-il (2) : « Nous avons jusqu'ici admis et accordé à Ptolémée comme un effet indubitable que, la projection de la pierre provenant de la rapidité de la [rotation] de la roue mue autour de son centre, la cause de la dite projection s'accroît dans la mesure où la rapidité de cette rotation augmente ; d'où l'on a inféré que, la rapidité de la rotation de la terre étant infiniment plus grande que celle d'une quelconque machine que nous puissions artificiellement faire tour-

1. Cf. *Dialogo*, II, p. 216 ; cf. *supra*, p. 7.

2. *Dialogo*, II, p. 237.

ner, la projection (extrusion) des pierres et des animaux, etc. devrait, en conséquence, être extrêmement violente. Or, je remarque que ce raisonnement est une très grande erreur, puisque, indifféremment et absolument, nous avons comparé les vitesses entre elles. Il est vrai que si je compare les vitesses de la même roue, ou de deux roues égales entre elles, celle qui tournera plus rapidement projettera la pierre avec un plus grand *impetus* et, la vitesse croissant, la cause de la projection croîtra dans la même proportion ; mais si la vitesse se faisait plus grande non pas par l'accroissement de la vitesse de la même roue, c'est-à-dire par suite d'un plus grand nombre de révolutions faites dans des temps égaux, mais par suite de l'accroissement du diamètre de ladite roue, c'est-à-dire qu'elle devienne plus grande, tandis que le temps d'une révolution resterait le même ; si, donc, la vitesse dans la grande roue n'était plus grande que parce que sa circonférence est plus grande : il ne faudrait pas que quelqu'un crût que la cause de la projection dans la grande roue croîtrait en proportion de la vitesse de sa circonférence à la vitesse de la circonférence de la petite roue, parce que ce serait absolument faux, comme on le pourra montrer par une expérience très facile, à savoir qu'une pierre qui peut être lancée par une canne longue d'une coudée ne le pourra pas par une canne longue de six, encore que le mouvement de l'extrémité de la canne longue (1), où est fixée la pierre, fût deux fois plus rapide que celui de l'extrémité de la canne plus courte ; ce qui serait le cas si les vitesses fussent telles que lors d'une révolution de la plus longue, la plus courte en fît trois. » En effet, c'est la vitesse de rotation (la vitesse angulaire) seule qui importe, et, ainsi que le remarque Sagredo (2), « la rotation de la terre ne sera pas plus suffisante pour projeter les pierres que ne le sera celle d'une petite roue quelconque qui tourne si lentement que, en vingt-quatre heures, elle ne fait qu'une seule révolution ».

L'argument ptoléméen est, on le voit bien, tout à fait fallacieux. Cela ne l'empêche point d'être d'une importance capitale. Et de nous révéler quelque chose de tout à fait incompatible avec les assertions réitérées de Galilée. En effet, si — ainsi que Galilée nous l'a affirmé maintes et maintes fois — le mouvement, en tant que tel, est comme nul et non existant pour les choses qui en participent toutes ensemble, si, en particulier, sur la terre douée du mouvement de rotation tout

1. Remarquons que l'*impetus* est partout représenté comme fonction de la vitesse.

2. *Dialogo*, II, p. 244.

se passe exactement de la même manière que sur la terre immobile, autrement dit, si le principe de la relativité du mouvement était valable universellement et absolument, et si, en particulier, il l'était pour le mouvement circulaire « autour d'un centre », le mouvement de rotation de la terre, pas plus qu'aucun autre, ne pourrait produire de force centrifuge. L'existence de celle-ci va de soi dans la physique d'Aristote, ou de Ptolémée : pour ceux-ci, le mouvement circulaire (autour d'un centre) n'est naturel que pour les corps célestes, et les sphères, privés de gravité ; il ne l'est nullement pour les corps graves. Or, Galilée nous a fait voir qu'il n'en était nullement ainsi et que c'est justement pour les graves que le mouvement circulaire possédait un caractère privilégié. Sans doute, vu la rotation très lente de la terre, la force centrifuge que produit son mouvement est-elle très faible ; cependant, aussi faible qu'elle soit, elle pourrait néanmoins produire des effets perceptibles. Et puis, si la terre tournait plus rapidement ?

Aussi Galilée va-t-il s'efforcer de nous démontrer que, quelle que soit la vitesse de la rotation de la terre, les effets prévus par Ptolémée ne pourraient jamais avoir lieu. Mais sa démonstration, tellement ingénieuse que l'on en regrette vivement la fausseté, va nous révéler un fait d'une portée capitale : à savoir que toute impulsion au mouvement se fait *en ligne droite* (1), et que le mouvement circulaire des graves n'est qu'une résultante de deux mouvements rectilignes (2)... Nous sommes au seuil du principe d'inertie. Au seuil que Galilée se refusera cependant de franchir !

Le raisonnement de Ptolémée est faux. Pourtant, il est plausible. L'assertion de Sagredo selon laquelle le mouvement extrêmement rapide de la surface terrestre est aussi peu capable de projeter une pierre que le mouvement extrêmement lent de la circonférence d'une roue d'un mètre de diamètre, est juste. Mais elle paraît suffisamment paradoxale (3) : les vitesses qui animent les pierres ne sont-elles pas, dans les deux cas, extrêmement différentes ? Sans doute. Mais Galilée nous expliquera que cela n'a pas d'importance, et pour mieux l'expliquer, il nous donnera même un dessin (4) :

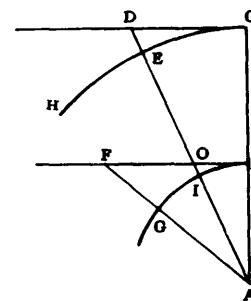
1. *Dialogo*, II, p. 201.

2. *Dialogo*, II, p. 222.

3. Elle paraît telle aussi à Sagredo, cf. *Dialogo*, II, p. 238.

4. Cf. *Dialogo*, II, p. 242.

« Soient deux roues inégales autour d'un même centre A ; BIG la circonférence de la plus petite, et CEH celle de la plus grande ; soit enfin ABC le semi-diamètre perpendiculaire à l'horizon ; par les points B, C menons les lignes droites tangentes BF, CD et sur les arcs BG, CE prenons deux parties égales BG, CE ; admettons que les deux roues tournent avec la même vitesse autour de leurs centres, de telle façon que deux mobiles, par exemple deux pierres, placées aux points B et C, soient portés par les circonférences BG et CE avec des vitesses égales, c'est-à-dire que dans le même temps dans lequel la pierre B décrira l'arc BG, la pierre C passera l'arc CE : je dis que la rotation de la plus petite roue aura beaucoup plus de puissance pour projeter la pierre B que n'en aura la rotation de la roue plus grande pour projeter la pierre C. Étant donné que (ainsi que nous l'avons déjà déclaré), la projection doit se faire par la tangente, lorsque les



pierres B, C devront se séparer de leur roue et commencer le mouvement de la projection à partir des points B, C, elles seront, par l'*impetus* produit par la rotation, projetées par les tangentes BF, CD ; par les tangentes BF, CD, les deux pierres ont donc les mêmes *impetus* de projection ; aussi seraient-elles projetées [selon ces tangentes] si elles n'étaient déviées par quelque autre force. N'est-il pas ainsi S. Sagredo ? » — *Sagredo*. « Il me paraît que les choses se passent ainsi. » — *Salviati*. « Mais quelle nous paraît être la force qui dévie la pierre de son mouvement par la tangente, où véritablement la jette l'*impetus* de la rotation ? » — *Sagredo*. « C'est sa propre gravité ou quelque chose qui la retient posée et attachée à la roue. » — *Salviati*. — « Mais pour dévier un mobile du mouvement vers où il a l'*impetus*, ne faut-il pas une force plus ou moins grande, selon que la déviation doit être plus ou moins grande ? c'est-à-dire selon que lors de la déviation il devra passer dans le même temps un espace plus ou moins grand ? » — *Sagredo*. « Oui, parce que pour faire mouvoir un mobile, il faut que la vertu mouvante soit d'autant plus grande que plus grande est la vitesse avec laquelle on a à le mouvoir. » — *Salviati*. « Or, considérez que, pour dévier la pierre de la roue la plus petite du mouvement de la projection, mouvement qu'elle aurait fait par la tangente BF, et la retenir attachée à la roue, il faut que sa gravité propre la retire d'une longueur égale à celle de la sécante FG,

ou bien à celle de la perpendiculaire menée du point G à la ligne BF ; tandis que dans la roue la plus grande ce recul n'a pas à être plus grand que la sécante DE, ou que la perpendiculaire menée du point E à la tangente DC, sensiblement plus petite que FG, et d'autant plus petite que la roue se ferait plus grande ; et parce que ces reculs ont à se faire en temps égaux, c'est-à-dire pendant que [les mobiles] franchissent les deux arcs égaux BG, CE, celui de la pierre B, c'est-à-dire le recul FG, devra être plus rapide que l'autre, DE, et par conséquent pour retenir la pierre B conjointe à sa petite roue, une force beaucoup plus grande sera nécessaire qu'il n'en faudra [pour retenir] la pierre C près de la grande ; ce qui est la même chose que de dire que telle petite force qui empêchera la projection de la grande roue ne l'interdira pas à la petite. Il est donc clair que la cause de la projection se réduit d'autant plus que la roue devient plus grande. »

Le raisonnement de Salviati est parfait, mais, pour le rendre compréhensible, il a dû développer toute une théorie de la force centrifuge, et montrer tout d'abord que celle-ci n'est pas dirigée radialement, vers la circonférence, mais, au contraire, tangentielllement et perpendiculairement au rayon de la roue (1).

D'où, cependant, il semble s'ensuivre — et s'ensuit d'ailleurs effectivement — que (lorsque les deux roues ont une même vitesse angulaire) le mobile placé sur une grande roue, et se mouvant donc linéairement plus vite que le même mobile placé sur une roue plus petite, aura un *impetus* beaucoup plus grand. Aussi — si les deux ont une même vitesse angulaire — sera-t-il lancé beaucoup plus loin par une fronde ou une canne longue que par une courte. Sans doute, répondra Galilée, s'il parvient à quitter la roue (ou la fronde). Mais, de lui-même, il ne le pourra pas, car la plus petite force sera suffisante pour l'y retenir.

En effet, l'*impetus* du mobile en mouvement circulaire est dirigé par la tangente du cercle de son mouvement ; et cherche à l'écarter du cercle en question. Mais cet écartement, comment se fait-il ? Simplicio à qui la question est posée ne la comprend pas très bien. Il ne sait pas y répondre, n'y ayant jamais pensé. Mais Salviati le rassure. Ce qui lui manque, ce sont uniquement les termes. Quant au fond de la question, lui dit-il (2), « de la même manière dont vous avez su ce qui précède, vous saurez, non, vous savez le reste ; et en y

pensant vous vous en ressouviendrez également par vous-même ; mais pour abréger le temps je vous aiderai à vous en ressouvenir. Jusqu'ici vous avez reconnu par vous-même que le mouvement circulaire du projetant imprime au projectile un *impetus* de se mouvoir (lorsqu'il arrive qu'ils se séparent) par la droite tangente au cercle au point de la séparation, et que, continuant à se mouvoir par cette ligne, il s'éloigne continuellement du projecteur. Et vous avez dit que le projectile continuerait à se mouvoir par cette ligne droite si, par son propre poids, ne lui fut adjointe l'inclination [de se mouvoir] vers le bas, dont dérive l'incurvation de la ligne du mouvement. Il me semble aussi que vous avez su par vous-même que cette incurvation tend toujours vers le centre de la terre, parce que c'est là que tendent tous les graves. Or, remontons un peu plus avant, et demandons-nous si le mobile, après la séparation, en continuant son mouvement rectiligne s'en va en s'éloignant toujours également du centre, ou si vous voulez, de la circonférence du cercle auquel participait le mouvement précédant [la séparation] ; ce qui veut dire, si un mobile qui part du point de la tangente et qui se meut par la dite tangente s'éloigne également du point de contact et de la circonférence du cercle. » — Simplicio a compris. Aussi répond-il (1) :

Simplicio. « Oh non, puisque la tangente, dans le voisinage du point de contact, ne s'écarte que très peu de la circonférence avec laquelle elle forme un angle extrêmement aigu, mais en s'éloignant de plus en plus, son éloignement [de la circonférence] croît avec une proportion toujours plus grande... »

Les destinées ultérieures de la pierre projetée n'intéressent pas Galilée. Ce qui l'intéresse, c'est ce qui se passe au moment même de la séparation, au moment où la pierre, cessant de se mouvoir circulairement commence son mouvement rectiligne. Aussi y ramène-t-il le débat (2) :

Salv. « Ainsi donc, l'écartement du projectile par rapport à la circonférence du mouvement circulaire précédent est extrêmement petit au début ? » — *Simpl*. « Presque insensible. » — *Salv*. « Alors, dites-moi donc : le projectile qui, du mouvement du projecteur, reçoit l'*impetus* de se mouvoir par la droite tangente et qui le ferait aussi si son poids propre ne tirait vers le bas, quand est-ce que, après la séparation, il va commencer à décliner vers le bas ? » — *Simplicio*. « Je crois

1. Cf. *Dialogo*, II, pp. 217 sq.

2. *Dialogo*, II, p. 219. Notons la technique socratique de Salviati.

1. *Ibid.*

2. *Dialogo*, II, p. 220. sq.

qu'il commence immédiatement [à le faire] parce que, n'y ayant rien qui le soutienne, il ne peut se faire que sa gravité propre n'agisse point. » — *Salviati*. « Ainsi donc, si cette pierre qui est lancée par la dite roue, mue en cercle avec une grande vitesse, avait la même propension naturelle de se mouvoir vers le centre de cette roue qu'elle a de se mouvoir vers le centre de la terre, ce serait chose facile qu'elle retourne à la roue, ou plutôt qu'elle n'en parte pas. Car, au début de la séparation, l'écartement est tellement petit, à cause de la petitesse infime de l'angle du contact, que tout *minimum* infime d'inclination qui la retirerait vers le centre de la roue, serait suffisant pour la retenir sur la circonférence. »

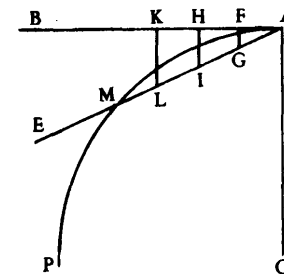
Le raisonnement galiléen, bien que faux, est plausible ; en effet, l'angle formé par la circonférence de la roue et la direction du mouvement (*impetus*) imprimé à la pierre par la rotation est infiniment petit ; sa composante radiale est donc infiniment petite ; par conséquent, conclut Galilée, pour la contrebalancer il suffit d'une force infiniment petite.

Pour que la projection se fasse, il faut, et il suffit, que la vitesse produite par la rotation surpasse celle de la chute. Bien entendu, il ne s'agit pas de la vitesse tangentielle, mais de la vitesse d'écartement, de la vitesse radiale. Mais pourquoi celle-ci, bien qu'infiniment petite, ne serait-elle pas plus grande que celle de la chute ?

Or, Galilée estime que c'est impossible. Et que ce serait impossible encore, même si, comme le veut l'aristotélisme, la vitesse de la chute diminuait avec le poids du grave. Même alors, même si l'allègement du mobile diminuait à l'infini la vitesse de sa chute, et si la projection était favorisée « par deux causes, à savoir la légèreté du mobile et la proximité du terme du repos, tous les deux augmentables à l'infini » cette double infinité n'aurait pas suffi. *A fortiori* donc, une seule serait insuffisante (1).

La démonstration galiléenne est extrêmement curieuse (2) : « Traçons, nous dit-il, une ligne perpendiculaire vers le centre, AC, et menons, à l'angle droit, l'horizontale AB sur laquelle se ferait le mouvement de la projection, c'est-à-dire, sur laquelle le projectile continuerait à se mouvoir d'un mouvement uniforme, si la gravité ne l'inclinait pas vers le bas. Tirons aussi de A une ligne droite AE faisant avec AB un angle quelconque, et marquons sur l'AB quelques es-

paces égaux, AF, FH, HK, et tirons les perpendiculaires FG, HI, KL. Or, comme, ainsi qu'on l'a dit ailleurs, le grave tombant à partir du repos acquiert avec le temps un degré toujours plus grand de vitesse selon que s'écoule le temps, nous pouvons nous figurer que les espaces AF, FH, HK représentent des temps égaux, et les perpendiculaires FG, HI, KL des degrés de vitesse acquis dans les dits temps, de telle façon que le degré de vitesse acquis pendant tout le temps AK soit comme la ligne KL comparée au degré HI acquis dans le temps AH et au degré FG acquis dans le temps AF, lesquels degrés KL, HI, FG ont, ainsi qu'il est manifeste, la même proportion que les temps KA, HA, FA.



« Et si d'autres perpendiculaires se tiraient de points arbitrairement choisis sur la ligne FA, en procédant vers le point A, représentant le premier instant du temps et l'état initial du repos, on en trouverait toujours des degrés de plus en plus petits, à l'infini. Or, ce recul vers A représente la première propension au mouvement vers le bas, diminuée à l'infini par l'avoisinement du mobile au premier état du repos, avoisinement qui peut croître à l'infini... par suite de quoi la vitesse du mouvement vers le bas pourra décroître à un tel point qu'elle ne suffise plus pour ramener le mobile à la circonférence de la roue, et pour faire que la projection soit empêchée et supprimée. Mais par contre, pour que la projection ne se fasse pas, il faut que les espaces par lesquels le projectile doit descendre pour se réunir à la roue, se fassent tellement brefs et étroits que si lente, et même diminuée à l'infini, que soit la descente du mobile, elle suffise néanmoins pour l'y ramener ; il faudrait donc que se trouve une diminution de ces espaces non seulement progressant à l'infini, mais d'une infinité telle qu'elle surpasse la [double] infinité qui se fait lors de la diminution de la vitesse de la chute vers le bas. Mais comment une grandeur peut-elle diminuer plus qu'une autre qui s'amointrit infiniment ? Or, voyez S. Simplicio, si l'on peut bien philosopher de la nature sans géométrie ! Les degrés de vitesse diminués à l'infini... sont toujours déterminés et correspondent proportionnellement aux parallèles comprises entre les deux lignes droites formant un angle (BAE)... rectiligne ; mais la diminution des espaces par lesquels le mobile a à revenir à la circonférence de la roue est propor-

1. *Dialogo*, II, p. 228.

2. *Dialogo*, II, p. 225.

tionnelle à un autre groupe de diminution, compris entre des lignes qui contiennent un angle infiniment plus aigu et plus tendu que tout angle rectiligne, quel qu'il soit. Prenez sur la perpendiculaire AC un quelconque point C, décrivez avec le rayon AC un arc AMP, et celui-ci coupera les parallèles déterminant les degrés de vitesse, si petites qu'elles soient, comprises à l'intérieur de l'angle rectilinéaire le plus aigu ; et de ces parallèles les parties qui resteront entre l'arc et la tangente AB sont les espaces qu'on doit franchir pour retourner sur la roue, espaces de plus en plus petits, à mesure qu'ils se rapprochent du point de contact, plus petits dis-je que les parallèles dont ils sont des parties. Les parallèles comprises entre les lignes droites, en s'approchant de l'angle, diminuent toujours dans la même proportion ; ainsi par exemple, si la ligne AH est divisée en moitié en F, la parallèle HI sera double de FG, et si FA était divisée en moitié, la parallèle du point de division serait la moitié de FG, et si l'on continuait cette subdivision à l'infini, les parallèles suivantes seraient toujours la moitié des précédentes les plus proches ; mais il n'en est pas ainsi en ce qui concerne les lignes comprises entre la tangente et la circonférence du cercle ; ainsi donc, faites la dite subdivision de FA, et posez, par exemple, que la parallèle qui vient du point H soit double de celle qui vient de F, celle-ci sera plus que double de la suivante et ainsi de suite, lorsque nous avancerons vers le point de contact A, nous trouverons que les lignes précédentes contiennent les suivantes les plus proches trois, quatre, dix, mille, cent mille, cent millions de fois, et plus, à l'infini. Ainsi la longueur de ces lignes décroît beaucoup plus rapidement qu'il ne serait nécessaire pour faire que le projectile... retourne, et donc, se maintienne sur la circonférence »...

Le raisonnement galiléen — que nous avons tenu à citer entièrement : rien, en effet, n'est plus instructif que l'erreur — est, nous l'avons déjà dit, extrêmement séduisant et subtil. Malheureusement, il est faux ; et ce qui est plus grave, il est manifestement faux. Les raisonnements infinitésimaux sont, sans doute, difficiles ; et la tentation de la géométrisation à outrance, très forte. Elle n'est pas, cependant, invincible, et Galilée, mieux que quiconque, se rend compte de ses dangers.

L'erreur que commet Galilée n'est pas une simple inadvertance.

Il sait fort bien que le mouvement rapide de la roue (ou de la fronde) peut rompre le lien qui y attache la pierre (1). Il sait donc bien qu'une force donnée peut être vaincue et surmontée par la force centrifuge, pourvu que le mouvement de rotation soit suffisamment rapide. S'il n'admet pas cette possibilité pour le cas de la rotation terrestre, et ne remarque même pas la contradiction qu'il commet ainsi (à nos yeux elle est flagrante), c'est que, pour lui, la force naturelle de la pesanteur qui attire — ou qui pousse — les graves vers le centre de la terre, ne peut pas être mise sur le même plan que l'action extérieure — adventice, violente — d'un lien attachant une pierre à une roue. La gravité agit constamment, et naturellement. Et pour que la force centrifuge puisse la vaincre, il eût fallu, nous dit-il, que le grave, que le corps puisse *se vaincre et se surmonter lui-même* (2). Ce qui veut dire que, pour Galilée, la gravité fonde et explique la faculté que possède le corps de recevoir et d'emmagasiner le mouvement : c'est le même corps, et en vertu de la même gravité, qui reçoit l'impulsion linéaire de la rotation terrestre et qui tend vers le centre de celle-ci. Aussi explique-t-il à Sagredo que la diminution de la gravité est irrelevante ; en effet, avec celle-ci, et dans la même mesure, diminue aussi la capacité de recevoir, l'*impetus* du mouvement (3).

L'*impetus* est, sans doute, rectiligne. Mais il ne l'est que dans l'instant (4). Or, aucun mouvement ne se fait dans l'instant. Et aucun mouvement réel ne peut se faire en ligne droite : la gravité s'y oppose. Le mouvement rectiligne ne serait possible que pour un corps privé de gravité. Mais un tel corps, hélas, ne serait pas un corps réel ; et ne pourrait pas recevoir d'*impetus*.

Chose curieuse ! C'est le progrès accompli par Galilée dans son analyse du mouvement en général, et de celui du jet en particulier, qui lui fait méconnaître le rôle du mouvement en ligne droite, parce qu'il lui fait reconnaître sa non-existence réelle.

En effet, le mouvement violent — ou du moins, l'*impetus* du mouvement violent — est toujours en ligne droite. La balle de l'arquebuse part en ligne droite, comme la flèche, comme la pierre que l'on lance, etc. Mais elle ne se meut jamais en ligne droite. A l'encontre de ces prédécesseurs, mécaniciens et artilleurs, qui décomposaient

1. Cf. *Dialogo*, II, pp. 216, 221.

2. Cf. *Dialogo*, II, p. 220, 222.

3. Cf. *Dialogo*, II, p. 229. Cf. Kepler, cité *supra*, p. 38 sq.

4. Cf. *Dialogo*, II, p. 221.

la trajectoire du boulet en une partie rectiligne et une partie incurvée, Galilée supprime la partie rectiligne. Le principe de la relativité du mouvement le conduit à comprendre que, puisque le mouvement horizontal et vertical ne se gênent pas, et puisque la gravité agit toujours, la trajectoire s'incurvera dès le début (1). Le boulet ne pourrait voler en ligne droite que s'il n'avait pas de poids. Mais alors, de toute évidence, on ne pourrait pas le lancer.

L'inexistence, ou plus exactement, l'impossibilité du mouvement rectiligne « inertial », sur la terre n'explique cependant pas, du moins pas suffisamment, l'erreur galiléenne que nous sommes en train d'étudier. Sans doute, le mouvement par la tangente est-il impossible. Mais Galilée est un assez bon géomètre pour savoir que, entre la tangente et la circonférence (la surface de la terre), on peut placer une infinité de courbes ; et même de circonférences que pourrait suivre le mouvement de la pierre projetée par la rotation. Pourquoi se refuse-t-il à admettre, et même à examiner, cette possibilité ? Au fond, nous l'avons déjà dit : l'admettre serait abandonner la relativité générale du mouvement au profit d'une relativité partielle, limitée à un cas irréalisable et, à strictement parler, impossible : celui du mouvement rectiligne ; ce serait renoncer à voir dans le mouvement d'un grave autour du centre, ce mouvement qui n'élève ni n'abaisse de poids, un mouvement physiquement privilégié ; ce serait admettre que, sur une terre en mouvement, les choses ne se passent pas comme elles se passent sur une terre immobile (2) ; et que, notamment, les graves tombant du haut d'une tour, à parler strictement, n'arriveront jamais au pied de celle-ci, comme ils n'arriveront jamais au centre de la terre.

Or, de cela, Galilée est tellement persuadé que cette conviction l'amène à commettre encore une erreur, et à établir pour le mouvement complexe résultant du jet (ou, ce qui est la même chose, pour le mouvement complexe réel de la chute sur une terre en rotation), une loi sensiblement inexacte, en proclamant que la trajectoire du mouvement en question serait une circonférence et non, ainsi que nous le savons, et ainsi qu'il va, plus tard, l'établir lui-même, une

1. Cf. *Dialogo*, II, pp. 225, 229.

2. Il y a cependant un phénomène qui, selon Galilée, ne se passe pas sur une terre en mouvement comme il se passerait sur une terre immobile : hélas ! c'est celui du flux et du reflux, que la quatrième journée du *Dialogo* présente comme résultant du double mouvement de la terre.

parabole (1). Erreur qui s'explique parce que, dans son raisonnement, Galilée a) admet comme allant de soi que le grave qui tend naturellement vers le centre de la terre finit par y arriver, et b) que son mouvement, tel qu'il se ferait si sa gravité ne le portait pas vers le centre de la terre, c'est-à-dire si quelque chose (la surface de la terre, par exemple) l'empêchait d'y aller, se ferait, naturellement, en cercle (2). Mais voici ce texte si curieux et, disons-le franchement, si mal compris d'habitude :

Salvati. « Si le mouvement rectiligne vers le centre de la terre était uniforme, le mouvement vers l'Orient l'étant également, on verrait se composer de ces deux mouvements un mouvement par une ligne spirale, du genre de celles qu'Archimède a définies dans son livre... Mais puisque le mouvement du grave tombant est continuellement accéléré, il s'ensuit nécessairement que la ligne, composée des deux mouvements, s'éloigne avec une proportion toujours plus grande de la circonférence du cercle, que le centre de gravité de la pierre aurait décrit, si elle était restée sur la tour ; et il faut que cet éloignement, au début, soit petit, et même minime et minimissime, étant donné que le grave, qui part du repos, c'est-à-dire de la privation du mouvement, et acquiert un mouvement rectiligne vers le bas, est forcé de passer par tous les degrés de lenteur qui sont entre le repos et une vitesse quelconque, lesquels degrés sont infinis, comme il a déjà été expliqué et démontré.

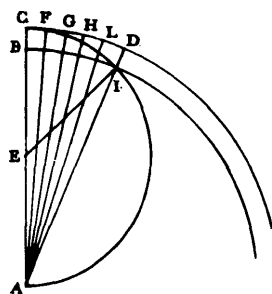
« Donc, étant donné que tel est le progrès de l'accélération, et étant donné en outre que le mouvement du grave descendant a pour terme le centre de la terre (3), il faut que la ligne de son mouvement composé soit telle que, bien qu'elle s'éloigne toujours plus rapidement du sommet de la tour, ou, à mieux dire, de la circonférence

1. *Dialogo*, II, p. 191, en marge : « La linea descritta dal cadente naturale, supposto il moto della Terra circa il proprio centro, sarebbe probabilmente circonferenza di cerchio. » : *ibid.*, p. 192, en marge : « Mobile cadente dalla cima della torre si muove per la circonferenza d'un cerchio ; Non si muove più né meno che se fusse restato la su. Si muove dal moto equabile, e non accelerato. » Cf. *Discorsi*, III, p. 190 ; IV, p. 268 sq.

2. *Dialogo*, II, p. 227 sq. C'est Cavalieri, on le sait bien, qui le premier, a démontré que la trajectoire du projectile était une parabole (v. *Specchio Ustorio*, pp. 151 sq.). Or, il semble bien (cf. E. WOHLLWILL, « Die Entdeckung » etc., *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, v. XV, p. 107, 109, n. 2. et « Entdeckung der Parabelform der Wurflinie », *Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik*, Leipzig, 1899) que, à l'époque de la publication du *Specchio*, (1632), Galilée était déjà, et même depuis fort longtemps (depuis 1610), en possession de cette loi. Aussi reproche-t-il amèrement à Cavalieri de l'avoir privé de la gloire de publier cette belle découverte. Mais alors, pourquoi ne l'a-t-il pas fait dans le *Dialogo* ? Pourquoi y a-t-il publié une loi inexacte ? Ni WOHLLWILL — ni, à notre connaissance, personne d'autre — ne nous a jamais donné la réponse. Elle nous paraît pourtant bien simple : dans le *Dialogo* Galilée étudie les phénomènes qui se passent sur la terre. Aussi ne donne-t-il qu'une loi probable.

3. Souligné par nous.

décrite par le sommet de la tour par suite de la révolution de la terre, elle s'en écarte de moins en moins, infiniment, à mesure où l'on remonte vers le terme premier du mouvement. Et, en outre, *il est nécessaire que la ligne du mouvement composé arrive à se terminer dans le centre de la terre* (1). Or, ces deux présuppositions étant faites, décrivons autour du centre A avec le semi-diamètre AB le cercle BI représentant le globe terrestre ; et, prolongeant le semi-diamètre AB jusqu'à C, nous décrivons la hauteur de la tour BC, laquelle, portée par la terre sur la circonférence BI, décrit avec son sommet l'arc CD ; divisons maintenant la ligne CA en moitiés en E, et prenant E pour centre, décrivons avec le rayon EC le demi-cercle CIA. Je dis que l'on peut croire avec assez de probabilité qu'une pierre tombant du



sommet de la tour C, se mouvra d'un mouvement composé de son propre mouvement rectiligne et du mouvement circulaire commun, en suivant le demi-cercle CIA. En effet, désignons sur la circonférence CD quelques parties égales CF, FG, GH, HL, et, des points F, G, H, L, tirons vers le centre A des lignes droites : les parties de ces lignes, incluses entre les deux circonférences CD, BI représenteront toujours la même tour CB,

transportée par le globe terrestre vers DI ; et sur ces lignes, les points où elles sont coupées par l'arc du demi-cercle CI, sont les lieux où, d'instant en instant, se trouve la pierre qui tombe ; ces points s'éloignent toujours plus rapidement du sommet de la tour, ce qui fait que le mouvement de la pierre le long de la tour apparaît toujours plus accéléré. On voit aussi, grâce au fait que l'angle de contact des deux cercles CD, CI est infiniment aigu, que l'écartement du mobile de la circonférence CFD est, au début, extrêmement petit ; en d'autres termes, que le mouvement vers le bas est extrêmement lent, et se ralentit de plus en plus, à l'infini, à mesure qu'on est plus proche du terme C, c'est-à-dire de l'état de repos ; et enfin, on comprend comment, finalement, un tel mouvement ira se terminer au centre de la terre. »

On le voit bien : pour les mouvements réels, les mouvements des corps graves sur la terre, le plan horizontal, ainsi que nous l'avons dit plus haut, est et reste une circonférence.

1. Souligné par nous.

On nous objectera peut-être que, dans les *Discours*, Galilée arrive à se débarrasser de cette hantise du sphérique et du circulaire. Sans doute. Les *Discours* représentent non seulement une phase postérieure de la pensée galiléenne, mais encore, et même surtout, une étape d'« abstraction » bien plus haute (1). Aussi, dans les *Discours*, la ligne droite n'est-elle pas un cercle, et le plan horizontal, une sphère. C'est que le monde archimédien qu'étudient les *Discours* n'est pas le monde de la réalité terrestre : les graves de ce monde ne tombent pas vers le centre de la terre. Et cependant, ils tombent. Mais la direction de la pesanteur n'est pas vers un « centre » (2) ; les « lignes de force » de la gravité sont parallèles : et c'est pour cela que le plan horizontal de ce monde est un plan euclidien. Mais elles existent ; et c'est pour cela que le mouvement inertial en ligne droite y est impossible.

En effet, examinons les deux textes des *Discours* dans lesquels Galilée s'en rapproche le plus : nous y verrons Galilée affirmer résolument le caractère naturel du mouvement vers le bas ; et, une fois de plus, nous le verrons incapable de faire abstraction de la pesanteur.

Citons, tout d'abord, ce texte admirable de la troisième journée des *Discours* qui nous présente, en un raccourci saisissant, les principes fondamentaux de la physique galiléenne, les principes de la relativité et de la conservation du mouvement (3) : « ... il faut faire attention au fait que le degré de vitesse que l'on trouve dans le mobile lui est, de par sa nature, indélébilement imprimé, tant que des causes externes d'accélération ou de retard ne le détruisent. Ce qui n'arrive que dans le seul mouvement horizontal. Car sur les plans inclinés on est en présence d'une cause d'accélération ; et sur les plans qui s'élèvent, d'une cause de retard : d'où il s'ensuit que le mouvement sur le plan horizontal est éternel. Car s'il est uniforme, il ne s'affaiblit pas, ni ne se ralentit ni, bien moins encore, ne se détruit pas. En outre, il faut considérer [le cas] où un tel degré de vitesse, de par sa nature indélébile et éternel, serait acquis par le mobile dans la descente naturelle, et où le mobile, après la descente serait réfléchi sur un autre plan ascendant : il y aurait alors une cause de retardation. En effet, naturellement, sur un tel plan ce même corps

1. La publication des *Discours* est de six ans postérieure à celle du *Dialogue*. Mais son élaboration — du moins partielle — est sans doute bien antérieure, ou tout au plus contemporaine de la composition de l'œuvre cosmologique.

2. Du moins, pas toujours : cf. cependant le texte cité *supra*, p. 94.

3. *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 243.

descend. C'est pourquoi il se forme un certain mélange des affections contraires, à savoir du degré de cette vitesse acquise dans la descente précédente, degré de vitesse qui, en soi, mènerait le mobile à l'infini avec une vitesse uniforme, et de la propension naturelle à se mouvoir vers le bas en s'accéléralant selon cette même proportion d'après laquelle ce mouvement se fait toujours. C'est pourquoi il paraît tout à fait raisonnable si, en recherchant quels seront les accidents [du mouvement] là, où le mobile, après la descente sur un plan incliné est réfléchi sur un plan ascendant, nous admettons que ce degré *maximum* atteint dans la descente se conserve en soi perpétuellement le même ; et que cependant, lors de l'ascension, se superpose à lui une inclination naturelle vers le bas, c'est-à-dire un mouvement naturellement accéléré en partant du repos, [accéléré] selon la proportion admise toujours... »

On le voit : dans le monde archimédien des *Discours*, le plan horizontal sur lequel le mouvement uniforme se poursuit éternellement n'est plus une surface sphérique ; c'est un plan géométrique infini ; et le degré de vitesse acquis par le grave se conserve en lui éternellement, quelle que soit la direction de son mouvement, ce qui veut dire que tout grave ou, ce qui est la même chose, que tout corps, une fois mis en mouvement sur un plan horizontal, se meut éternellement d'un mouvement rectiligne et uniforme... Nous sommes, nous l'avons dit, au seuil du principe d'inertie ; et nous n'allons pas le franchir. Car Galilée ajoute immédiatement que le corps en question se mouvra naturellement vers le bas, qu'il s'accélérera naturellement en descendant, et ralentira son mouvement en remontant... En outre, son mouvement rectiligne ne persiste, ou si l'on préfère, ne demeure rectiligne, que *tant qu'il se meut sur ce plan*. Or, qu'advierait-il si ce plan arrivait à manquer, à ne plus supporter son mouvement ? — Un texte fameux de la quatrième journée, texte dans lequel on voit, également, une expression du principe d'inertie, va nous l'apprendre (1) : « J'imagine un mobile lancé sur un plan horizontal, tout obstacle étant écarté. On sait, par ce qui a été dit ailleurs, que son mouvement restera indéfiniment uniforme sur ce plan si celui-ci s'étend à l'infini. Mais si ce plan est limité et s'il est installé en l'air, lorsque le mobile, *que nous supposons soumis à la gravité*, (2) dépassera son extrémité, il ajoutera à son premier mouvement uniforme et

1. *Discorsi e dimostrazioni*, IV, p. 268.

2. Souligné par nous.

indestructible la propension que, *du fait de sa gravité* (1) il a [à aller] vers le bas ; de là naîtra un mouvement, composé du mouvement horizontal et du mouvement naturellement accéléré de la descente. J'appelle ce mouvement *projection*... et ce mouvement, ainsi que, par une démonstration désormais classique, le prouve Galilée, sera une demi-parabole.

Nous le voyons : lorsque le plan fait défaut et ne supporte plus le grave, celui-ci tombe. Son mouvement ne se poursuit en ligne droite que tant qu'il demeure sur le plan horizontal ; lorsqu'il n'y est plus, ce mouvement, en soi, se prolonge, mais le grave ne se meut plus en ligne droite.

On pourrait nous objecter, assurément, que Galilée raisonne ici *ex hypothesi* que les corps sont « soumis à la gravité », ce qui, après tout, est une supposition normale ; et que, d'ailleurs, nous-mêmes, nous ne raisonnons pas autrement (2). Sans doute. Et c'est pourquoi le raisonnement galiléen nous paraît tellement « moderne » ; nous oublions que nous, nous expliquons la « pesanteur » — ne serait-ce qu'en lui substituant l'attraction newtonnienne des corps entre eux —, et que si nous pouvons nous représenter les corps comme soumis à la gravité, nous pouvons aussi nous les représenter comme ne l'étant pas. C'est ce que nous faisons, ou du moins, faisons, lorsque, distinguant la gravité de la masse, nous posons les premiers principes de notre physique. Or, c'est justement ce que Galilée ne fait pas. Et ne peut pas faire, parce que pour lui, — en termes modernes — la gravité et la masse se confondent. Et c'est pourquoi la gravité, pour lui, n'est pas une « force » qui *agit* sur le corps ; c'est quelque chose à quoi le corps est « soumis », quelque chose qui appartient au corps lui-même. Aussi ne subit-elle aucune variation ni dans le temps, ni dans l'espace. Un corps pèse ce qu'il pèse partout et toujours, et tombe avec la même vitesse, où qu'on le place : tout près du centre de la terre, ou, au contraire, dans les étoiles (3). Certes, Galilée peut bien — en suivant Archimède — s'abstraire, ou faire abstraction, de la réalité et négliger la direction réelle que prend la gravité sur terre (ce que, d'ailleurs, lui reprocheront, unanimement, Simplicio et Sagredo (4) ; il peut, pour justifier cette démarche, nous

1. Souligné par nous.

2. Cf. E. MACH, *Die Mechanik**, etc., p. 132 sq., 265 sq.

3. Ainsi, lorsqu'il calcule en combien de temps une pierre tombant de la sphère de la lune arriverait sur la terre (*Dialogo*, III, p. 305), il admet que son accélération *ne varie pas* avec sa distance de la terre. Or, il est curieux de noter que Kepler savait déjà que c'était faux.

4. Cf. *Discorsi*, IV, p. 298. Cf. plus bas, p. 140 sq. la réponse de Torricelli à cette objection.

présenter son monde archimédien comme une première approximation (en quoi il a raison, et même doublement raison : la loi archimédienne de la chute est une approximation de la loi réelle, plus complexe ; et le monde archimédien est, en partant du monde géométrique, une première approximation du monde physique), il ne peut pas pousser l'« abstraction » au delà, et cela, parce que la gravité, ainsi que nous l'avons vu maintes et maintes fois, est une propriété constitutive et inséparable du corps physique.

La physique de Galilée explique ce qui est parce que n'est pas. Descartes et Newton vont plus loin : leurs physiques expliquent ce qui est par ce qui ne peut pas être ; elles expliquent le réel par l'impossible. Galilée, nous l'avons vu, ne le fait pas. Ne lui en faisons cependant pas grief. En effet, cet impossible, c'est-à-dire le mouvement inertial en ligne droite, est en quelque sorte moins impossible pour Newton ou Descartes qu'il ne l'est pour Galilée. Ou, si l'on préfère, l'impossibilité de ce mouvement n'est pas la même. N'a pas la même structure.

Pour Newton, le mouvement rectiligne d'un corps lancé dans l'espace est impossible parce que l'action des autres corps le modifie, le dévie et l'empêche. Un corps ne pourrait se mouvoir en ligne droite que s'il était seul dans l'espace. Condition impossible sans doute. Mais elle n'est impossible qu'en fait. Car Dieu, à la rigueur, pourrait fort bien réaliser cette condition.

L'impossibilité du mouvement inertial est, chez Descartes, bien plus profonde. Sans doute s'agit-il chez lui, comme chez Newton, d'une impossibilité en quelque sorte extérieure : un corps ne peut pas se mouvoir en ligne droite parce que les autres — ceux qui l'entourent — l'empêchent de le faire. Mais un corps isolé, pour Descartes, est inconcevable. Dieu lui-même ne pourrait écarter les obstacles qui se dressent, nécessairement, sur sa route. Enfin, chez Galilée, l'impossibilité n'est plus extérieure. Si nul corps ne peut se mouvoir en ligne droite, ce n'est pas parce qu'il rencontre nécessairement des obstacles, ou subit des attractions, qui l'en empêchent. C'est de lui-même qu'il se refuse au mouvement rectiligne. Son poids l'entraîne vers le bas. Et si, par impossible, on supprimait ce poids, son mouvement ne se redresserait pas ; il disparaîtrait avec l'être *physique* du corps.

Ainsi, nous venons de le voir, *Galilée n'a pas formulé de principe d'inertie*. Sur la route qui, du Cosmos bien ordonné de la science médiévale et antique, mène à l'Univers infini de la science classique, il n'est pas allé jusqu'au bout. C'est à Descartes qu'il fut donné de le faire.

CONCLUSION

Et toutefois ce n'est pas à tort que la tradition historique a vu dans Galilée le père de la science classique : c'est dans son œuvre, en effet — et non dans celle de Descartes (1) —, que se réalise, pour la première fois dans l'histoire de la pensée humaine, l'idée de la physique mathématique ; ou mieux encore, l'idée du mathématisme physique.

Aussi, la grosse question, débattue tout le long du *Dialogue* et qui sous-tend tous ses développements, question plus importante encore que celle, malgré tout d'une portée limitée, de la valeur des deux systèmes astronomiques en présence, est-elle celle de la valeur respective de deux philosophies. Car la solution du problème astronomique dépend de la constitution d'une science physique ; et celle-ci, à son tour, présuppose la solution préalable de la question — philosophique — sur la nature et la structure de cette science. Ce qui veut dire, *in concreto*, qu'il s'agit de savoir quel est le rôle joué par les mathématiques dans la constitution de la science du réel.

Le rôle des mathématiques dans la science physique : ce n'est pas un problème bien nouveau. Tout au contraire : depuis deux mille ans il forme l'objet de la méditation — et de la discussion — philosophique. Et Galilée ne l'ignorait nullement. Dès le temps où, jeune étudiant, il suivait à Pise les cours de philosophie de Francesco Bonamico, il avait pu apprendre que la question sur le rôle et la nature des mathématiques formait le principal sujet de dispute entre Aristote et Platon (2).

1. La physique de Descartes, on le sait bien, aboutit à un échec total (v. plus haut, *La loi de la chute des corps*, pp. 53 sq.) : « physique mathématique sans mathématiques » comme le dit si bien M. P. MOURV, *Le développement de la physique cartésienne*, Paris, 1934, p. 144.

2. F. BONAMICI, *De Motu*, Florentiae, 1695, l. I, p. 54 sq. : « Mathematicae cum ex notis nobis, et natura simul efficiant id quod cupiunt, sic caeteris demonstrationis perspicuitate praerogantur, nam vis rerum quas ipsae tractant, non est admodum nobilis ; quippe quod sint accidentia, id est habeant rationem substantiae quatenus subiicitur, et determinantur quanto ; eaque considerentur longe secus atque in natura existant ; usque adeo ut nonnullis non naturae, sed mentis opera esse credantur. Attamen nonnullarum rerum ingenium tale esse comperimus, ut ad certam materiam sese non applicent, neque motum consequantur, quia tamen in natura quicquid est, cum motu existit ; opus est abstractione cuius beneficio

Et quelques années plus tard, lorsqu'il revint à Pise — pour y enseigner cette fois-ci —, Galilée avait pu se faire confirmer par son ami et collègue, Jacopo Mazzoni, auteur d'un ouvrage sur les rapports de Platon et d'Aristote, « qu'il n'y a pas... d'autre question, c'est-à-dire de différence qui ait donné lieu à tant de spéculations très nobles et très belles... que la question : si l'usage des mathématiques dans la science physique, en tant qu'instrument de preuve et terme moyen de la démonstration, est opportun ou inopportun ; c'est-à-dire, s'il nous apporte quelque vérité ou, au contraire, est nuisible et dangereux. En effet, Platon croyait que les mathématiques étaient tout particulièrement accommodées aux spéculations physiques. Et c'est pourquoi il a eu plusieurs fois recours à elles pour expliquer les mystères physiques. Mais Aristote semble avoir été d'un sentiment entièrement opposé, et attribuait les erreurs de Platon à son amour des mathématiques (1) ».

quantum motu non comprehenso in eo munere contemplamur ; et cum talis sit earum natura nihil absurdi exoritur. Quod item confirmatur, quod mens in omni habitu verum dicit ; atqui verum est ex eo, quod res ita est. Huc accedit quod Aristoteles distinguit scientias non ex ratione notionum, sed entium. Caeterum et mathematicae gradus habent : quando ea quae considerat quantum discretum certior est quam ea quae tractat continuum, cum superet perspicuitate demonstrationis, et simplicitate subjecti. nam quantum continuum se habet ad discretum ut includens positionem, punctus enim est unitas cum positione. Et multo praestantior est Astrologia, quippe quod sola ex mathematicis de substantia atque illa quidem perpetua et causas invariables habentes disserat. ideoque sit omnium maxime affinis primae philosophiae.»

1. *Dialogo*, II, p. 423 ; cf. Jacobi MAZZONI, Caesenatis, in Almo Gymnasio Pisano Aristotelem ordinario, Platonem vero extra ordinem profitentis, *In Universam Platonis et Aristotelis Philosophiam Praeludia, sive de Comparatione Platonis et Aristotelis*, liber primus... Venetiis, MDCXCVII, Apud Joannem Guerilium, p. 187 sq. «Disputatur utrum usus mathematicarum in Physica utilitatem, vel detrimentum afferat, et in hoc Platonis, et Aristotelis comparatio. Quartae sectionis. Caput sextum. Libri Decimumoctavum, p. 188 : Non est enim inter Platonem, et Aristotelem quaestio, seu differentia, quae tot pulcris, et nobilissimis speculationibus scateat, ut cum ista, ne in minima quidem parte comparari possit. Est autem differentia, utrum usus mathematicarum in scientia Physica tanquam ratio probandi, et medius terminus demonstrationum sit opportunus, vel importunus, id est, an utilitatem aliquam afferat, vel potius detrimentum et damnum. Creditit Plato Mathematicas, ad speculationes physicas apprime esse accommodatas. Quapropter passim eas adhibet in reserandis mysteriis physicis. Ac Aristoteles omnino secus sentire videtur, erroresque Platonis adscribit amori Mathematicarum... Sed si quis voluerit hanc rem diligentius considerare, forsan, et Platonis defensionem inveniet, videbitque Aristotelem in nonnullos errorum scopulos impegis, quod quibusdam in locis Mathematicas demonstrationes proprio consilio valde consentaneas, aut non intellexerit, aut certe non adhibuerit. Utramque conclusionem, quarum prima ad Platonis tutelam attinet, secunda errores Aristotelis ob Mathematicas male rejectas profitetur, brevissimis demonstrabo ». Cf. *ibid.*, p. 190 : «Nunc... videamus, quomodo Aristoteles ob non adhibitas opportunis locis mathematicas demonstrationes, maxime recesserit a vera philosophandi ratione. Ille itaque in quarto libro Physicorum multis rationibus probans vacuum non posse dari, illud inter cetera dicit, nempe quod si daretur vacuum, in eo motus fieret in instanti. Existimat enim successionem in motu ex medijs, quando a mobili dividitur, resistentia provenire. Ita ubi medium majorem habet resistentiam ; ibi mobile diutius moretur, ubi minorem, minus. Et ideo ubi nullam inveniet resistentiam, momento fiet motus. Hanc Aristotelis opinionem omnino falsam, et absurdam

On le voit bien : pour la conscience philosophique et scientifique de l'époque — Bonamico et Mazzoni ne font, en effet, qu'exprimer l'opinion commune (1) — la ligne de partage entre aristotéliens et platoniciens est très nette : si l'on proclame la valeur supérieure des mathématiques, si, au surplus, on leur attribue une valeur réelle et une position dominante dans et pour la physique, on est platonicien ; si, au contraire, on voit dans les mathématiques une science « abstraite », et par conséquent de valeur moindre que les sciences — physique et métaphysique — qui s'occupent du réel, si, en particulier, on prétend fonder la physique directement sur l'expérience, en n'attribuant aux mathématiques qu'un rôle d'adjuvant, on est aristotélien.

Remarquons, en passant, qu'il ne s'agit là nullement du problème de la certitude — aucun aristotélien n'a jamais mis en doute la certitude des démonstrations géométriques —, mais de celui de la réalité ; et qu'il ne s'agit pas même de l'emploi des mathématiques dans la science physique — aucun aristotélien ne s'est jamais refusé à mesurer ce qui est mesurable et à compter ce qui est nombrable —, mais de son rôle dans et pour la structure même de la science ; c'est-à-dire, nécessairement, de la réalité elle-même.

Avouons, en même temps, que la conception épistémologique — et historique — des contemporains de Galilée ne nous paraît pas être dénuée de valeur. A dire vrai, nous nous sentons pleinement d'accord avec eux : le mathématisme en physique est platonisme — même s'il s'ignore ; aussi l'avènement de la science classique est-il — vu d'en haut — un retour à Platon.

Les discussions que nous venons d'évoquer, le *Dialogo* y fait allusion dès le début. Dès le début, Simplicio fait observer que « dans les choses naturelles, il ne faut pas toujours rechercher la nécessité de la démonstration mathématique » (2). A quoi Sagredo, qui se donne l'air de ne pas comprendre, répond : « Sans doute, là où on ne peut pas l'avoir ; mais si on le peut ici (3), pourquoi ne

esse demonstrant Mathematici, quorum rationes ego compendio colligam. Illud itaque ; in primis supponunt ex libro Archimedis de insidentibus motum prodire a virtute motrice. Virtus autem deorsum impellens corpora est gravitas, quemadmodum et illa, quae rursus attollit corpora gravia, est vis corporis gravioris extrudens minus grave ex demonstratis ab Archimede in principio eiusdem libri de insidentibus ». En marge : *Johannes Baptista Benedictus in disputationibus contra Aristotelem*.

1. Cf. E. STRONG, *Procedures and Metaphysics*, ch. IV, p. 91 sq.

2. V. *Dialogo*, I, p. 38. Cf. p. 256.

3. La question discutée est celle du nombre des dimensions de l'espace.

voulez-pas en user ? » Sans doute : si l'on peut dans les choses naturelles arriver à une démonstration comportant une nécessité mathématique, on aurait tort de ne pas pousser jusque-là. Mais le peut-on ? Toute la question est là, et Galilée le sait bien, lui qui, en marge, résume la situation — l'opinion réelle de l'aristotélicien — tout autrement que celui-ci : « Dans les démonstrations naturelles, on ne doit pas rechercher l'exactitude mathématique (1). »

On ne doit pas. Parce que c'est impossible. Parce que la réalité physique — qualitative et imprécise — ne se plie pas, d'elle-même, à la rigidité des notions mathématiques. Aussi Simplicio nous dirait-il plus tard que la philosophie, c'est-à-dire la physique, n'a pas à se préoccuper du détail et n'a pas à rechercher la précision numérique dans les lois du mouvement : elle a à se borner à établir ses grandes catégories (naturel, violent, rectiligne, circulaire) et ses grandes lois (rapport entre force et vitesse, force et résistance) (2). Pourquoi ? Simplicio ne nous le dit pas, et le lecteur moderne de s'étonner : pourquoi rester dans la généralité abstraite et vague et ne pas pousser à l'universalité exacte et concrète ?

Le lecteur moderne ne le sait pas ; mais le lecteur contemporain de Galilée complétait de lui-même : parce que ce n'est pas possible ; parce que la qualité et la forme ne peuvent pas être géométrisées. La matière terrestre n'incarne jamais les formes précises ; et les formes ne l'informent jamais parfaitement ; il reste toujours du « jeu ». Dans les cieux, il en est sans doute autrement : aussi l'astronomie est-elle possible (3). Mais aussi, l'astronomie n'est pas la physique. Ne pas l'avoir vu fut justement la source de l'échec de Platon. A vouloir mathématiser la nature, on n'aboutit à rien.

L'attitude de l'aristotélicien n'est nullement ridicule. Elle nous paraît, à nous, parfaitement raisonnable, et les objections que jadis Aristote avait adressées à Platon, irréfutables, si ce n'est par le fait. On ne peut, en effet, démontrer un possible. Le *posse* se prouve toujours par le *esse*. Et pour montrer qu'il est possible d'établir pour le réel des lois mathématiques précises, il faut les établir réellement. Galilée le comprend parfaitement, et c'est en traitant mathématiquement un problème concret de la physique — celui de la chute, ou

1. *Dialogo*, I, p. 38.

2. *Dialogo*, II, p. 242.

3. La musique également ; la musique qui est une science mathématique parce qu'elle obéit à la loi du nombre. L'erreur de Pythagore et de Platon fut donc d'extrapoler et d'affirmer la panarchie du mathématique sans comprendre que le mathématique s'arrête — ou finit — là où commence la matière.

celui de la projection — qu'il va amener Sagredo à nous dire qu'on « est forcé d'avouer que vouloir traiter des questions naturelles sans géométrie, c'est tenter de faire quelque chose qui ne peut être fait » (1).

Sagredo, la *bona mens*, est facile à convaincre. Trop facile. Car l'aristotélicien n'est nullement désarmé. Aussi Galilée poursuit-il (2) : *Salv.* « Mais S. Simplicio ne le dira pas, bien que je ne croie pas qu'il soit un de ces Péripatéticiens qui dissuadent leurs élèves de l'étude des mathématiques parce qu'elles dépravent la raison et la rendent moins apte à la contemplation. » — *Simpl.* « Je ne ferai pas ce reproche à Platon ; mais je dirai bien, avec Aristote, qu'il s'y plonge trop et trop s'engage dans cette sienne géométrie ; parce que, finalement, S. Salviati, toutes ces subtilités mathématiques sont vraies en abstrait, mais, appliquées à la matière sensible et physique, elles ne répondent à rien ; ainsi, les mathématiciens démontrent bien, selon leurs principes, que, par exemple, *sphaera tangit planum in puncto*, proposition semblable à celle que l'on discute maintenant (3) ; mais lorsqu'on en vient à la matière, les choses se passent tout autrement ; et c'est ce que je veux dire aussi de ces angles de contact et de ces proportions qui, tous, lorsqu'on en vient aux choses matérielles et sensibles s'en vont en fumée. »

L'argument présenté par Simplicio vaut bien qu'on s'y arrête un instant. Du point de vue de l'aristotélisme — et même du platonisme antique — il est irréfutable et décisif. En effet, dans le monde réel — le monde physique —, il n'y a ni droites, ni plans, ni triangles, ni sphères ; les corps du monde matériel ne possèdent pas les formes régulières de la géométrie. Les lois géométriques ne peuvent donc pas leur être appliquées. Sans doute, le platonicien répondra-t-il — ainsi que nous avons vu Galilée le faire — que les lois mathématiques sont, pour la réalité physique, des lois *approchées*. Cela peut se soutenir, si l'on admet — et dans la mesure où on le fait — que les êtres physiques « imitent » et « approximent » les êtres géométriques ; c'est-à-dire si l'on est déjà platonicien et si l'on admet que le réel est mathématique dans son essence dernière ; mais cela ne suffit pas. Car nous n'avons aucune possibilité de déterminer le degré d'approximation, ou, si l'on préfère, d'écart, entre les formes géométriques et les figures réelles, tout en étant forcé de poser la réalité et même la nécessité de cet écart, dû à l'existence même de la matière : en effet, le réel

1. *Dialogo*, II, p. 229. cf. III, p. 423.

2. *Ibidem*.

3. Il s'agit de l'étude de la force centrifuge.

non seulement n'est pas régulier, il est imprécis. C'est justement pour cela qu'il ne peut y avoir de science que du général, et que l'individuel ne peut être objet d'une connaissance scientifique : entre l'essence et sa réalisation il y a toujours du « jeu » ; l'individuel s'écarte toujours du normal, et cet écart — qui explique l'existence des *monstra* — n'est jamais prévisible et calculable.

Or, s'il en est ainsi, l'opinion de ces aristotéliens auxquels Galilée-Salviati fait allusion, et que Simplicio connaît bien (1), n'est pas aussi ridicule qu'elle le semble à première vue. Bien au contraire, elle devient parfaitement raisonnable : un esprit habitué à la précision, et à la rigidité du raisonnement géométrique ne sera-t-il pas, en effet, d'autant moins apte à saisir la multiplicité, nuancée et imprécise (2), du réel ? Telle fut, on le sait bien, l'opinion de Pascal. Et même de Leibniz (3).

Voyons maintenant la réponse de Galilée ; elle est d'une importance et d'un intérêt capitaux, car, tout en étant profondément platonicienne, elle ne se borne pas à reproduire des contre-arguments classiques, mais au contraire, présente une innovation décisive : en effet, Galilée nie la prémisse, commune aux platoniciens et aux aristotéliens, de la discussion. Il nie le caractère « abstrait » des notions mathématiques ; et nie le privilège ontologique des figures régulières.

Une sphère n'est pas moins sphère parce qu'elle est réelle : ses rayons ne sont pas inégaux pour cela ; sinon ce ne serait pas une sphère. Un plan réel — s'il est un plan — est aussi plan qu'un plan géométrique : sinon ce ne serait pas un plan (4). Cela semble évident. Comment Simplicio a-t-il pu le nier ? C'est que, pour lui, une sphère réelle est impossible ; autant qu'un plan réel. Et l'objection galiléenne implique, bien au contraire, que le réel et le géométrique ne sont nullement hétérogènes et que la forme géométrique peut être réalisée par la matière. Bien plus : qu'elle l'est toujours. Car, lors même qu'il nous serait impossible de faire un plan parfait ou une sphère véritable, ces objets matériels qui ne seraient pas « sphère » ou « plan » ne seraient pas, pour cela, privés de forme géométrique.

1. Cf. *Dialogo*, III, 423.

2. Il y a des réalités imprécises ; il y a des concepts statistiques. Il est tout aussi ridicule de vouloir délimiter exactement la forme d'un nuage, que de calculer exactement la population d'une ville ou la température moyenne (aux décimales près) d'une région. Cf. les profondes remarques de G. BACHELARD, *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, 1937, p. 216 sq.

3. LEIBNIZ, *Lettre à Foucher*, vers 1668. *Philosophische Schriften*, ed. Gerhardt, v. I, p. 392 : « je tiens pour démontrable qu'il n'y a pas de figure exacte dans les corps. »

4. *Dialogo*, II, p. 233 : *quello che accade in concreto accade nell' istesso modo in astratto.*

Ils seraient irréguliers, mais nullement imprécis : la pierre la plus irrégulière possède une forme géométrique aussi précise qu'une sphère parfaite. Elle est seulement infiniment plus compliquée (1).

La forme géométrique est homogène à la matière (2) : voilà pourquoi les lois géométriques ont une valeur réelle, et dominent la physique. Voilà pourquoi, ainsi que, dans un passage justement fameux de *l'Essayeur*, nous le dit Galilée, c'est un langage mathématique que parle la nature, un langage dont les lettres et les syllabes sont des triangles, des cercles et des droites. Et c'est pour cela que c'est dans ce langage-là qu'il faut l'interroger (3) : la théorie mathématique précède l'expérience.

Cette conception implique, cela va de soi, une conception toute neuve de la matière : elle ne sera plus support du devenir, et de la qualité, mais, au contraire, support de l'être inaltérable et éternel (4). On pourrait dire que la matière terrestre est désormais promue au rang de la céleste. Aussi avons-nous vu la science nouvelle — physique géométrique, géométrie physique — naître dans les cieux, pour en descendre à terre, et remonter aux cieux.

Donc, pour l'époque galiléenne, mathématisme signifie : platonisme. Aussi, lorsque Torricelli nous dit que « parmi les disciplines libérales, la géométrie seule exerce et aiguise l'esprit et le rend apte à être un ornement de la cité pendant la paix et à la défendre pendant la guerre », et que, « toutes choses égales, l'esprit exercé dans la gymnastique géométrique possède une puissance toute particulière et virile », non seulement il se montre par là même un disciple authentique de Platon, mais encore il se reconnaît et se proclame tel (5). Et,

1. Cf. *Dialogo*, pp. 234 sq.

2. C'est ce qu'affirme également Kepler, v. plus haut, p. 27, n. 1.

3. *Il Saggiatore*, VI, p. 232 : « La filosofia è scritta in questo grandissimo libro, che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intendere la lingua, e conoscer i caratteri, ne quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali mezi è impossibile a intenderne unamento parole ». Cf. *Lettre à Liceti*, du 11 janvier 1644 (*Opere*, XVIII, p. 293).

4. *Discorsi*, I, p. 51 : « E perchè io suppongo, la materia essere inalterabile, cioè sempre l'istessa, è manifesto che di lei, come di affezione eterna e necessaria, si possono produr dimostrazioni non meno dell' altre schiette e pure matematiche. »

5. Evangelista TORRICELLI, *Opera Geometrica*, Florentiae, Typis Amatoris Massae et Laurentii de Landis, 1644, II, p. 7 : « Sola enim Geometria inter liberales disciplinas acriter excuit ingenium, idoneumque reddit ad civitates exornandas in pace et in bello defendendas :

ce faisant, il reste disciple fidèle de son maître Galilée qui, dans sa réponse aux *Exercitationes philosophiques* d'Antonio Rocco, s'adresse à celui-ci en lui demandant de juger lui-même de la valeur des deux méthodes, à savoir, de la méthode purement physique et de la méthode mathématique, et ajoute (1) « et voyez en même temps qui raisonnait plus justement, Platon, qui disait que sans mathématiques on ne peut apprendre la philosophie ; ou Aristote, qui reprochait à ce même Platon d'avoir trop étudié la géométrie »...

Que Galilée soit un platonicien, le *Dialogue* prend soin de nous en avertir dès le début : dès ses premières pages, en effet, Simplicio nous fait remarquer que Galilée, en tant que mathématicien, est probablement enclin à envisager avec sympathie les spéculations numériques des pythagoriciens ; ceci pour permettre à Galilée-Salviati de déclarer qu'il les estime parfaitement sans valeur (2), et de nous dire en même temps : « que les pythagoriciens avaient de la science des nombres la plus haute estime, et que Platon lui-même admirait l'intellect humain, et l'estimait participant de la divinité uniquement parce qu'il comprenait la nature des nombres, je le sais fort bien et je ne suis pas éloigné de faire le même jugement (3) ».

Comment, en effet, ne partagerait-il pas cette opinion, lui qui estime que l'intellect humain atteint, dans la connaissance mathématique, la perfection même de l'entendement divin ? Ne nous dit-il pas, par la bouche de Salviati (4) : « *extensive*, c'est-à-dire quant à la multitude des intelligibles, qui sont infinis, l'entendement humain est comme rien (si même il comprenait mille propositions, parce que mille, par rapport à l'infini, est comme zéro) ; mais envisageant l'entendement *intensive*, en tant que ce terme veut dire comprendre intensément, c'est-à-dire parfaitement, une proposition quelconque, je dis que l'intellect humain n'entend aucune chose parfaitement, et n'en a ainsi de certitude absolue, tant qu'il n'en possède la nature même, et telles sont les sciences mathématiques pures, c'est-à-dire

caeteris enim paribus, ingenium quod exercitatum sit in Geometrica palestra, peculiare quoddam, et virile robur habere solet : praestabitque semper, et antecellet, circa studia Architecturae, rei bellicae, nauticaeque, etc. »

1. G. GALILÉE, *Esercitioni filosofiche di Antonio Rocco* (Op., VII, p. 744) : « *ridottovi a memoria il detto del Filosofo, che ignorato motu ignoratur natura, guidicate con giusta lanze sig. Rocco, qual de' dua modi di filosofare cammini più a segno, o il vostro, fisico puro e semplice bene, o il mio, condito con qualche spruzzo di matematica ; e nell' istesso tempo considerate chi più giustamente discorrevate, o Platone, nel dire che senza la matematica non si poteva apprendere la filosofia, o Aristotele, nel tassare il medesimo Platone per troppo studio della geometria.* »

2. *Dialogo*, I, p. 35 : en marge : *Misteri de numeri Pitagorici, favolosi.*

3. *Ibidem.*

4. *Dialogo*, II, p. 129 sq.

la géométrie et l'arithmétique, dont l'intellect divin sait bien une infinité de propositions de plus [que l'homme], puisqu'il les connaît toutes, mais quant à ces quelques-unes qui sont dans l'intellect humain, je crois que leur connaissance arrive à égaler la divine par sa certitude objective, parce qu'elle arrive à comprendre la nécessité, au-dessus de laquelle il ne paraît pas qu'il pût y avoir de certitude plus grande (1). » — *Simpl.* « Cela me paraît être un parler bien résolu et hardi. » — *Salv.* « Ce sont là des propositions communes et bien éloignées de toute ombre de témérité ou de hardiesse et qui ne diminuent en rien la majesté de la sagesse divine, de même qu'on ne diminue en rien son omnipotence lorsque l'on dit que Dieu ne peut pas faire que ce qui a été fait ne soit pas fait. Mais je pense, S. Simplicio, que vous prenez ombrage parce que vous avez reçu mes paroles avec quelque équivoque. Aussi, pour mieux m'expliquer, je dis que, quant à la vérité de ce que les démonstrations mathématiques donnent à la connaissance, elle est la même que celle que connaît la sagesse divine ; mais je vous concéderai bien que la manière dont Dieu connaît les propositions infinies dont nous connaissons quelques-unes, est infiniment plus excellente que la nôtre, laquelle procède par le discours et par le passage de conclusion à conclusion, là où la sienne est celle d'une simple intuition ; et là où nous, par exemple, pour acquérir la science de certaines propriétés du cercle, qui en a une infinité, commençons par une des plus simples et, la fixant par une définition, passons discursivement à une autre, et de celle-ci à une troisième et puis à une quatrième, etc., l'intellect divin, par la simple appréhension de son essence, comprend, sans discours temporel, toute l'infinité de ces propriétés ; lesquelles, cependant, virtuellement se comprennent dans les définitions de toutes les choses, et, finalement, tout en étant infinies, ne sont peut-être qu'une seule dans leur essence et dans l'esprit divin.

« Mais bien que notre intelligence soit comme obnubilée par une profonde et dense obscurité, celle-ci arrive cependant à être partiellement dispersée et éclairée lorsque nous nous faisons possesseurs de quelques conclusions fermement démontrées et si fermement possédées par nous que nous pouvons en parcourir rapidement les degrés (2). Car, en somme, qu'est-ce qu'est, dans le triangle, le

1. Il est presque inutile d'insister sur la parenté de l'inspiration de ces textes avec ceux de Descartes.

2. Cf. DESCARTES, *Regulae ad directionem ingenii*, VII, A. T. v. X, p. 388.

fait que le carré opposé à l'angle droit est égal aux deux autres qui lui sont intérieurs, si ce n'est le fait que des parallélogrammes élevés entre les parallèles sur une base commune, sont égaux entre eux ? et ceci, n'est-ce finalement pas la même chose que l'égalité de deux surfaces que nous n'avions pas reconnue d'abord, mais que nous apercevons en les rapportant à une seule ?

« Or, ces passages que notre intellect fait avec le temps, et de pas en pas, l'intellect divin, à l'instar de la lumière, les franchit en un instant, ce qui est la même chose que de dire qu'il est à tous toujours présent. Je conclus donc, pour l'instant, que notre entendement, quant au mode et quant à la multiplicité des choses comprises, est d'un intervalle infini distant de l'intellect divin. Mais pour cela je ne l'abaisse pas tellement que je le considère comme étant absolument nul. Car, lorsque j'arrive à considérer combien de choses, et combien merveilleuses, les hommes ont compris, étudié et fait, je ne reconnais que trop clairement que l'esprit humain est une œuvre de Dieu, et une des plus excellentes. »

Galilée aurait pu ajouter que l'entendement humain est une œuvre tellement excellente de Dieu que, *ab initio*, il est en possession de ces notions « claires et distinctes », dont la clarté garantit la *vérité*, et qu'il n'a qu'à se tourner vers lui-même pour y trouver, dans sa « mémoire » les fondements de la connaissance du réel, l'alphabet, c'est-à-dire les éléments du langage — du langage mathématique — que parle la nature créée par Dieu. Car, ne nous trompons pas : ce n'est pas d'une vérité purement immanente à la raison, d'une vérité intrinsèque des raisonnements et des théories mathématiques, vérité qui n'est pas affectée par la non-existence dans la nature réelle des objets étudiés par elle qu'il s'agit ; jamais ni Galilée, ni Descartes, n'auraient consenti à se contenter d'un tel *ersatz* de vérité et de science ; il s'agit de la vérité de la nature, et de la connaissance du réel. C'est de cette connaissance-là, du vrai savoir « philosophique », c'est-à-dire du savoir portant sur l'essence même du réel, que, bon platonicien et platonicien conscient, Galilée nous dit par la bouche de *Sagredo* : « Moi je vous dis que si quelqu'un ne sait pas la vérité de par lui-même, il est impossible qu'un autre la lui fasse connaître ; on peut bien enseigner les choses qui ne sont ni vraies ni fausses, mais les vraies, c'est-à-dire les nécessaires, celles dont il est impossible qu'il en soit autrement, tout esprit ou bien les sait de lui-même,

ou bien il est impossible qu'il les sache jamais ; et je sais que S. Salviati le croit également (1). »

Assurément. En effet, les allusions à Platon, les rappels de la méthode socratique — de la maïeutique — de l'accouchement des esprits, les rappels de la doctrine de l'intellection-réminiscence ne sont nullement des hors-d'œuvre, des fioritures littéraires issues d'un engouement superficiel pour l'œuvre platonicienne, engouement qui, lui-même, ne serait qu'un reflet du « platonisme » de la Renaissance florentine. Elles ne sont pas, non plus, l'effet du désir de se concilier, d'emblée, l'honnête homme, depuis longtemps fatigué de l'aridité de la scolastique aristotélécienne ; du désir de se couvrir, contre l'autorité d'Aristote, de celle de son maître et principal adversaire, du divin Platon. Bien au contraire : ces allusions, ces rappels doivent être pris entièrement au sérieux. Et pour que nul doute à cet égard ne puisse subsister dans l'esprit du lecteur, Galilée le lui fait remarquer (2) :

Salv. « La solution [de ce problème] dépend de certaines connaissances, qui ne sont pas moins connues et crues par vous que par moi ; mais parce que vous ne vous en souvenez pas, vous ne voyez pas la solution. Sans donc que je vous les enseigne, parce que vous les savez déjà, mais en vous les rappelant seulement, je ferai que vous résoudrez vous-même la question. »

Simpl. « Maintes fois déjà j'ai été frappé par votre manière de raisonner, laquelle m'a fait penser que vous incliniez vers cette opinion de Platon que *nostrum scire sit quoddam reminisci* : or donc, de grâce, libérez-moi de ce doute, et dites-moi votre sentiment. » — *Salv.* « Ce que je pense de l'opinion de Platon, je peux l'exprimer par des paroles et aussi par des faits. Déjà dans les raisonnements que nous avons faits jusqu'ici, je me suis plus d'une fois déclaré par les faits : et j'appliquerai cette même méthode dans l'étude particulière que nous avons en mains, étude qui pourra... nous servir d'exemple pour mieux faire comprendre ma conception concernant l'acquisition de la science... »

L'étude que nous avons en mains, c'est la déduction des lois de la mécanique que nous avons rapportée plus haut. Ainsi, nous le voyons, Galilée estime qu'il a fait beaucoup plus que s'être simplement déclaré partisan de l'épistémologie platonicienne. En appliquant

1. *Dialogo*, II, p. 183. Cf. *supra*, pp. 54, 68, 104 sq.

2. *Dialogo*, II, p. 217.

sa méthode, en découvrant les lois véritables de la physique, en les faisant retrouver par Sagredo et Simplicio, c'est-à-dire *par le lecteur*, il estime avoir démontré la vérité du platonisme par le fait. Le *Dialogue* — et les *Discours* — présentent l'histoire d'une expérience spirituelle ; d'une expérience concluante, parce qu'elle se termine par l'aveu-regret de Simplicio : aveu de la nécessité de l'étude des mathématiques et regret de n'en avoir pas fait (1). Le *Dialogue* et les *Discours* nous offrent l'histoire de la découverte, ou mieux, de la redécouverte du langage que parle la nature, et nous exposent la manière dont il faut lui poser les questions : la théorie de l'expérience vraie, où la formulation des « postulats » et la déduction de leurs conséquences précèdent le recours à l'observation (2). Cela aussi, c'est la preuve par le fait : une preuve expérimentale du platonisme.

Partant de là, on comprend le sens profond de ce beau passage de Cavalieri (3) : « Or, en ce qui concerne la connaissance des sciences mathématiques que les Ecoles fameuses des Pythagoriciens et des Platoniciens estimaient être suprêmement nécessaires pour la compréhension des choses physiques, j'espère que bientôt, parla publication de la nouvelle doctrine du mouvement, promise par le merveilleux Essayeur de la Nature, je veux dire, par le S. Galilée, dans ses *Dialogues*, [le rôle des mathématiques] sera rendu tout à fait manifeste. »

En effet, c'est à un double, écueil : à la qualité d'abord, mais aussi au mouvement que s'était heurté le mathématisme platonicien. A la tentative de mathématiser la nature, Aristote opposait l'impossibilité de mathématiser la qualité ; et de déduire le mouvement (4).

1. *Dialogo*, II, 333 ; *Discorsi e Dimostrazioni*, IV, p. 269 sq.

2. Cf. *Discorsi e Dimostrazioni*, III, p. 212.

3. Bonaventura CAVALIERI, *Lo Specchio Ustorio overo Trattato Delle Settoni Coniche e alcuni loro mirabili effetti intorno al Lume, Caldo, Freddo, Suono e Moto ancora*, Bologna, presso Clemente Ferroni, 1632, p. 152 sq. : « Ma quanto vi aggiunga la cognizione delle scienze Mathematiche, giudicate da quelle famosissime scuole de' Pythagorici, e de' Platonici, sommamente necessarie per intender le cose Fisiche, spero in breve sarà manifesto, per la nuova dottrina del moto promessaci dall'esquisitissimo Saggiatore della Natura, dico dal Sig. Galileo Galilei, ne' suoi Dialogi, protestando io haver hauuto e motivo e lume ancora in parte intorno a quel poco, ch'io dico del moto in questo mio Trattato, per quanto alle settoni coniche si aspetta, da i sottilissimi discorsi di quello, e del Reverendiss. P. Abbate D. Benedetto Castelli Monaco Cassinese, Matem. di N. S. e molto intendente di queste materie, ambidue miei Maestri. Rimetto dunque il Lettore in ciò, ch'io supporò al dottiss. libro, che da si grand'ingegno in breve dourà porsi in luce, e si contenerà di questo poco, ch'io dirò per manifestare, che cosa habbino che fare le Settoni Coniche con così alto, e così nobile soggetto. »

4. Cette dernière objection est de loin la plus importante. Car, bien que le platonisme galiléen et cartésien s'avère incapable d'expliquer la qualité, il peut l'abandonner, la rejetant dans la subjectivité. Mais on ne peut pas subjectiver le mouvement.

Il n'y a pas de mouvement dans le nombre. Les êtres mathématiques ne se meuvent pas. Comment le feraient-ils puisqu'ils sont éternels et intemporels (1) ? Et l'aristotélicien de l'époque galiléenne pouvait ajouter que le plus grand des platoniciens, le divin Archimède lui-même, n'a pu faire qu'une statique, mathématiser le repos, mais non le mouvement. Or, nous le savons bien, *ignoto motu ignoratur natura*. Aussi la physique mathématique, la physique platonicienne est-elle restée un *pium desiderium* que personne n'avait même tenté de réaliser.

Sans doute. Mais voilà — et nous pouvons maintenant comprendre tout l'orgueil du platonicien Galilée (2) — « du sujet le plus vieux nous allons promouvoir une science toute nouvelle. Rien n'est peut-

1. Cf. F. BONAMICI, *De Motu*, I, I, cap. XI : *Jurene mathematicae ex ordine scientiarum expurgantur*, p. 56. « ... Itaque veluti ministrae sunt mathematicae, nec honore dignae, et habitae *πραγματεία*, id est, apparatus quidam ad alias disciplinas. Ob eamque potissime causam, quod de bono mentionem facere non videntur. Etenim omne bonum est unum, is vero cuiusdam actus est. Omnis vero actus est cum motu. Mathematicae autem motum non respiciunt. Haec nostri addunt. Omnem scientiam ex propriis effici : propria vero sunt necessaria quae quatenus ipsum et per se insunt. Atqui talia principia mathematicae non habent... Nullum causae genus accipit... propterea quod omnes causae definiuntur per motum : efficiens enim est principium motus, finis cuius gratia motus est, forma et materia sunt naturae ; et motus igitur principia sint necesse est. At vero mathematica sunt immobilia. Et nullum igitur ibi causae genus existit. »

2. *Dialogo*, II, p. 248 : SALV. ... il movimento de i gravi descendent non e uniforme, ma partendosi dalla quiete vanno continuamente accelerandosi ; effetto conosciuto ed osservato da tutti, ... Ma questa general cognizione è di niun profitto, quando non si sappia secondo qual proporzione sia fatto questo accrescimento di velocità, conclusione stata sino a i tempi nostri ignota a tutti i filosofi, e premieramente ritrovata e dimostrata dall'Academico, nostro commun amico : il quale, in alcuni suoi scritti non ancor pubblicati, ma in confidenza mostrati a me ed ad alcuni altri amici suoi, dimostra come l'accelerazione del moto retto dei gravi si fa secondo i numeri impari ab unitate, cioè che segnati quali e quanti si vogliano tempi eguali, se nel primo tempo, partendosi il mobile dalla quiete, averà passato un tale spazio, come, per esempio, una canna, nel secondo tempo passerà tre canne, nel terzo cinque, nel quarto sette, e così conseguentemente secondo i succedenti numeri caffi ; che in somma è l'istesso che il dire che gli spazii passati dal mobile, partendosi dalla quiete, hanno tra di loro proporzione duplicata di quella che hanno i tempi ne' quali tali spazii son misurati, o vogliam dire che gli spazii passati son tra di loro come i quadrati de' tempi. — SAGR. Mirabil cosa sento dire. E di questo dite esserne dimostrazione matematica ? — SALV. Matematica purissima, e non solamente di questa, ma di molte altre bellissimi passioni attenenti a i moti naturali e a i proietti ancora. » ; *Discorsi e Dimostrazioni*, III, p. 490. *De motu locali* : « De subiecto vetustissimo novissimam promovemus scientiam. Motu nil forte antiquius in natura et circa eum volumina nec pauca nec parva a philosophis conscripta reperiuntur ; symptomatum tamen, quae complura et scitu digna insunt in eo, adhuc inobservata, necdum indemonstrata, comperio. Leviora quaedam adnotantur, ut, gratia exempli, naturalem motum gravium descendendum continue accelerari ; verum, juxta quam proportionem eius fiat acceleratio, proditum hucusque non est : nullus enim, quod sciam, demonstravit, spatia a mobile descendente ex quiete peracta in temporibus aequalibus, eam inter se retinere rationem, quam habent numeri impares ab unitate consequentes. Observatum est, missilia, seu proietta, lineam qualitercunque curvam designare ; verum tamen, eam esse parabolam, nemo prodidit. Haec ita esse, et alia non pauca nec minus scitu digna, a me demonstrabuntur, et, quod pluris faciendum censuo, aditus et accessus ad amplissimam praestantissimamque scientiam, cuius hi nostri labores erunt elementa, recludetur, in qua ingenia meo perspicaciora abditiores recessus penetrabunt. »

être plus ancien dans la Nature que le mouvement et, à son sujet, on trouve, écrits par les philosophes, une quantité innombrable de très gros volumes ; et pourtant ses accidents, qui sont très nombreux et très dignes d'être sus, ont été jusqu'ici non observés, et non déduits. On a bien remarqué les choses les plus faciles, ainsi, par exemple, que le mouvement naturel des graves s'accélère continuellement ; mais on n'a pas connu jusqu'ici selon quelle *proportion* se fait cette accélération ; car personne, autant que je sache, n'a démontré que les espaces parcourus par le mobile descendant du repos dans des temps égaux ont entre eux le même rapport que possèdent les nombres impairs qui se suivent à partir de l'unité. »

Le mouvement obéit à une loi mathématique. Le temps et l'espace sont liés par la loi du nombre. La découverte galiléenne transforme l'échec du platonisme en victoire. Sa science est une revanche de Platon.

Revanche incomplète, sans doute. Et partielle. Car, ainsi que nous l'avons dit ailleurs, ce n'est pas Galilée, mais Descartes qui assure la victoire définitive du platonisme et chasse l'aristotélisme des positions qu'il avait occupées si longtemps (1).

Descartes, d'ailleurs, n'accepterait probablement pas notre manière de voir, et refuserait de se reconnaître un disciple de Platon (2). En quoi, en outre, il n'aurait pas tout à fait tort. Et pourtant, l'innéisme cartésien est-il autre chose qu'un aboutissement lointain de la réminiscence platonicienne ? L'étendue cartésienne ne nous ramène-t-elle pas à la *χωρη* de Platon ? (3). Leur idée de la science n'est-elle pas la même ? Et dans le fameux et justement célèbre passage du *Discours*

dans lequel Descartes rejette la conception scolastique des mathématiques — science ne servant qu'aux arts mécaniques (1) — ne rejoint-il pas, par là-même, la tradition platonisante qui, par Clavius (2), était arrivée jusqu'à lui ? Et, enfin, du point de vue qui nous occupe ici, en proclamant la prédominance des mathématiques en physique, et même la possibilité de réduire la dernière aux premières (3), ne se place-t-il pas, d'emblée, dans le camp des platoniciens ?

Mais aussi, ce nouveau platonisme, qu'il est loin de l'ancien ! Car en fait, si, grâce à Descartes, nous pouvons désormais comprendre l'espace par un acte de l'intelligence pure et non plus par une connaissance bâtarde et ainsi remplacer le mythe par la science, si, grâce à Galilée, le mouvement se trouve désormais soumis à la loi du nombre, en revanche, cet espace, et ce nombre, ont perdu la valeur cosmique qu'ils avaient, qu'ils pouvaient avoir pour Platon.

La science galiléenne, la science cartésienne a vaincu. Mais jamais victoire n'a été plus chèrement payée.

1. *Discours de la Méthode*, A. T. v. VI, p. 7.

2. Cf. Ch. CLAVIUS, S. J., *Opera mathematica*, Moguntiae, 1611, t. I, *Prolegomena*, p. 5 : « Cum igitur disciplinae mathematicae veritatem adeo expetant, adament, excolantque, ut non solum nihil quod sit falsum, verum etiam nihil quod tantum probabile existat, nihil denique admittant quod certissimis demonstrationibus non confirmet, corroborentque, dubium esse non potest quin eis primus locus inter alias scientias omnes sit concedendum. » cité par E. GILSON, *Discours de la Méthode, Texte et Commentaire*, p. 128, Paris, 1925.

3. DESCARTES, *Lettre à Mersenne* du 11 mars 1640, A. T., vol. III, p. 39 sq. « Pour la Physique, je croyois n'y rien sçavoir, si je ne sçavois que dire comment les choses peuvent estre, sans demonstrer qu'elles ne peuvent estre autrement ; car l'ayant reduite aux lois des Mathématiques, c'est chose possible, et je croy le pouvoir en tout ce peu que je ie croy sçavoir, bien que ie ne l'aye pas fait en mes Essais, à cause que ie n'ay pas voulu y donner mes Principes, et ie ne voy encore rien qui me convie à les donner à l'avenir. »

1. Cf. notre communication au IX^e Congrès international de Philosophie, II, p. 41, Paris 1937.

2. Les conceptions de Descartes en matière d'histoire de la philosophie ne coïncident pas toujours avec les nôtres. Cf. *Principes*, Préface, A. T., v. IX, p. 5 : « Les premiers et les principaux dont nous ayons les écrits sont Platon et Aristote, entre lesquels il n'y a eu autre différence, sinon que le premier, suivant les traces de son maistre Socrate, a ingenuëment confessé qu'il n'avait encore rien pu trouver de certain, et s'est contenté d'inscrire des choses qui lui ont semblé estre vray-semblables, imaginant à cet effet quelques principes par lesquels il taschait de rendre raison des autres choses ; au lieu qu'Aristote a eu moins de franchise, et bien qu'il eust été vingt ans son disciple et n'eust point d'autres Principes que les siens, il a entièrement changé la façon de les debiter et les a proposez comme vrayz et assurez, quoy qu'il n'y ait aucune apparence qu'il les ait jamais estimé tels. »

3. Cf. G. MILHAUD, *Les Philosophes-Géomètres de la Grèce*, Paris, 1900, p. 292, et L. ROBIN, *Platon*, Paris, 1935, p. 234.

L'ÉLIMINATION DE LA PESANTEUR

A-LES GALILÉENS

Un problème se pose maintenant, problème que nous avons évoqué au début même de cette étude : si — ainsi que nous croyons l'avoir montré — Galilée n'a pas formulé le principe d'inertie, comment se fait-il que ses successeurs et disciples ont pu croire le trouver dans son œuvre ? Et un autre : si, ainsi que nous croyons l'avoir également démontré, Galilée, non seulement n'a pas conçu, mais encore n'a pas pu concevoir le mouvement inertial en ligne droite, comment se fait-il, ou, mieux, comment s'est-il fait, que cette conception, devant laquelle s'est arrêté l'esprit d'un Galilée, a pu paraître facile, évidente, allant de soi, à ses disciples et successeurs ?

A notre avis, cette dernière question commande la première. Car c'est justement parce que la conception du mouvement inertial, c'est-à-dire du mouvement éternel en ligne droite, leur paraissait évidente et claire que les disciples et successeurs de Galilée — suivis en cela par beaucoup d'historiens — ont cru la voir exprimée et affirmée dans l'œuvre de leur maître. Or, disons-le tout de suite, si elle a pu leur apparaître telle, si, dépassant Galilée sur la route qui mène à la géométrisation de l'espace et à la mathématisation du réel, ils ont pu, sans presque le remarquer, s'affranchir du dernier lien, du lien de la pesanteur, qui rattachait Galilée au sol de la physique, et s'envoler librement dans le ciel des êtres mathématiques, c'est à Galilée, à l'exemple Galiléen, à l'enseignement Galiléen, à l'éducation Galiléenne qu'ils le devaient. Aussi n'ont-ils pas eu tout à fait tort d'attribuer à Galilée une découverte qu'il n'avait pas faite, et de trouver dans son œuvre ce qui, sans doute, n'y était pas expressément, mais y était « en germe ».

Mais précisons. Et pour ce faire, laissons la parole aux Galiléens eux-mêmes.

1. Cavalieri

Le *Specchio Ustorio* de Cavalieri est de 1632. L'année du *Dialogue*. Et cependant quelle différence de style ! Si l'on datait par des critères internes, on le croirait écrit vingt ans plus tard. Le livre de Galilée — on l'a bien vu — était un livre de polémique et de combat. Le livre de Cavalieri n'est plus qu'un livre de science. Pour Cavalieri, on le sent bien, la grande bataille galiléenne appartient au passé. Et la victoire galiléenne est à tel point totale qu'on n'en parle plus. Le grand problème philosophique : Platon ou Aristote, mathématique ou expérience sensible, est résolu. Il va de soi que la physique est une mathématique et le passage entre l'étude — purement géométrique — des courbes et des sections coniques à celle de leurs « effets » dans la réalité physique se fait sans heurt. On le remarque à peine. Aussi l'étude des mouvements, mouvement de la chute, mouvement du jet, est-elle conçue d'emblée comme une étude mathématique ; les corps que Cavalieri met en mouvement, sont, désormais, des corps mathématiques.

Sans doute sont-ils des « graves ». Sans doute Cavalieri nous parle-t-il de la « gravité interne » des corps. Mais cette gravité interne — que l'on ne peut pas ne pas admettre — n'est plus conçue comme quelque chose d'inséparable du corps physique. Bien qu'il l'appelle encore « interne », la gravité, pour Cavalieri, s'est entièrement extériorisée. Et, de ce fait même, toute distinction entre mouvement « naturel » et « violent » disparaît définitivement de sa pensée.

Mais écoutons Cavalieri (1) : « Bien que, en ce qui concerne les

1. B. CAVALIERI. *Lo Specchio Ustorio overo Trattato Delle Settoni Coniche et alcuni loro mirabili effetti intorno al Lume, Caldo, Freddo, Suono e Moto ancora*, Bologna, presso Clemente Ferroni, 1632. cap. XXXIX p. 153 : « Del movimento de' corpi gravi. Benche intorno a' corpi gravi diversissime cose si potessero considerare, tutte belle, et tutte curiose, però non cerchiamo altro, se non che forte di linea sia quella, per la quale si move esso grave, mercé prima dell'interna gravità, poi del proiciente, e finalmente dell'uno et dell'altro accoppiati insieme, per cedere, se vi havessero che fare le Settoni Coniche, et quali siano quando ciò sia vero.

Dico adunque, se noi consideremo il moto del grave fatto per la sola interna gravità, in qualunque modo poi ella si operi, che quello sarà sempre indrizzato verso il centro universale delle cose gravi, ciò è verso il centro della terra, et universalmente conspirare tutti i gravi a questo centro, poiche si veggono in tutti i luoghi della superficie terrestre scendere non impediti a perpendicolo sopra l'Orizzonte...

Dico più oltre, che considerato il mobile che da un proiciente viene spinto verso alcuna parte, se non avesse altra virtù motrice, che lo cacciasse verso un'altra banda, andrebbe nel lungo segnato dal proiciente per dritta linea, mercé della virtù impressa pur per dritta linea, dalla quale drittura non è ragionevole, che il mobile si discosti, mentre non vi è altra virtù motrice, che ne lo rimova, e ciò quando fra li duoi termini non sia impedimento ; come per esempio

corps graves, on puisse faire des considérations les plus diverses, toutes belles, et toutes curieuses, cependant nous ne cherchons maintenant rien d'autre que de déterminer quelle est la nature de la ligne suivant laquelle se meut le grave, mû d'abord par la gravité interne, puis par le projetant et finalement par l'une et par l'autre ensemble, afin de voir si les sections coniques ont quelque chose à faire ici, et si tel était le cas, quelles seraient-elles.

« Je dis donc que si nous considérons le mouvement du grave dû à la gravité interne seule — de quelque manière qu'elle agisse — celui-ci sera toujours dirigé vers le centre universel des choses graves (1), c'est-à-dire vers le centre de la terre et tous les graves se dirigeront universellement vers ce centre...

« Je dis ensuite que si l'on considère un mobile qui serait lancé par un projetant vers un but quelconque et s'il n'y avait aucune autre vertu motrice qui le tirait vers une autre direction, il irait dans le lieu assigné par le projetant en ligne droite, mû par la vertu à lui imprimée uniquement en ligne droite : et de cette droiture il n'est pas raisonnable que le mobile s'écarte, puisqu'il n'y a pas d'autre vertu motrice qui l'en détourne ; ainsi, par exemple, un boulet de canon issu de la bouche de la pièce, s'il ne possédait aucune autre [vertu motrice] que celle qui lui est imprimée par le feu, irait du point du tir tout droit vers le but placé dans le prolongement de l'axe du canon ; mais parce qu'il y a un autre moteur, à savoir la gravité interne du boulet, il s'ensuit qu'il sera forcé de s'écarter de cette droiture pour se rapprocher du centre de la terre. »

Ainsi, si la gravité interne ne tirait pas le boulet vers le centre de la terre, son mouvement s'effectuerait en ligne droite. Il semble bien, à première vue, qu'il n'y a rien de nouveau, ni même de remarquable dans cette assertion de Cavalieri. On a, en effet, toujours dit que les mouvements violents s'effectuent en ligne droite ; n'a-t-on même pas cru qu'ils s'effectuent ainsi réellement, et n'a-t-on pas cru que le boulet ayant quitté la bouche du canon se mouvait d'abord en ligne droite ? Et l'une des grandes découvertes de Galilée ne consiste-t-elle pas, justement, à reconnaître que la trajectoire du projectile s'incurve dès le premier instant du jet ? Cavalieri le sait fort bien. Mais faisons attention. Cela ne l'empêche nullement de

una palla d'Artiglieria uscita dalla bocca del pezzo, se non avesse altro, che la virtù impressa dal fuoco, andrebbe a dare di punto in bianco nel segno posto a drittura della canna, ma perche vi è un altro motore, che è l'interna gravità di essa palla, quindi avviene, che da tal drittura sia quella sforzata deviare, accostandosi al centro della terra. »

1. Le centre universel des choses graves supplée au centre du monde d'Aristote.

s'imaginer un boulet de canon *privé de pesanteur*, non soumis à la force de la gravité, et se mouvant *uniquement* sous l'influence du feu. Cette hypothèse n'a rien d'absurde, ni même d'impossible à ses yeux. La gravité interne agit sur le boulet comme toute autre force — à cette exception près qu'elle agit constamment, qu'elle est une *force constante* —, et l'on peut s'en abstraire comme de n'importe quelle autre.

Aussi Cavalieri poursuit-il (1) : « Je dis encore que ce projectile non seulement irait en ligne droite vers son but, mais que, en temps égaux, il ne passerait que des espaces égaux de la dite ligne, pourvu que le mobile soit indifférent (à la direction du mouvement) et pourvu encore que le milieu ne lui fasse aucune résistance, puisqu'il n'aurait aucune cause de ralentissement ni d'accélération. » Si l'on songe à l'effort de la pensée galiléenne pour surmonter la conception de la vertu impressa = cause du mouvement, aux longs et laborieux raisonnements par lesquels il avait cherché à nous convaincre de l'uniformité du mouvement d'un grave sur le *plan horizontal*, on goûtera et on appréciera à sa juste valeur la concision du raisonnement de Cavalieri, raisonnement d'un homme pour lequel le mouvement s'est depuis longtemps déjà solidifié en une entité actuelle qui persiste d'elle-même et égale à elle-même si et tant que rien ne la détruit ni ne la modifie. Et l'on comprendra que, *la gravité étant devenue pour lui une force séparable*, ce soit sur une droite et non sur un cercle que ce mouvement uniforme se poursuivra. — « Ainsi (2) le grave mû par la gravité interne (seule) n'ira nulle part ailleurs que vers le centre de la terre, mais celui qui est mû par une vertu qui lui est imprimée pourra cheminer dans n'importe quelle direction. » Là encore, la différence avec Galilée et, disons-le franchement, l'avance sur Galilée est patente : pour forcer ses graves de se mouvoir « dans n'importe quelle direction », Galilée, même à l'époque des *Discorsi*, avait besoin de les soutenir par un plan imaginaire, afin de neutraliser ainsi l'action inévitable de la pesanteur. Rien de tel chez Cavalieri : pour exclure l'action de la gravité « interne » il suffit simplement d'en faire abstraction. Et pour étudier le mouvement concret de l'obus, il suffit de faire agir sur lui simultanément les deux forces — celle du jet et celle de la gravité —, et de calculer le résultat

1. *Ibid.* p. 155 : « Dico ancora, che quel proietto non solo andrebbe per dritta linea nel segno opposto, ma che in tempi eguali passerebbe pur spatij eguali della medesima linea, mentre che il mobile fosse a tal moto indifferente ; e mentre ancora il mezzo non li facesse qualche resistenza, poiche non ci farebbe causa di ritardarsi, ne di accelerarsi. »

2. *Ibid.* : « si che il grave, mercè della interna gravità, non anderà se non verso il centro della terra, ma quello, mercè della virtù impressa, potrà incaminarsi verso ogni banda. »

en additionnant tout simplement les effets « partiels » de l'une et de l'autre, prises isolément, puisqu'il est évident que ces deux forces, c'est-à-dire ces deux mouvements, n'ont l'un sur l'autre aucune influence.

Et maintenant (1), « s'il y a dans le projectile deux vertus motrices, c'est-à-dire la gravité et la vertu impressée, chacune d'elle séparément ferait bien avancer le mobile en ligne droite, ainsi qu'on l'a déjà dit ; mais accouplées ensemble, elles ne le feront pas aller en ligne droite, sauf dans les deux cas suivants : 1^o si, par la vertu impressée, le grave est lancé perpendiculairement à l'horizon ; 2^o si, non seulement la vertu impressée, mais encore la gravité mouvait le grave uniformément, parce que les rapprochements au centre de la terre, faits en temps égaux... seraient toujours égaux, comme le seraient aussi les espaces parcourus en ces mêmes temps par le grave le long de la ligne du jet ; ainsi le mobile serait toujours sur la même ligne droite. Mais si l'un des deux (mouvements) n'était pas uniforme, alors le mobile lancé par la gravité et par la vertu impressée, ne se mouverait pas sur une ligne droite, mais sur une courbe dont la qualité et la condition dépendraient de l'uniformité et de la difformité respectives des mouvements accouplés ensemble. Car dans le grave qui, poussé par le projetant, serait dirigé dans un sens quelconque, par exemple, mù sur une ligne élevée sur l'horizon, il y a bien de la gravité qui agit, mais celle-ci ne fait rien d'autre que retirer le mobile de la droiture de la dite ligne, n'ayant rien à faire avec l'autre mouvement, sauf en tant que le grave s'éloigne du centre de la terre, tandis

1. *Ibid.* : « Essendo due adunque nel proietto le virtù motrici, l'una la gravità, l'altra la virtù impressa, ciascuna di loro separatamente farebbe ben ciminare il mobile per linea retta, come si è detto, ma accoppiare insieme non la faranno andare per linea retta, se non in questi due casi, nel primo, quando dallo virtù impressa sia spinto il grave per la perpendicolare all' Orizzonte ; il secondo, quando non solo la virtù impressa ma anco la gravità mova il grave uniformemente, perche gli accostamenti fatti in tempi eguali al centro della terra, partendosi da una retta linea, sariano sempre eguali, come anco li spatii decorsi ne medesimi tempi dell' istessa linea, per la quale viene spinto esso grave ; e perciò il mobile farebbe sempre nella medesima linea retta. Ma quando uno de' duoi non fosse uniforme, allhora non caminerebbe il mobile spinto dalla gravità, e dalla virtù impressa, altrimenti per linea retta, ma si bene per una curva, la cui qualità e conditione dipenderebbe dalla detta uniformità, e difformità di moto accoppiate insieme. Hora nel grave, che, spiccandosi dal proiciente, viene indrizzato verso qual si sia parte, per essemplio, mosso per una linea elevata sopra l'Orizzonte, vi è bene la gravità, che opera, ma quella non fa altro, che ritirare il mobile dalla dritura della sudetta linea elevata, non havendo che far niente con l'altro moto, se non per quanto viene il grave allontanato dal centro della terra, astraendo adunque nel grave la inclinazione al centro di quella, come anco ad altro luogo, egli resta indifferente al moto conferitoli dal proiciente, e perciò se non vi fosse l'impedimento dell'ambiente, quello sarebbe uniforme : ragionevolmente adunque si potrà supporre, che i gravi spinti dal proiciente verso qualunque parte, mercè della virtù impressa, caminino uniformemente, non havendo risguardo all'impedimento dell'aria, che per esser tenuissima, e fluidissima, per qualche notabile spatio, può esser, che i permetta la sudetta uniformità. »

qu'elle imprime au grave une inclination vers le centre de celle-ci, comme vers tout autre lieu. Aussi (le mouvement issu de la gravité ou produit par elle) reste-t-il indifférent vis-à-vis du mouvement conféré au grave par le projetant et, s'il n'y avait pas d'empêchement du milieu, celui-ci serait uniforme ».

Il est à peine besoin de souligner l'égalité de traitement du mouvement du jet et de celui de la chute, égalité de traitement qui va jusqu'à l'emploi du même terme pour les deux ; on voit bien que pour Cavalieri tous les mouvements sont de même nature et que la distinction entre « violents » et « naturels » n'est plus qu'une question de terminologie. D'ailleurs, il nous le dit *expressis verbis* : « Il nous reste à réfléchir au rapprochement au centre de la terre du grave mù par la gravité interne, que l'on appelle mouvement naturel, et à l'éloignement de celui-ci, par suite de l'impulsion conférée au mobile — on l'appelle mouvement violent — ; le grave qui part du repos et se meut vers le centre se meut en s'accélégrant toujours, à mesure qu'il se rapproche du centre, ou, pour dire mieux, à mesure qu'il s'éloigne de son point de départ (2), et le (mouvement) violent, c'est-à-dire celui qui part du centre, va en se ralentissant toujours ». Or, si ce fait a toujours été connu des philosophes, c'est Galilée seulement qui, dans son *Dialogue*, a déterminé la proportion exacte de l'accélération et du ralentissement, ce qui, à son tour, permet à Cavalieri de démontrer, en utilisant dans sa déduction la méthode du calcul inventée par lui, que la trajectoire de tout corps projeté dans n'importe quelle direction, est une section conique et même une parabole.

Le lecteur moderne sera probablement déçu. Peut-être même nous accusera-t-il d'être victime de l'illusion d'optique que nous avons parfois reprochée à certains historiens de Galilée. Il nous dira peut-être que si Cavallieri s'était véritablement élevé à la conception du

1. *Ibid.*, p. 157 : « Resta hora, che facciamo riflessione all'accostamento del grave, fatto al centro della terra mercè dell' interna gravità, che vien detto moto naturale, e al discostamento da quello, per l'impulso conferitoli, che si chiama moto violento ; che il grave, che si parte dalla quiete, e si move al centro, si vada sempre velocitando, quanto più si accosta al centro, o per dir meglio, quanto più si allon tana dal suo principio, e che il violento, o dal centro si vada sempre ritardando, ciò è stato saputo da tutti i Filosofi ancora, ma con qual proportion s'acceleri il moto naturale, et si ritardi il violento, ce lo insegna nuovamente e singolarmente il Sig. Galileo ne' suoi Dialogi alla p. 217, dicendo esser l'incremento della velocita, secondo il progresso de' numeri dispari continuati dall'unita. »

2. Notons la persistance de la formule ! C. 1 *La loi de la chute des corps*, p. 8.

3. *Ibid.*, p. 161 sq.

principe d'inertie, il l'aurait aussi présenté comme tel, comme une loi fondamentale de la nature, comme un axiome fondamental de la mécanique, ainsi que le firent Descartes et Newton. Il ne se serait pas borné à formuler en passant quelque chose où nous voyons une expression du principe d'inertie, mais où personne, *pas même Galilée*, n'a pu le reconnaître. Après tout, c'est possible. Il est possible que Cavalieri n'ait pas compris lui-même la portée de sa formule — il ne dit pas, en effet, que le mouvement, une fois commencé, se prolongera *indéfiniment* — ; et il est vrai que Galilée, qui a lu le *Specchio Ustorio* n'en a pas tiré profit, et que dans ses *Discours*, il formule le principe de la persistance du mouvement avec les restrictions que l'on connaît. Il est possible qu'il n'y ait vu qu'un effet, ou qu'un exemple, d'une mathématisation à outrance, telle que lui-même l'avait esquissée dans le *Dialogue*. Il est possible aussi que Cavalieri lui-même n'y voyait rien d'autre.

Objectivement la formule de Cavalieri contient le principe d'inertie. Le faisait-elle *subjectivement* ? On peut en douter. On doit même le faire.

Or, ce fait même, le fait que Cavalieri nous laisse dans cette incertitude en ce qui concerne sa pensée réelle, le fait que, en tout cas, il n'a pas su donner au principe d'inertie la place et la portée qui lui reviennent, éclairent le rôle et la portée de l'œuvre cartésienne. Car ce que nous venons de dire de Cavalieri pourrait se dire, avec une certaine atténuation toutefois, de Torricelli.

2. Torricelli

Car Torricelli n'énonce pas, non plus, le principe d'inertie *comme un principe*. De même que Cavalieri, il le formule, en quelque sorte, chemin faisant, à l'occasion de l'étude du jet. « Que le mobile soit projeté à partir du point *a*, nous dit-il, dans une direction quelconque élevée (sur l'horizon), AB. *Il est clair que sans la traction de la gravité, le mobile procéderait d'un mouvement rectiligne et uniforme suivant la ligne de direction AB* (1) ».

Il est curieux de constater la transformation de la mentalité scientifique depuis Galilée, et même depuis Cavalieri. *Il est clair que...* voilà tout ce que Torricelli estime nécessaire de dire pour intro-

duire le principe d'inertie. Mais, de même que vis-à-vis de Cavalieri, on pourrait se demander : est-ce vraiment le principe d'inertie ? Après tout, Galilée savait parfaitement bien que si la gravité ne tirait pas les corps vers le bas, ils se mouvraient, et même indéfiniment, suivant une ligne droite. Mais il savait aussi que cela n'arrive et ne peut jamais arriver. Torricelli le sait également. Aussi poursuit-il : « Mais la gravité interne agissant intérieurement, le mobile commence immédiatement à décliner de la direction du jet et la mesure de la déviation croissant sans cesse, il décrira une certaine ligne courbe. » Là encore, on peut admirer la manière de Torricelli : inutile de s'attarder aux démonstrations de l'indépendance des mouvements ; pour les lecteurs de Torricelli — qui sortent de l'école galiléenne —, elle est aussi évidente que leur conservation. Mais, là encore, il faut se demander : y a-t-il chez Torricelli autre chose que ce que nous avons déjà vu chez Galilée ? Cet « il est clair » désigne-t-il autre chose qu'un cas, non seulement irréel, mais physiquement impossible ? Ou, si l'on préfère, devant cette impossibilité physique, Torricelli s'arrêtera-t-il, comme s'était arrêté son maître Galilée, ou passera outre, comme le fit Cavalieri ? En fait, il ne fera ni l'un, ni l'autre. Mais, ayant profondément réfléchi sur la structure de la science physique, sur les conditions d'application de la géométrie à la physique, sur l'essence même de la « méthode résolutive » ou, pour l'appeler enfin de son nom véritable, de la *duxioris*, qu'il voit en œuvre chez Galilée et Kepler, Torricelli reconnaît l'impossibilité physique des mouvements étudiés par la mécanique rationnelle, mais revendique pour le géomètre le droit de pousser son analyse du réel jusqu'au bout, c'est-à-dire jusqu'à l'irréel, et même jusqu'à l'impossible.

Comme tous les galiléens, comme Galilée lui-même, Torricelli est un archimédien (1). « Parmi tous les travaux se rapportant aux disciplines mathématiques, nous dit-il, la première place semble pouvoir être revendiquée par les découvertes d'Archimède, qui confondent les âmes par le miracle de leur subtilité. » Or, tandis que le génie mathématique d'Archimède est reconnu par tout le monde, la science qu'il a fondée, c'est-à-dire la mécanique — nous pourrions même dire en restant fidèles au sens, sinon aux termes même de

1. Evangelistae TORRICELLI *Opera geometrica*, Florentiae, 1644. De Motu Projectorum I. II, p. 156. Souligné par nous.

1. Evangelistae TORRICELLI *Opera Geometrica*, Florentiae, Typis Amatoris Massae et Laurentii de Landis, 1644. *Proemium* : « Inter omnia opera ad Mathematicas disciplinas pertinentia, iure optimo Principem sibi locum vindicare videntur Archimedis inventa ; quae quidem ipso subtilitatis miraculo terrent animos. »

Torricelli : la physique mathématique — est combattue comme fondée sur deux propositions fausses (1). En effet, Archimède admet, ou suppose comme vraies deux choses manifestement fausses, à savoir : « 1^o que les surfaces n'ayant pas de gravité en possèdent quand même et 2^o que les fils par lesquels les poids sont suspendus à la balance sont équidistants, bien qu'ils doivent en réalité se croiser dans le centre de la terre. Quant à moi, poursuit Torricelli, je suis de cet avis que, ou bien aucune de ces suppositions n'est fausse, ou bien tous les autres principes de la géométrie le sont également et de la même manière. Car il est faux que le cercle ait un centre, la sphère, une surface, le cône, de la solidité. Et je parle des figures abstraites, de celles que la géométrie a l'habitude d'étudier, et non de figures physiques et concrètes. Il nous faudra donc admettre que le centre du cercle, la surface de la sphère, la solidité du cône et les autres choses de ce genre qui ne sont point sujettes à controverse, n'ont aucune autre existence que celle qu'elles reçoivent de l'intellect et de la définition. Aussi la gravité est-elle dans les figures géométriques absolument de la même manière dont sont en elles le centre, la surface, le périmètre, la solidité, etc. » — On le voit bien : pour Torricelli, la mécanique fait tout simplement partie de la géométrie. Il ne s'agit pas d'étudier des phénomènes du monde physique, les mouvements des corps réels, soumis à des forces réelles ; il ne s'agit pas d'expliquer la chute, ou la gravité ; la gravité, à l'intérieur de la science Torricellienne n'est pas une « qualité » ou une « puissance » des corps « graves » ; elle est une grandeur, ou, pour employer le terme même de Torricelli, une dimension. Sans doute, par rapport aux longueurs, largeurs, épaisseurs est-ce là une dimension nouvelle. Mais le géomètre la traite exactement comme il traite les autres, sans se préoccuper de

1. Evangelistae TORRICELLII, *Opera Geometrica*, De Dimensione Parabolae, Florentiae, 1644, *proemium*, p. 8 : « Veniamus ad objectiones quae circa artis fundamenta versantur. Indignor equidem Lucam Valerium, vere nostri saeculi Archimedes, cum optimam causam suscepisset, pessima defensione usum fuisse. Solent ab eruditissimis culpari figurarum Geometricarum dimensiones, quae Mechanicis fundamentis innixae stabiliuntur, tamquam duplex falsum supponant : alterum quod superficies gravitatem non habentes habere tamen concipiuntur : alterum vero, quod fila quae magnitudines ad libram suspendunt aequidistantia supponuntur, cum tamen in centro terrae concurrere debeant. Ego vero in ea sum sententia, vel nullam ex his suppositionibus esse falsam, vel reliqua omnia principia Geometriae falsa existere eodem modo. Falsum enim est, quod circulus habeat centrum, sphaera superficiem, conus soliditatem. Loquor de figuris abstractis quales Geometria considerare solet ; non autem de physicis et concretis. Necesse igitur erit fateri quod circuli centrum, superficies sphaerae, soliditas coni, et reliqua huiusmodi non controversa, nullam aliam habeant existentiam, praeter illam quam accipiunt per definitionem et per intellectum. Eodem prorsus modo gravitas est in figuris Geometricis, quomodo in iisdem est centrum, perimenter, superficies, soliditas, etc.

la possibilité physique des objets qu'il étudie. Aussi, rien ne l'empêche de priver de gravité un « corps » et d'en doter une surface ou une ligne. Nous ne sommes pas dans le monde physique ; nous sommes d'emblée transportés dans le monde archimédien de la géométrie réalisée, et les « corps » de ce monde ne sont ni plus ni moins réels que ses lignes sans largeur, ou ses surfaces sans épaisseur. Les raisonnements du mécanicien ne diffèrent pas par nature de ceux du géomètre. Comme celui-ci, il est libre de définir ses objets et de leur conférer un être *ex definitione*. Il peut même (1) « au moyen de raisonnements mécaniques engendrer des figures (géométriques) par des définitions nouvelles. » Ainsi par exemple, il peut définir le carré (2) « comme un quadrilatère dont les points singuliers — puisqu'il est équiangle et équilatère — possèdent le « moment » de se mouvoir vers une quelconque région du monde, en suivant des lignes parallèles entre elles. » Ce qui, si nous ne nous abusons pas, veut dire qu'il est impossible de séparer la mécanique de la géométrie, car la notion du mouvement est une notion utilisée par la géométrie pour ses définitions (3) ; « ce qui devrait suffire pour détruire toute raison de douter de la valeur et de la vérité de la science archimédienne chez ceux qui n'acceptent pas sa mécanique dans l'esprit dans lequel elle doit être acceptée (4) ».

Ceci contre la première des critiques adressées à Archimède : l'attribution d'un poids aux figures géométriques (5). « J'en viens maintenant à la seconde supposition qu'ils estiment être fausse. C'est une objection très commune et même les gens les plus graves disent qu'Archimède a supposé (comme vrai) *quelque chose de faux lorsqu'il admit que les fils, auxquels sont suspendus les poids pendant aux bras de la balance, étaient parallèles entre eux, tandis que, dans la réalité, ils doivent se croiser dans le centre de la Terre*. Or moi (que ceci soit dit sans offense aux hommes très illustres), je croirais plutôt

1. *Ib.*, p. 9 : « Laudarem igitur in Mechanicis contemplationibus nova definitione figuras generare ; hoc, aut alio non absimili modo. »

2. *Ib.* « Quadratum est quadrilaterum, quod, cum aequilaterum, et aequiangulum sit, singula ipsius puncta momentum habent procedendi versus aliquam mundi plagam per lineas inter se parallelas. »

3. La même idée chez Descartes, v. plus bas p. 161.

4. *Ib.* : « Huiusmodi enim definitio omnem demeret occasionem dubitandi, illis, qui Mechanica Archimedis opera, secundum ipsius mentem non accipiunt. Sed hucusque dictum sit pro obliteranda primae falsitatis nota, quod figurae Geometricae graves sint. »

5. *Ib.* : « Venio nunc ad secundum (ut aliqui existimant) falsum. Principio, vulgatissima est etiam apud gravissimos viros obiectio illa, videlicet Archimedes supposuisse aliquod falsum, dum fila magnitudinum ex libra penduntium consideravit tanquam inter se parallela, cum tamen re vera in ipso terrae centro concurrere debeant. Ego vero (quod pace clarissimorum virorum

que le fondement de la Mécanique doit être envisagé d'une manière tout à fait différente. Je conviens que si des grandeurs physiques (des poids) étaient librement suspendus à la balance, les fils de suspension matériels seraient convergents ; parce que chacun d'eux est dirigé vers le centre de la terre. Néanmoins, si cette même balance, bien que corporelle, était considérée (comme placée) non pas sur la surface de la terre, mais dans les régions les plus hautes au delà de l'orbe du soleil, alors les fils (bien que toujours dirigés vers le centre de la terre), seraient beaucoup moins convergents entre eux, mais presque équidistants. Concevons maintenant une balance mécanique transportée au delà de la balance stellaire du firmament, à une distance infinie : il est facile de comprendre que les fils de suspension ne seront plus convergents, mais rigoureusement parallèles. Lors donc que je considère une balance qui pèse des figures géométriques, je ne la conçois pas comme étant entre les pages des livres où je la vois dessinée ; et je ne crois pas que le point vers lequel tendent ces grandeurs soit le centre de la terre ; mais je m'imagine cette balance comme infiniment éloignée du point vers lequel tendent ses graves. »

Le détachement du réel physique, la géométrisation de l'espace, l'identification de l'espace physique à l'espace géométrique, imparfaitement — quoi qu'en dise Torricelli — effectuée par Archimède, est désormais complète. Physique = mécanique ; mécanique = géométrie. Aussi Torricelli n'éprouve-t-il aucun scrupule de transporter sa balance « corporelle » dans les espaces « imaginaires » au delà de la sphère étoilée, à une distance *actuellement infinie*. L'espace géométrique *est* infini ; et du coup, l'espace de la mécanique et donc de la physique — quoi qu'il en soit des dimensions réelles de l'Univers créé — deviennent à leur tour infinis. L'espace « abstrait » de Torricelli est l'équivalent — en mieux — de l'Univers infini de Bruno. Mais écoutons Torricelli (1) : « Si après cela : c'est-à-dire après avoir

dictum sit) crediderim fundamentum Mechanicum longe alia ratione esse considerandum. Concedo si fisicae magnitudines ad libram libere suspendantur, quod fila materialia suspensionum convergentia erunt ; quandoquidem singula ad centrum terrae respiciunt. Verum tamen si eadem libra, licet corporea, consideretur non in superficie terrae, sed in altissimis regionibus ultra orbem Solis ; tum fila (dummodo adhuc ad terrae centrum respiciant) multo minus convergentia inter se erunt. Sed quasi aequidistantia. Concipiamus iam ipsam libram Mechanicam ultrastellatam libram firmamenti in infinitam distantiam esse provectam, quis non intelligit fila suspensionum iam non amplius convergentia, sed exacte parallela fore ? Quando ego considero libram, figuras Geometricas ponderantem, non concipio illam esse inter cartas librorum in quibus depicta conspiciuntur ; neque suppono punctum, ad quod magnitudines ipsius tendunt, esse centrum terrae ; sed libram fingo in infinitum remotam esse ab eo puncto, ad quod ipsius gravia contendunt. »

1. *Ib.*, p. 10 : « Si postea ibi concluderetur triangulum aliquod triplum esse cuiusdam spatii ; re-

été transportée à une distance infinie, et après avoir servi à déduire certaines formules et certains rapports la dite balance archimédienne était, par l'imagination, ramenée vers nos régions : l'équidistance des fils de la suspension serait, sans doute, détruite ; mais la proportion des figures, déjà démontrée, ne se détruirait pas de ce fait. Il y a un avantage singulier pour le géomètre d'effectuer toutes ses opérations — l'abstraction aidant — au moyen de l'intellect. Qui donc me dénierait (le droit) d'envisager librement des figures suspendues à une balance supposée éloignée à une distance infinie hors des confins du monde ? Ou encore, qui me défendra d'envisager une balance placée à la surface de la terre, dont cependant les grandeurs (poids) abstraites tendraient non point vers le point central de la terre, mais vers celui de la constellation du Chien, ou vers l'Etoile polaire ? » — En effet, il n'y a aucune raison de limiter la liberté du mécanicien-géomètre, dès le moment qu'il prend soin de nous avertir qu'il place sur la surface de la terre une balance non pas réelle, mais mathématique et y accroche des poids-grandeurs abstraits (1). — « Les triangles et les paraboles, et même les sphères et les cylindres géométriques, étant en eux-mêmes parfaitement indifférents au mouvement, ne tendent pas plus vers le centre de la terre que vers celui de Saturne. Aussi celui qui envisage ces figures comme tendant uniquement vers le centre de la terre détruit-il son bénéfice. » En effet, l'opération que nous décrit Torricelli consiste dans la substitution au corps physique et réel d'un corps mathématique et « abstrait » (ce qui implique la transformation de la pesanteur naturelle en « grandeur », ou dimension librement variable), et dans la réinsertion de ce « corps » dans le cadre spatial du réel. Limiter la direction possible de la pesanteur, l'attacher, ou plutôt la réattacher au centre de la terre serait bien perdre tout le « bénéfice » de l'opération. — « Or donc, poursuit Torricelli, pourquoi ne me serait-il pas permis d'envisager les points de n'importe quelle figure

trahatur imaginatione ipsa libra ad nostras regiones ; concedo quod retracta libra destruetur aequidistantia florum suspensionis, sed non ideo destruetur proportio iam demonstrata figurarum. Peculiare quoddam beneficium habet Geometra, cum ipse abstractionis ope, omnes operationes suas mediante intellectu exequatur. Quis igitur mihi hoc negaverit, si liberat considerare figuras appensas ad libram, quae quidam libra ultra mundi confinium in infinitam distantiam remota supponatur ? Vel quis prohibebit considerare libram in superficie terrae constitutam, cuius tamen abstractae magnitudines tendant, non ad medium terrae punctum, sed ad centrum canaliculae, sive stellae polaris ? »

1. *Ib.* : « Triangula et parabola, immo etiam sphaerae cylindricae Geometrici, cum nullam per se habeant motus differentiam, non magis ad ipsius terrae, quam ad Saturni centrum contendunt. Destruit ergo beneficium suum quisquis figuras illas, tamquam ad unicum terrae centrum tendentes, contemplatur. »

comme doués d'une vertu telle que tous ils tendent en lignes parallèles vers n'importe quelle région de l'espace ? » (1) En effet, cette « vertu motrice » n'est plus qu'une dimension ou une grandeur qu'on peut, à volonté, *adjoindre* aux points ; on n'a pas besoin de pouvoir l'y loger. « Ces faits étant supposés vrais, de la même manière dont sont vraies les propriétés des figures qui leur sont attribuées dans et par les définitions, seront vrais également tous les théorèmes qui en seront déduits, à l'aide des considérations mécaniques, par ceux qui effectuent la dite abstraction, et ils (les théorèmes) ne seront aucunement démontrés à l'aide de propositions fausses » — puisque les propositions de base, les admissions, ne portent pas du tout, ainsi que Torricelli vient de nous l'expliquer, sur une réalité sensible, physique dans le sens ancien du terme, mais sur une « réalité » abstraite, mathématique qui lui est substituée.

« Ainsi, poursuit Torricelli, le fondement de la mécanique, à savoir : le parallélisme des fils (de suspension) pourrait être dit faux si les grandeurs (poids) accrochées à la balance étaient des choses physiques et réelles tendant au centre de la terre. Mais il ne sera pas faux, lorsque ces grandeurs (qu'elles soient abstraites ou concrètes) ne tendent ni vers le centre de la terre, ni vers un point quelconque proche de la balance, mais vers quelque point infiniment éloigné (2). »

3. Gassendi

Ainsi que l'a très justement remarqué E. Wohlwill, l'œuvre de Gassendi est très fortement inspirée par celle de Galilée ; beaucoup plus fortement que Gassendi ne l'avoue lui-même (3). Le mérite de Gassendi reste cependant très grand : il a profondément *compris* Galilée ; nous voulons dire : il a compris, et tiré au clair, l'*ontologie* qui formait la

1. *Ib.* : « Cur denique non licebit mihi considerare puncta cuiuscunque figurae eiusmodi virtute praedita, ut singula versus eandem mundi plagam per lineas inter se parallelas aequali momento contendant ? His ita suppositis, quae vera sunt, quemadmodum sunt verae passionibus figurarum, quae in definitionibus adhibentur, vera etiam erunt quaecunque Theoremata per Mechanicas rationes ab ipsis abstrahentibus fuerint considerata, neque per falsas positiones demonstrabuntur. »

2. *Ib.* p. 11 : « Tunc itaque falsum dici poterit fundamentum Mechanicum, nempe fila librae parallela esse, quando magnitudines ad libram appensae fisicae sint, realesque, et ad terrae centrum conspirantes. Non autem falsum erit, quando magnitudines (sive abstractae, sive concretae sint) non ad centrum terrae, neque ad aliud punctum propinquum librae respiciant : sed ad aliquod punctum infinite distans conitantur. »

3. V. E. WOHLWILL, « Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes », *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, etc., v. XV, p. 355, n. 2.

substructure de la science nouvelle ; en outre, grâce à Démocrite et, chose curieuse, grâce à Kepler, il a réussi à se débarrasser des derniers obstacles de la tradition et du sens commun qui avaient entravé le cheminement de la pensée galiléenne et s'est ainsi acquis la gloire impérissable d'avoir été le premier à *publier* — sinon le premier à énoncer — une formule correcte du principe d'inertie. Aussi l'étude de sa pensée est-elle extrêmement instructive ; elle nous paraît, en outre, confirmer entièrement l'explication de l'échec galiléen que nous avons développée plus haut.

A l'encontre de Cavalieri ou de Torricelli, Gassendi n'est aucunement un mathématicien (4). C'est le côté physique, et même le mécanisme physique des phénomènes étudiés par Galilée qui l'intéresse et qu'il veut arriver à comprendre. Il n'a d'ailleurs pas tort, ainsi que nous le verrons tout à l'heure : le fait d'expliquer la pesanteur lui permet d'en faire abstraction.

Gassendi n'a pas, non plus, vis-à-vis de l'expérience, l'attitude souveraine de Galilée. Aussi est-ce par le récit d'une expérience qu'il commence : de la fameuse expérience de la chute d'un boulet lancé du haut du mât d'un navire en mouvement (2). Expérience qu'il a faite, lui, ainsi que nous l'avons relaté plus haut (3), et qu'il utilise désormais pour en déduire les deux principes fondamentaux de la science nouvelle : les principes de la relativité et de l'inter-indépendance des mouvements.

L'expérience infirme la doctrine traditionnelle. La pierre tombe au pied du mât. Et Gassendi, d'expliquer longuement à son correspondant comment il se fait que la pierre qui, par suite de la combinaison des mouvements qui l'animent (4), décrit, en fait — qu'elle soit lancée de bas en haut ou de haut en bas — un mouvement complexe, à savoir une parabole (5), nous paraît, à nous, se mouvoir en ligne droite. C'est que seul le mouvement relatif est perceptible. Or nous, nous sommes nous-mêmes emportés par le navire

1. Il est si peu qu'il n'arrive pas à comprendre la déduction de la loi de la chute par Galilée et croit que, pour obtenir la loi du carré, il faut admettre une action simultanée de l'attraction et de la réaction du milieu. Cf. PETRI GASSENDI, *De motu impresso a motore translato*, Paris, 1642, c. xvii, p. 64 sq ; c. xviii, 69 sq.

2. V. *De motu impresso a motore translato*, c. v, p. 14 sq. Toute la première partie de l'ouvrage est consacrée à l'explication de la transmission du mouvement du moteur au mobile, ou, plus exactement du fait qu'un mobile, lié à un système en mouvement, participe à ce mouvement.

3. V. plus haut, p. 64, n. 4.

4. *De motu impresso a motore translato*, c. vi, p. 22, sq.

5. *De motu*, c. vii, p. 27 sq.

en mouvement. Aussi (1) « n'est-il pas étonnant si, à nous tous qui étions dans la dite (la même) galère, le mouvement apparut comme perpendiculaire ; car ne nous fut observable que le mouvement de la pierre vers le bas ; en effet, on ne pouvait pas observer le mouvement en avant parce qu'il nous était commun avec la pierre ».

Le tenant de la tradition, Gassendi le sait bien, ne sera pas convaincu ; ou, du moins, pas satisfait de cette explication. Car peu lui importe que le mouvement (horizontal) soit perceptible ou non. Il existe, et pour que l'explication de Gassendi tienne bon, il faut qu'il soit capable de se combiner avec le mouvement de la chute, ou du jet, sans que les deux mouvements puissent se gêner mutuellement. Passe encore pour deux mouvements violents. Mais comment un mouvement violent peut-il se combiner — sans qu'aucune gêne n'en résulte — avec le mouvement naturel ? Gassendi répond en contestant tout d'abord le bien-fondé de la distinction traditionnelle. Non pas qu'il soit entièrement hostile à l'emploi de ces termes ; on peut bien, estime-t-il, en user pour désigner la différence entre les mouvements qui s'exécutent spontanément ou, du moins, sans aucune répugnance, et ceux auxquels répugne la nature du mobile : « Ainsi, la trajectoire d'un globe par l'air est violente... sa rotation sur un plan, par contre, naturelle, parce que rien ne s'y oppose (2). »

Mais si l'on veut donner à cette distinction une valeur plus profonde, on aboutira à des résultats très différents de ceux qui sont admis par la physique traditionnelle. Car, d'abord (3), « ... il ne semble y avoir aucun mouvement qui — à l'exception du mouvement primordial — ne puisse être considéré comme violent ; car il n'y en a aucun qui se fasse si ce n'est par la poussée d'une chose par une autre ; c'est là la raison pour laquelle Aristote avait cherché un moteur extérieur même pour les choses qui tombent ». On pourrait,

1. *De motu*, c. v, p. 17 : « Neque est jam mirum, si omnibus nobis, qui in eadem trimeni eramus, apparebat motus perpendicularis ; quippe observabilis nobis solum erat motus lapidis deorsum ; nam ille quidem ad anteriora observari non poterat, quoniam erat nobis communis cum lapide... »

2. *De motu impresso a motore transato*, c. ix, p. 35 : « Preterea cum motus naturalis, et violenti voces non videantur nobis esse confundendae, ea mihi semper utriusque notio visa est commodissima, ut naturalis appelletur, qui aut sponte, aut sine ulla repugnantia fit : violentus, qui praeter naturam, aut cum aliqua repugnantia... Ita trajectio globi per aerem violenta, quia praeter naturam ; volutio supra planum naturalis quia nihil repugnat. »

3. *Ibid.* : « Nullus videtur motus, qui seculo primaevo illo, non possit censeretur violentus : quatenus nullus est, qui nisi cum impulsione unius rei in aliam fiat, ex quo effectum est, ut Aristoteles, etiam rerum cadentium quaeisierit motorem externum. » Le mouvement primordial est celui de la sphère céleste.

sans doute, invoquer l'adage bien connu : « Rien de ce qui est violent ne peut être perpétuel ». Or, cet adage ne paraît rien moins qu'évident à Gassendi qui estime qu'il ne repose sur rien, et qu'une violence perpétuelle n'est nullement absurde (1). Mais soit. Admettons la valeur de l'adage. Il en résultera que, inversement, tout ce qui est naturel doit être perpétuel ; d'où il s'ensuit que le mouvement de la chute ne pourra jamais être considéré comme mouvement naturel, ne serait-ce que parce qu'il n'est pas uniforme, car « il est clair que la source de la perpétuité est l'uniformité, et de la cessation, l'inégalité ; car seulement ce qui ne s'accroît ni ne s'affaiblit, peut perdurer ; et rien ne peut par la force de la nature ni augmenter, ni diminuer infiniment. Ainsi donc, si quelqu'un, dans ces choses composites, recherche un mouvement qui soit naturel *au maximum*, il est clair que ce sera le mouvement des cieux, parce qu'il est, avant tous les autres, uniforme et perpétuel, grâce à la forme circulaire choisie par le créateur : celle-ci n'ayant ni commencement ni fin, il peut être uniforme et perpétuel (2). »

Ainsi, c'est la circularité qui explique l'uniformité et donc la perpétuité du mouvement des cieux. La circularité seule. Aussi les mouvements circulaires sur la terre, en particulier le mouvement horizontal, participeront-ils de la même uniformité, éternité et naturalité.

Gassendi poursuit donc (3) : « Je ne reviens pas ici (à la question) comment la pierre (lâchée) du haut du mât pendant que le navire se meut, ne tombe apparemment que suivant la perpendiculaire, tandis que, en vérité, elle (se meut) obliquement, en suivant la ligne que nous avons déterminée ; (je dirai) seulement que la pierre ne se

1. *Ibid.* : « Neque videri absurdum debet, esse continuam aliquam in rebus naturae violentiam. »

2. *De Motu*, c. ix, p. 36 : « Et sane cum sit commune effatum, Nihil violentum esse perpetuum ; cui est consentaneum, ut quod est naturale perpetuum sit ; constat radicem perpetuitatis esse aequabilitatem, cessationis inaequabilitatem ; quatenus id solum, quod neque invalescit, neque debilitatur, perdurare potest ; nihilque potest naturae vi aut increscere, aut decrescere infinite. Adhaec, si quis requirat motum in hisce rebus compositis, qui sit maxime naturalis, perspicuum videtur eum esse caelestem ; quatenus est prae ceteris aequalis, atque perpetuus ; delecta ab autore circulari forma, secundum quam, principio, et fine carentem, esse aequabilitas, et perpetuitas posset. »

3. *De Motu*, c. x, p. 38 sq. : « Non repeto heic, quemadmodum lapis a vertice mali, dum navis movetur, apparenter solum secundum perpendicularum cadat, reipsa vero oblique per eam, quam descripsimus lineam ; innuo duntaxat lapidem non sponte moveri, quia movetur vi a manu impressa ex translatione manus a navi, cui una cum malo insistit. Atque id quidem seu manus in fastigio mali consistens lapidem dimittat, seu lapis ex radice mali projectus, ubi pervenerit ad summum, postea recidat ; ut proinde intelligas posse vel ex hoc capite motum lapidis decidentis, recidentisve dici violentum. Dices, cum hic obliquus motus mistus, seu compositus fit ex perpendiculari et horizontali ; id quidem, quod est ex hori-

meut pas d'elle-même, parce qu'elle est mue par la force qui lui est imprimée par la main (force), provenant de la translation de la main par le navire qu'elle suit ensemble avec le mât. Aussi entre les deux cas suivants : 1^o la main qui se tient au sommet du mât, lâche la pierre, et 2^o la pierre, projetée de la plante du mât, retombe après être parvenue au sommet, n'y a-t-il aucune différence. C'est pourquoi le mouvement descendant de la pierre, autant que l'ascendant, peuvent être dits violents. On nous objectera peut-être que le mouvement oblique, étant mixte ou composé de perpendiculaire et d'horizontal, peut bien être considéré comme violent, mais non le perpendiculaire qui, lui, est naturel. En effet, il semble évident que (les mouvements) dont se meut la pierre projetée vers le haut et néanmoins s'avancant obliquement soient violents tous les deux, puisque leurs causes à tous les deux sont extérieures, à savoir, la force même du navire, et la force propre de la main ; mais que le mouvement (de la pierre) lâchée vers le bas, et néanmoins, progressant obliquement soit violent selon les deux (composantes) n'est pas aussi manifeste ; car, si la cause du (mouvement) horizontal est toujours externe, à savoir, la poussée ou la force du navire, la cause du perpendiculaire n'est plus la force propre de la main. C'est pourquoi il paraît nécessaire que la pierre se meuve dudit mouvement en vertu d'un principe interne ; et que, donc, son mouvement soit non pas violent, mais naturel. Cependant, il semble tout d'abord digne d'être remarqué que si l'un de ces deux mouvements, à savoir, du perpendiculaire et de l'horizontal, qui composent l'oblique, devait être considéré comme naturel, ce serait l'horizontal plutôt que le perpendiculaire. En effet, puisque le projectile est une certaine partie d'un tout qui se meut horizontalement, c'est-à-dire, circulairement, il se meut aussi à l'imitation de ce tout, circulairement et donc

zontali, existimari posse violentum, at quod ex perpendiculari, id saltem esse naturale. Nam quod lapis quidem sursum projectus, et nihilominus oblique incedens, secundum utrumque violentus sit, videri perspicuum : quoniam utriusque causa externa, impellensque est, illius nempe ipsa vis navis, huius vero vis manus propria : at quod deorsum dimissus, et oblique nihilominus incedens, secundum utrumque violentus sit, non posse perinde esse in confesso : quippe horizontalis quidem causa similiter externa, impellensque, vis navis est ; sed perpendicularis causa non est perinde vis propria manus. Quare et necesse videri lapidem eo motu moveri ab interno principio : esseque proinde eum motum non violentum, sed naturalem. Attamen id videtur primum consideratione dignum, si ex duobus his motibus, perpendiculari nempe, et horizontali, qui obliquum illum componunt, alter habendus naturalis sit, illum horizontalem potius, quam perpendicularem esse. Id vero patet ; quia cum projectum pars fuerit aliqua totius, quod secundum horizontem, seu circulariter movebatur, ideo ad ejus imitationem movetur circulariter, ac naturaliter proinde, et prorsus equabiliter ; adeo ut, quantumcumque motus perpendicularis increseat semper, aut decreseat ; ipse tamen horizontalis uno semper tenore fluat, invariabiliterque

naturellement et tout à fait uniformément. Aussi le mouvement perpendiculaire augmente ou décroît ; l'horizontal, cependant, s'écoule toujours uniformément, et se poursuit invariablement. Il se peut que, s'il s'agissait du mouvement de la terre — si on la supposait mobile sur son axe — cela paraîtrait moins surprenant ; car on pourrait dire que la pierre se meut uniformément, parce qu'elle se conforme spontanément au mouvement uniforme du tout, qu'elle y soit liée ou qu'elle en soit séparée. Mais, sans doute, est-ce étonnant (lorsqu'il s'agit du mouvement) imprimé par la course du navire, ou d'une autre chose, ou de la main seule ; car la pierre ne possède pas de relation semblable à ces choses, ou à leurs mouvements. D'où il est juste de conclure que le mouvement horizontal, de quelque cause qu'il provienne, est, de par sa nature, perpétuel, à moins qu'une cause n'intervienne qui détourne le mobile et trouble le mouvement. » Pour s'en convaincre, il suffit de concevoir un mobile en mouvement dont toute cause de trouble ou de déviation soit éliminée ; tel, par exemple, un globe très parfait et parfaitement poli, fait d'une matière uniforme que l'on s'imaginera posé sur l'horizon, c'est-à-dire sur le « circuit de la terre ». « Supposons qu'on lui imprime un mouvement, le plus faible soit-il : on comprendra, certes, que ce mouvement ne cessera jamais, mais que le globe, ayant accompli une révolution, en accomplira une seconde et parcourra à nouveau tout le circuit, et après avoir fait celle-ci, il en fera une autre, et puis une autre encore, et ainsi persévéra indéfiniment. »

Gassendi nous explique qu'une sphère parfaite roulant sur une surface horizontale reste toujours dans la même position par rapport à celle-ci : lorsque l'une de ses moitiés s'abaisse, l'autre s'élève d'autant — raisonnement qui provient, comme on sait, de Nicolas de Cues. Mais, en plus, cette sphère — ainsi que tout autre objet se

procedat. Ac forte res minus mirabilis esset, de impressione ex motu terrae, si quis vellet ipsam supra axem suum mobilem supponere ; siquidem lapis dici posset moveri uniformiter, ob spontaneam consequutionem, ad uniformem motum totius ; seu cum eo cohaerens, seu abiunctus foret ; Sed mirabile sane est de impressione ex navi, equo, curru, aliave re, aut ex sola manu : quando lapis non habet cum rebus eiusmodi, motibus earum parem relationem. Ex quo par est existimare, motum horizontalem, a quacumque causa is fiat, ex sua natura perpetuum fore, nisi causa aliqua intervenerit, quae mobile abducatur, motumque exturbet. Id, ut minus absurdum habeas, concipiendum est mobile, quod tantundem sese reducat, quantum abductum fuerit. Huiusmodi autem esse potest exquisitus, et uniformis materiae globus, si volvi ipsum imaginari supra horizontem, seu ambitum terrae, quem aliunde esse exquisitè complanatum concipias. Si supponas enim te illi vel leviculum imprimere motum ; intelliges sane hunc motum nunquam cessaturum, sed globum revolutum iri secundum totum ambitum, ac revolutione peracta revolutum iterum iri, et consequenter iterum, et ita continuo perseveraturum. »

mouvant sur un plan horizontal, c'est-à-dire sur une surface sphérique, en l'occurrence celle de la terre, — se trouve dans une situation privilégiée par rapport à celle-ci, ou, plus exactement, par rapport à son centre (1) :

« De plus, il n'y a aucune raison pour que jamais il retarde ou accélère sa course, parce que jamais il ne s'éloigne ni ne se rapproche du centre de la terre, ni, non plus, pour que jamais il s'arrête, comme il le ferait s'il y avait quelque irrégularité (inégalité) dans la surface. »

Nous voici dans la situation galiléenne : les graves — et, pour Gassendi, autant que pour Galilée lui-même, tous les corps sont « graves », — une fois mis en mouvement, conservent le mouvement qui leur est conféré et se meuvent d'un mouvement constant, uniforme et donc perpétuel, pourvu qu'ils se meuvent en cercle « autour d'un centre », ou plus exactement, autour du centre de la terre, ou de celui des choses graves en général.

C'est ici que la méditation de l'œuvre keplerienne et, bien entendu, de celle de Gilbert, permet à Gassendi de faire un pas, et un pas décisif, en avant. Car à la question, qu'est-ce donc que la gravité ? il ne se borne pas à répondre, comme Galilée avait dû le faire : c'est un nom pour désigner quelque chose dont nous ignorons la nature ; il en détermine la nature positive, et surtout négative ; la gravité est une force comme les autres ; c'est une attraction, quelque chose d'analogue à la force magnétique.

On pourrait nous objecter, sans doute, que le progrès accompli ainsi par Gassendi n'est qu'un leurre, et qu'en substituant le *nom* d'attraction au *nom* de gravité on ne gagne pas grand chose ; ou même, qu'on ne gagne rien, puisqu'on continue à ignorer la nature de la chose dont il s'agit et que l'on désigne par ces « noms ». L'objection, d'un certain point de vue, et notamment du point de vue de Galilée, est parfaitement justifiée. Il est clair que Gassendi — autant que Gilbert, Kepler, ou nous-même — ignore totalement la nature de la chose ; et que les images dont il use pour nous permettre de nous représenter cette chose et de nous rendre compte de son action (images différentes et divergentes, d'ailleurs : cordelettes, chainettes, crochets, action des particules, etc.) ne remplissent aucunement le

1. *De Motu*, c. x, p. 40 : « Accedit, quod nulla sit causa, quamobrem suum cursum vel retardet unquam, vel acceleret, quatenus nunquam magis, vel minus a centro terrae abscedit, aut ad id accedit : neque cur proinde unquam debeat a motu cessare, quemadmodum fleret, si supponeres aliquam in superficie inaequalitatem. »

rôle dont il veut les charger. Et pourtant le fait même de donner une explication, même verbale, s'avère d'une importance capitale.

L'attraction est une force comme les autres, ce qui veut dire qu'elle est une force *externe*. Et finalement, elle se réduit au contact, à la pression, à la poussée ; pour Gassendi, pas plus que pour Descartes, il n'y a de forces matérielles agissant autrement que par contact. Aucune force matérielle ne peut agir à distance ; aucun corps ne peut agir là où il n'est pas, et aucun ne peut créer du mouvement : il peut seulement le transmettre. Gassendi le dit très nettement (1) : tout mouvement se fait par une impulsion et « lorsque je dis impulsion, je ne veux aucunement faire exception pour l'attraction ; car attirer n'est rien d'autre que pousser vers soi par un instrument incurvé ». Ainsi la gravité perd-elle son mystère, ou son privilège ontologique (2) ; et par là même le mouvement produit par la gravité perd son caractère exceptionnel. « La gravité qui est dans les parties mêmes de la terre, ainsi que dans tous les corps terrestres, n'est pas tant une force interne qu'une force imprimée par l'attraction de la terre. » Comment ? L'exemple de l'aimant va nous l'éclairer (3). « Que l'on prenne et que l'on tienne en main une petite lame de fer de quelques onces. Si après cela on place au-dessous de la main un aimant très fort, on sentira un poids non plus d'onces, mais de livres. Et de même que l'on conviendra que ce poids n'est pas tant intérieur au fer qu'imprimé par l'attraction de l'aimant placé au-dessous de la main, de même, lorsqu'il s'agit du poids ou de la gravité de la pierre ou de quelqu'autre corps terrestre, on comprendra que cette gravité convient moins à ce corps pris en soi qu'elle ne (provient) de l'attraction de la terre. »

1. *De Motu*, c. xvii, p. 68 : « Neque vero, cum impulsus dico, attractum non intelligo : quippe cum attrahere nihil aliud sit, quam recurvato instrumento versum se impellere ; et perspicuum sit lapidem, globumve memoratum tam impelli uno, pluribusve ictibus posse, si quis ipsum antecedendo curvis digitis adigat, quam si subsequendo devexeris propellat. » Sur le problème de l'attraction à l'époque de Gassendi, v. *La Correspondance du R. P. Marin Mersenne*, v. II, pp. 234 sq.

2. Il est curieux de comparer la manière dont Cavalieri et Torricelli exorcisent la gravité avec celle de Gassendi : Cavalieri et Torricelli en font une *grandeur* ou une *dimension*. Gassendi, en suivant Kepler (cf. *supra*, pp. 27 sq., 32), une force mécanique.

3. *De Motu*, II, c. viii, p. 116. « ... gravitatem, quae est in ipsis partibus Terrae, terrenisve corporibus, non tam esse vim insitam, quam ex attractu Terrae impressam ; idque posse intelligi adjuncto exemplo ipsius magnetis. Accipito enim, et contineto manu laminulam ferri paucarum unciarum. Si supponatur deinde manui magnes aliquis robustissimus, experire pondus non jam unciarum, sed librarum aliquot esse. Et quia fatebere hoc pondus non tam esse insitum ferro, quam impressum ex attractione magnetis manui suppositi ; idcirco ubi agitur de pondere seu gravitate lapidis, alteriusve corporis terreni, intelligi potest ea gravitas non tam convenire huiusmodi corpori ex se, quam ex attractione suppositae Terrae. » L'identification ou mieux, l'assimilation de l'attraction terrestre à l'attraction magnétique

Or, s'il en est ainsi, si la pesanteur d'un corps n'est qu'un effet d'une force extérieure, on peut facilement s'en abstraire, sans que l'on ait à modifier la conception que l'on a du corps pris en soi. Ou, si l'on veut, puisque la gravité n'est qu'un effet extérieur, il faut donc l'exclure de la conception que l'on forme du corps pris en soi. Aussi pourra-t-on se représenter un corps non-grave, c'est-à-dire, non soumis à cette action de la terre qui engendre en lui la gravité. Ce n'est même pas très difficile. Toute action, en effet, implique un contact immédiat ou médiat. Supprimons ce contact ou, si cela ne suffit pas, supprimons la cause même de l'action (1).

« Concevons une pierre placée dans les espaces imaginaires qui s'étendent au delà de ce monde, et dans lesquels Dieu pourrait créer d'autres mondes ; penses-tu que celle-ci, de l'endroit où elle serait formée, se porterait de suite vers la terre ? Ne resterait-elle pas plutôt immobile là où elle serait une fois placée, comme n'ayant pour ainsi dire ni de haut, ni de bas où elle pourrait tendre et d'où elle pourrait se retirer ? (2) D'ailleurs, on peut aller plus loin ; imagine-toi que non seulement la terre, mais même le monde tout entier soit réduit au néant, et que les espaces soient vides, comme avant la création du monde. Alors, certes, il n'y aura pas de centre, et tous les espaces seront semblables ; aussi la pierre ne se portera-t-elle pas ici, mais

est, on le sait bien l'idée fondamentale de l'œuvre de Gilbert, acceptée et partagée par Galilée. Cf. *supra*, pp. 98 sq. Quant à Kepler, il a fourni à Gassendi l'idée des liens ou chaînes attractrices. Cf. c. xv, p. 61 sq. : « Fit denique, ut si duo lapides, duove globi ex eadem materia veluti ex plumbo, unus pusillus alius ingens, simul dimittantur ex eadem altitudine, eodem momento ad Terram perveniant, ac pusillus, tametsi una uncia ponderosior non sit, non minore velocitate, quam ingens, tametsi sit centum, et plurium librarum. Videlicet pluribus quidem chordulis attrahitur ingens, sed plureis etiam particulas attrahendas habet ; adeo ut fiat commensuratio interviri, ac molem, et ex utraque utrobique tantum sit quantum ad motum sufficit eodem tempore peragendum. Id permirum ; si globi fuerint ex diversa materia, ut alter plumbeus, alter ligneus, vix quicquam tardius attingi Terram ab uno, quam ab alio, hoc est a ligneo, quam a plumbeo ; quoniam pari modo fit commensuratio, dum totidem particulis totidem chordulae destinantur. »

1. *De Motu*, c. xv, p. 59 : « Concipe certe lapidem in spatiis illis imaginariis, quae sunt protensa ultra hunc mundum, et in quibus posset Deus alios mundos condere ; an censeas ipsum illico ubi constitutus illic fuerit, versus hanc Terram convolaturum, et non potius ubi fuerit semel positus, immotum mansurum, ut puta quasi non habentem neque sursum, neque deorsum, quo tendere, aut unde recedere valeat ? Si censeas fore, ut huc feratur ; imaginare non modo Terram, verum etiam totum mundum esse in nihilum redactum, spatiaque haec esse perinde inania, ac antequam Deus mundum conderet ; tunc saltem, quia centrum non erit, spatiaque omnia erunt similia ; censebis lapidem non huc accessurum, sed in loco illo fixum permansurum. Restituatur mundus, et in ipso Terra, an lapis statim huc contendet ? Si fieri dicas, oportet sane sentiri Terram a lapide, debereque proinde Terram transmittere in ipsum vim quandam, atque adeo corpuscula, quibus sui sensum illi imprimat, seseque restitutam, ac in eodem loco denuo existentem veluti renunciet. Secus enim quomodo capis posse lapidem allici ad Terram ? »

2. Souligné par nous.

demeurera immobile dans son lieu. Que la terre soit restituée, qu'advientra-t-il ? La pierre se portera-t-elle immédiatement vers celle-ci ? Il faudrait pour cela que la terre soit perçue par la pierre (1). » En fait, c'est la terre qui va l'attirer, et pour cela il faudra que quelqu'action de la terre parvienne à elle. Il faut donc qu'il y ait un contact entre elles. Car, sois certain que si quelqu'espace de l'air qui nous entoure était, par Dieu, rendu parfaitement vide, et que ni de la terre, ni d'ailleurs, rien n'y parvenait, est-ce que la pierre, qui y serait placée, tendrait vers la terre, ou vers le centre de celle-ci ? Sans doute, pas plus que la pierre placée dans les espaces extramondains ; parce que pour elle, qui n'aurait aucune communication ni avec la terre, ni avec aucune autre chose du monde tout se passerait comme si le monde, et la terre, ou le centre, n'étaient pas et comme si rien n'existait (2). »

Ainsi, la gravité n'est pas seulement un phénomène extérieur et non un constituant essentiel du corps physique, c'est même un effet que l'on peut éliminer assez facilement — (en imagination sinon en réalité) — : en effet, pour soustraire un corps quelconque à l'action de la gravité on n'a qu'à le placer suffisamment loin (3), ou le mettre dans le vide (4).

« Tu me demandes donc, ce qui arriverait à cette pierre, que j'ai admis pouvoir être conçue dans les espaces vides, si, chassée du repos, elle était poussée par une force quelconque ? Je réponds qu'il est probable qu'elle se mouvra d'un mouvement uniforme et sans fin ; et elle se mouvra lentement ou rapidement selon qu'un grand ou un petit *impetus* lui aura été imprimé. Quant à la preuve, je la tire de l'uniformité, déjà exposée, du mouvement horizontal ; puis donc

1. Gassendi a raison. C'est d'ailleurs la conclusion qu'admettent Telesio et Patrizzi.

2. GASSENDI, *De motu impresso a motore translato*, c. xv, p. 60. « ...fac jam certum aliquod aëris nos ambientis spatium fieri a Deo prorsus inane, adeo ut neque ex Terra, neque aliunde aliquid in ipsum perveniat : an constitutus in eo lapis feretur in Terram, centrumve ipsius ? Certe non magis, quam constitutus in spatiis illis ultra-mundanis ; quia ipsi nihil neque cum Terra, neque cum alia re quacumque mundi ipsius communicanti, perinde erit, ac si Mundus Terraque, aut centrum non esset, nihilque rerum existeret ? »

3. Gassendi, comme tout le monde, en particulier Gilbert et Kepler, s'imaginaient l'action de l'attraction comme finie. Il a fallu le génie et l'audace de Newton pour en étendre l'action à l'infini.

4. *De Motu*, c. xvi, p. 62 sq. : « Quaeres obiter, quidnam eveniret illi lapidi, quem assumpsi concipi posse in spatiis illis inanibus, si a quiete exturbatus aliqua vi impelleretur ? Respondeo probabile esse, fore, ut aequabiliter, indesinenterque moveretur ; et lente quidem, celeriterve, prout semel parvus, aut magnus impressus foret impetus. Argumentum vero desumo, ex aequabilitate illa motus horizontalis iam exposita ; cum ille videatur aliunde non desinere nisi ex admisione motus perpendicularis ; adeo ut, quia in illis spatiis nulla esset perpendicularis admistio, in quacumque partem foret motus inceptus, horizontalis instar esset, et neque acceleraretur, retardareturve, neque proinde unquam desineret. »

que celui-ci ne semblait se terminer que par suite de l'admixture du mouvement perpendiculaire, il s'ensuit que, puisque dans les espaces vides, il n'y aura aucune admixture du (mouvement) perpendiculaire, le mouvement, en quelque direction qu'il se fasse, sera semblable à l'horizontal, et ni ne s'accélérera, ni ne retardera, et donc, jamais ne cessera. »

On le voit bien : pour le démocritien Gassendi, rien n'est plus facile que d'imaginer un Univers, ou du moins un espace, illimité et vide ; et, libéré par Gilbert et Kepler de la hantise de la pesanteur, rien ne lui est plus facile que d'imaginer dans cet espace vide un corps réel se mouvant perpétuellement en ligne droite, sans jamais accélérer, ni ralentir, son mouvement.

Mais une objection subsiste. Kepler n'a-t-il pas admis que le corps, *inerte* par nature, possède une tendance naturelle au repos ; une impuissance naturelle au mouvement ? Sans doute. Mais Kepler s'est trompé. Et, sans nommer Kepler, Gassendi explique (1) : « J'ajoute que les pierres et les autres corps, que l'on dit être des graves, n'ont pas cette résistance contre le mouvement que nous leur attribuons habituellement. Tu vois bien que si un très grand poids est suspendu à un fil, il lui devient extrêmement facile d'être repoussé de son lieu, et d'aller en avant et en arrière. » Mais ce n'est pas tout. Gassendi a bien étudié Galilée ; il sait que le pendule se meut d'un mouvement isochrone. Aussi ajoute-t-il (2) : « Ne vois-tu pas que la pierre sus-

1. *De Motu*, c. xv, p. 60 sq. : « Addo saxa, et caetera corpora, quae dicuntur gravia, non eam habere ad motum resistantiam, quam vulgo concipimus. Vides quippe si ingens molis appendatur funiculo, quam levicula vi fit opus, ut e loco dimoveatur, et, prorsum, retrorsumque eat. Cur maiore ergo opus sit, ut cieri deorsum possit ? Nec dicas vero esse maiorem, ob motum magis pernecem ; etenim cum primum deorsum contendit, motus illius pernix non est, sed lentissimus potius, causaque dicenda mox est, ob quam deinceps acceleretur. Adnoto interea vim illam quae ex chordularum insensilium singularibus viribus conflatur, et constat, comprobari tantam, quantam superari oportet, ut manus, aut res alia gravitantem rem, velut lapidem, abducatur a Terra. Et vides profecto quid fieri videatur, dum lapis tibi ipsum e Terra attollere conanti resistit. Nempe tot illae chordulae suis deflexionibus, et quasi decussationibus illum implexum detinent ; et, nisi vis major interveniat, quae eas deflexiones, decussationesque promoveat, strictionesque fieri ulterius cogat, nunquam a Terra lapis tollitur. Heinc fit, ut quanto vis externa, seu quae a manu, aliave re extrinsecus imprimitur, pluribus gradibus vim illam chordularum superaverit, tanto lapis effeatur sublimius ; quanto paucioribus, tanto humilior. Fit etiam, ut impressa vis initio pollens vehementer pellat, quia nondum refracta est ; deinceps vero segnius, segniusque, quoniam ipsi semper aliqui gradus adimuntur : donec ille solus supersit, quo exaequetur vi chordularum. »

2. *De Motu*, c. xvi, p. 65 sq. : « An non capis fore ut lapis appensus impressum semel motum constantissime tueatur ; scilicet omnes vibrationes non aequalibus modo temporibus peragens, sed aequalibus etiam arcibus continuo perficiens ? Haec porro omnia alio non tendunt, quam ut intelligamus motum perspatium inane impressum, ubi nihil neque attrahit, neque omnino renititur, aequabilem fore, ac perpetuum ; atque exinde colligamus, omnem prorsus motum, qui lapidi imprimatur esse ex se huiusmodi ; adeo ut in quamcumque partem

pendue retiendra le mouvement qui lui est une fois imprimé de la façon la plus constante ; c'est-à-dire, en accomplissant continuellement toutes ses vibrations non seulement dans des temps égaux, mais encore par des arcs égaux ? Or, tout cela ne tend à rien d'autre qu'à nous faire comprendre que dans l'espace vide où rien ni n'attire, ni ne retient, ni ne résiste d'aucune manière, un mouvement imprimé à un mobile sera uniforme et éternel ; ce qui nous permet d'inférer que tout mouvement qui est imprimé à la pierre est, en soi, de cette nature ; ainsi donc en quelque direction que tu ne jettes une pierre, si tu supposes que, au moment même où elle est lancée par la main, tout absolument en dehors de cette pierre soit réduit au néant, elle continuera son mouvement éternellement et dans la même direction dans laquelle ta main l'a dirigée. Si elle ne le fait pas (en fait), c'est évidemment à cause de l'admixture du mouvement perpendiculaire qui intervient par suite de l'attraction de la terre, attraction qui la fait dévier de sa route (et n'a de cesse jusqu'à ce qu'elle ne l'amène à la terre), de même que les raclures du fer près d'un aimant ne se meuvent pas en ligne droite, mais sont détournées vers l'aimant. » Ainsi, si les corps tombent, si leurs trajectoires s'incurvent, c'est parce qu'ils sont soumis à des influences extérieures. En droit, et en soi, tout mouvement devrait être rectiligne, et tout mouvement devrait se conserver éternellement (1).

Une dernière objection : ce mouvement n'est-il pas quelque chose ? Quelque chose de plus que le repos ? Pour produire le mouvement ne faut-il pas une force ? Et n'en faut-il pas pour le conserver ? Lorsqu'on jette un mobile, on déploie une force. N'est-ce pas cette force, *impetus*, qu'on imprime au corps, et cette force ne doit-elle pas s'épuiser ? Nullement, car le mouvement, pour se poursuivre, n'a pas besoin qu'une *force* soit imprimée au mobile. Aussi le moteur ne le fait pas (2) : « rien d'autre que le mouvement n'est imprimé au mo-

lapidem conieceris, si quo momento a manu emittitur, supponas omnia vi divina, lapide excepto, in nihilum redigi ; eventurum sit, ut lapis motum suum perpetuo, ac in eadem partem, in quam manus ipsum direxerit, moveatur. Nisi iam faciat, causam videri admisionem motus perpendiculis, ob attractionem a terra factam intervenientis, quae divergere illum a tramite faciat (neque cesset, quousque ipsum ad Terram usque perduxerit) ut dum ramenta ferri prope magnetem transiecta non recta pergunt, sed versus magnetem divertuntur ; aut dum universe rei, quae movetur, oblique occurrimus, ipsamque in obliquam deflectimus plagam. »

1. *De Motu*, cap. xii, p. 46 : « praeter causam impellentem, videtur esse necessarium ad attrahentem recurrere, quae id muneris exsequatur. Ceterum, haec vis quatenus alia sit, quam qui totius globi Telluris propria sit, et magnetica dici possit ? »

2. *De Motu*, c. xix, p. 75 sq. : « ... [mobili] a movente nihil imprimi aliud quam motum... Imprimi, inquam, qualem movens habet, donec mobile est ipsi conjunctum, et qualis continuandus esset, futurusque perpetuus, nisi a motu aliquo adverso labefacteretur. »

bile par le moteur. Je dis que c'est le mouvement que possède le mobile tant qu'il lui est conjoint qui lui est imprimé, et ce mouvement se continuerait et serait éternel s'il n'était affaibli par quelque mouvement contraire. » Le mouvement ainsi se conserve tout seul.

« J'ajoute, nous dit encore Gassendi (1), que par là on peut comprendre ce qu'il faut penser de la difficulté habituellement élevée au sujet de la force imprimée aux projectiles. On demande, en effet : que fait-elle dans le mobile ? comment s'y imprime-t-elle ? comment perdure et comment disparaît-elle ? Or donc, on la tient habituellement pour une force active mouvant la pierre ; il paraît cependant que la force active, qui est la cause de la projection, est dans le projetant lui-même, et nullement dans la chose projetée, qui est purement passive. Ce qu'il y a dans la chose projetée, c'est du mouvement, lequel, bien qu'il soit parfois appelé force, *impetus*, etc. (comme nous l'avons fait nous-même, lorsque, afin d'être plus facilement compris, nous avons gardé, autant que possible, des appellations familières), n'est, cependant, en réalité, rien d'autre que le mouvement même. Et sans doute un seul et même mouvement est bien, selon Aristote, action en même temps que passion ; action en tant qu'il est dans le moteur, passion en tant qu'il est dans le mobile ; car dans le moteur est une force active au moyen de laquelle est mû le mobile ; et tant que le mobile se meut on n'a pas à chercher en lui une force active, qui ne se trouve que dans le moteur, mais une passive seulement, qui est en lui et qui, ainsi que l'on dit, est amenée à l'acte. Or rien n'empêche que le moteur soit séparé, ou même périsse, et que le mouvement reçu perdure. Car on ne requiert pas le moteur afin que, en

1. *De Motu*, c. xix, p. 74 : « Unum addo ; nempe licere ex istis intelligi, quid sentient dum sit de difficultate vulgo excitata circa vim impressam projectilibus. Requiritur quippe quidnam haec vis sit in re mobili ? quomodo in ea imprimatur ? quomodo perduret ? quomodo evanescat ? Enim vero, cum haberi soleat ut vis activa lapidem movens ; videtur tamen vis activa, quae projectionis causa est, esse in ipso projiciente non vero in projecta re, quae mere passive se habet. Id quod in re projecta est, motus est, qui licet interdum nominetur vis, impetus etc. (ut etiam aliquoties a nobis factitatum est, dum, ut facilius intelligamur, familiares voces, quantum possumus, retinemus) non propterea tamen aliud quidpiam est reipsa, quam ipsemet motus. Et sane unus, idemque motus, vel per Aristotelem, actio simul et passio est ; actio prout est a movente, passio, prout in mobili ; quare ut in movente est vis activa, qua moveatur, ita in mobili vis passiva, qua moveatur ; et dum mobile reipsa movetur, non in eo querenda est vis activa, quae in movente solo necessaria fuit, sed passiva solum, quae in eo est, et redacta quidem, ut vocant, ad actum. Neque obstat, quod movens separatim sit, aut interierit etiam, constante motu accepto, possit ; nam non propterea requiritur, ut aliam, praeter motum, vim a seipso transmiserit, quae motum deinceps efficiat ; sed sufficit ut motum semel in mobili fecerit, qui continuari absque ipso possit. Potest autem ; quoniam est ejus naturae accidens, ut modo subjectum perseverans habeat, neque contrarium quidpiam occurrat : perseverare absque continua causae suae actione valeat. »

dehors du mouvement, il transmette au mobile une force, qui ensuite produirait le mouvement ; mais il suffit qu'il produise dans le mobile un mouvement, qui puisse continuer sans lui. Or le mouvement peut le faire, car telle est la propriété de sa nature, pourvu qu'il ait un sujet perdurable, et que rien de contraire ne lui arrive ; il a la faculté de persévérer sans action continue de sa cause. »

On est loin sans doute de la clarté, et de la profondeur métaphysique de Descartes. Mais on est loin également des hésitations d'un Galilée, et des erreurs d'un Kepler. L'élimination consciente de la notion de l'*impetus*, la possession d'une théorie de la pesanteur et la géométrisation définitive de l'espace permettent à Gassendi de franchir les bornes qui avaient arrêté ces deux grands esprits.

B—DESCARTES

I. Le Monde

Tournons nous maintenant vers Descartes. Vers le Descartes d'après 1630. Jetons un coup d'œil sur son *Monde*.

Lorsqu'on passe, ainsi que nous allons le faire, de Galilée à Descartes, du *Dialogue sur les deux principaux systèmes du monde* au *Monde*, on éprouve une sensation très curieuse — sensation que l'on pourrait — très mal, sans doute — résumer en disant qu'on change brusquement d'atmosphère spirituelle.

L'âge des combats, le temps de la lutte semble être bien loin derrière nous. Pour Descartes, il ne s'agit plus, plus du tout, de combattre les arguments, toujours répétés, sinon renouvelés, des tenants de l'astronomie géocentrique : le copernicanisme s'épanouit, s'étale tranquillement et naïvement dans son œuvre comme la seule conception possible. Toute discussion est désormais inutile.

Il ne s'agit pas non plus de faire une critique de la physique aristotélicienne, d'analyser ses fondements, ses faiblesses, ses contradictions : quelques plaisanteries sur la matière première, sur l'espace imaginaire des philosophes (1) suffisent. Pour Descartes, la physique traditionnelle est morte. Et même enterrée. On ne s'en occupe plus. Ce qu'on a à faire, et ce que tranquillement va tenter Descartes, c'est de la remplacer. C'est de fonder et de développer une physique nouvelle — la vraie — et de nous présenter une nouvelle image du monde, c'est-à-dire, en particulier, une nouvelle conception de la matière, et une nouvelle conception du mouvement.

Il s'agit de construire, ou de reconstruire, le monde et de le faire en procédant *a priori*, en descendant aux effets des causes, et non en remontant aux causes des effets.

Rien ne peint mieux le détachement de Descartes en face des théories traditionnelles que la fiction littéraire qu'il emploie : ce

n'est pas notre monde à nous, nous dit-il, qu'il entreprend de décrire, mais un tout autre, un monde créé par Dieu quelque part — infiniment loin du nôtre — dans les espaces imaginaires ; créé, pourrait-on dire, avec les moyens du bord. Aussi, ce ne sont pas les lois de notre monde que Descartes entreprend de nous expliquer ; bien au contraire, il se propose de nous déduire les lois de l'autre, ces lois que Dieu impose à la nature, et grâce auxquelles il va créer, dans l'autre monde, toute la diversité, et toute la multiplicité, des objets qui s'y trouvent (1).

Fiction littéraire, venons-nous de dire ; plaisanterie. Sans doute. Puisque, en fait, c'est bien notre monde à nous que Descartes entreprend de reconstruire. Et pourtant, cette plaisanterie nous révèle une attitude caractéristique de Descartes : effectivement, ce n'est pas notre monde à nous qu'il étudie. Il ne se demande pas — comme se l'était demandé Galilée — quel est le mode d'action effectivement suivi par la nature ? Ce qu'il se demande, lui, c'est un peu autre chose ; c'est, pourrait-on dire : quel est le mode d'action que *doit* suivre la nature ? Les lois de la nature, ce sont des lois pour la nature, des règles auxquelles elle ne peut pas ne pas se conformer. Car ce sont elles, ces règles, qui la forment.

L'univers cartésien, on ne le sait que trop, est construit avec fort peu de chose. Matière et mouvement ; ou mieux — car la matière cartésienne, homogène et uniforme, n'est qu'étendue, — étendue et mouvement ; ou mieux encore — car l'étendue cartésienne est strictement géométrique — espace et mouvement. L'univers cartésien, on le sait bien, c'est la géométrie réalisée.

La loi suprême de l'univers cartésien est la loi de la persistance. Ce qui est, demeure. Ce que Dieu a créé, il le maintient dans l'être. Les deux réalités de l'univers cartésien : espace et mouvement, une fois créés, demeurent éternellement. L'espace ne change pas ; ce qui est évident. Mais le mouvement non plus. Du moins la *quantité de mouvement* une fois mise par Dieu dans le monde ne peut ni augmenter, ni diminuer. Elle reste constante. Ceci implique que le mouvement, dans le monde cartésien, possède une réalité propre. Il est créé par Dieu, et même, créé avant les choses. Car c'est grâce au mouve-

1. Cf. DESCARTES, *Le Monde ou Traité de la Lumière*, A. T., v. XI, pp. 32, 33, 35.

1. *Le Monde*, p. 33, 34. Cf. *Discours de la Méthode*, A. T., v. VI, p. 72 sq. La plaisanterie cartésienne a été retournée contre Descartes par le Père Daniel dans son très amusant *Voyage du Monde de M. Descartes*, Paris, 1690.

ment que les choses existent. C'est le mouvement qui les découpe, pour ainsi dire, dans la masse homogène de l'étendue ou espace. Aussi les choses ne peuvent-elles pas exister sans qu'il y ait — et même préalablement — du mouvement dans le monde.

Mais cela, c'est de la métaphysique. Et Descartes, pour le moment, ne veut pas en faire. Il prend son monde, en quelque sorte, à une étape postérieure de son développement. Il y a des choses. Et il y a du mouvement dans les choses. Cela doit nous suffire. Aussi nous dit-il (1) : « Je ne m'arrête pas à chercher la cause de leurs mouvements : car il me suffit de penser, qu'elles ont commencé à se mouvoir, aussi-tôt que le Monde a commencé d'estre. Et cela estant, je trouve par mes raisons, qu'il est impossible que leurs mouvements cessent jamais, ny mesme qu'ils changent autrement que de sujet. C'est-à-dire que la vertu ou la puissance de se mouvoir soy-mesme, qui se rencontre dans un corps, peut bien passer toute ou partie dans un autre, et ainsi n'estre plus dans le premier, mais qu'elle ne peut pas n'estre plus du tout dans le monde. Mes raisons, dis-je, me satisfont assez là-dessus ; mais je n'ay pas encore occasion de vous les dire. Et cependant vous pouvez imaginer, si bon vous semble, ainsi que font la plupart des Doctes, qu'il y a quelque Premier Mobile, qui, roulant autour du monde avec une vitesse incompréhensible, est l'origine et la source de tous les autres mouvements qui s'y rencontrent. » Le « Premier Mobile » transposé dans le nouveau monde de Descartes y jouerait cependant un rôle très différent qu'il ne joue dans celui d'Aristote. Il peut bien — si l'on veut — être la source et l'origine de tous les mouvements de ce monde. Mais à cela se borne sa fonction. Le mouvement, une fois produit, n'a plus besoin de lui. Car — et c'est là la différence essentielle — le premier mobile n'a pas à entretenir le mouvement. Le mouvement s'entretient et se maintient tout seul, sans « moteur », ce qui, nous le savons bien, est tout à fait contraire à l'ontologie aristotélicienne. Il passe d'un sujet à l'autre ; il « change » de sujets. Et grâce à lui, les corps possèdent la vertu ou la puissance de se mouvoir eux-mêmes (2).

Qu'est-ce que cette entité curieuse ? Quel est son statut ontolo-

1. *Le Monde*, p. 11 sq.

2. V. plus haut, *La loi de la chute des corps*, pp. 49 sq. ; cf. *Lettre à Mersenne* du 28 octobre 1650, A.T., v. III, p. 213 : « Il a raison de dire qu'on a eu grand tort d'admettre pour principe, que nul cors ne se meut de soy-mesme. Car il est certain que, de cela seul qu'un cors a commencé de se mouvoir, il a en soy la force de continuer à se mouvoir ; ainsi que, de cela seul qu'il est arrêté en quelque lieu, il a la force de continuer à y demeurer ».

gique ? Ce n'est pas, on le voit bien, le mouvement des « philosophes ». Le mouvement des philosophes, qu'est-ce, au juste ? « Les philosophes (1) supposent aussi plusieurs mouvements, qu'ils pensent pouvoir estre faits sans qu'aucun corps change de place, comme ceux qu'ils appellent, *Motus ad formam*, *motus ad calorem*, *motus ad quantitatem* (mouvement à la forme, mouvement à la chaleur, mouvement à la quantité), et mille autres. Et moy, je n'en connois aucun, que celui qui est plus aisé à concevoir que les lignes des Geometres : qui fait que les corps passent d'un lieu à un autre, et occupent successivement tous les espaces qui sont entre-deux. » — On pourrait croire qu'à l'encontre des philosophes qui admettent plusieurs sortes de mouvement, Descartes n'en admet qu'un seul : celui, notamment, que les philosophes appellent « local ». Mais ne nous fions pas à l'apparence. En effet, même en ce qui concerne le mouvement local (2), les philosophes avouent que sa nature leur « est fort peu connue ; et pour la rendre en quelque façon intelligible, ils ne l'ont encore sceu expliquer plus clairement qu'en ces termes : *Motus est actus entis in potentia*, *prout in potentia est*, lesquels sont pour moy si obscurs, que je suis contraint de les laisser icy en leur langue, parce que je ne les sçaurois interpreter. (Et, en effet, ces mots : le mouvement est l'acte d'un Estre en puissance, entant qu'il est en puissance, ne sont pas plus clairs pour estre François.) Mais, au contraire, la nature du mouvement duquel j'entens icy parler, est si facile à connoistre, que les Geometres mesmes, qui entre tous les hommes se sont le plus étudié à concevoir bien distinctement les choses qu'ils ont considérées, l'ont jugée plus simple et plus intelligible que celle de leurs superficies, et de leurs lignes : ainsi qu'il paroist, en ce qu'ils ont expliqué la ligne par le mouvement d'un point, et la superficie par celui d'une ligne ».

Ainsi le mouvement cartésien, ce mouvement qui est la chose la plus simple et la plus facile à connaître, essence purement intelligible et qui, dans l'ordre des raisons comme dans l'ordre des choses, vient avant toutes les autres essences matérielles, avant même la forme spacialement, ce mouvement est celui des géomètres. Notons cela. C'est très important, ainsi que nous le verrons tout à l'heure.

Mais précisons. Les philosophes, nous venons de le voir, distinguent — à tort — plusieurs sortes de mouvements et méconnaissent en même temps la nature du seul que Descartes reconnaisse comme réel.

1. *Le Monde*, p. 39.

2. *Ibid.*

Ils croient que le mouvement est essentiellement un passage d'un état à un autre, un processus. Et, pour cela même, ils lui déniaient le degré d'être qu'ils attribuent aux qualités, et aux états (modes). Mais, d'autre part, ils voient dans le mouvement l'actualisation d'un possible, le passage du néant à l'être, et pour cela même lui attribuent un degré d'être, ou de réalité, plus grand qu'à son contraire, l'immobilité, l'absence du mouvement.

Ainsi (1), « ils attribuent au moindre de ces mouvements un être beaucoup plus solide et plus véritable qu'ils ne font au repos, lequel ils disent n'en être que la privation. Et moi, 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 ». Le mouvement cartésien n'est donc en aucune façon un processus, mais bien une qualité ou un *état*. Et l'identification, expressément faite par Descartes, entre le statut ontologique du mouvement et du repos — point de la plus haute importance et sur lequel nous allons revenir (2) — explique suffisamment pourquoi, dans le nouveau monde construit par Descartes, la persistance et la continuation indéfinie du mouvement n'a pas plus besoin de cause que celle du repos n'en avait dans l'ancien.

Descartes cependant continue — nous nous excusons de citer si longuement les textes que tout le monde connaît ou, du moins, devrait connaître ; mais il n'est jamais inutile de relire Descartes, et on n'a jamais fini d'interpréter ces textes, tellement ils sont riches et denses et pleins de contenu — « enfin le mouvement dont ils parlent, est d'une nature si étrange, qu'au lieu que toutes les autres choses ont pour fin leur perfection, et ne tâchent qu'à se conserver, il n'a point d'autre fin ny d'autre but que le repos ; et, contre toutes les Loix de la Nature, il tâche soy-mesme à se détruire (3). Mais, au contraire, celui que je suppose, suit les mesmes Loix de la Nature que font généralement toutes les dispositions et toutes les qualités qui se trouvent en la matière ; aussi bien celle que les Doctes appellent *Modos et entia rationis cum fundamento in re* (des modes et des êtres de raison avec fondement dans la chose), comme *Qua-*

1. *Le Monde*, p. 40.

2. Cf. *La loi de chute des corps*, p. 48 sq. et plus haut, p. 3 sq.

3. *Le Monde*, p. 40, v. plus haut, l. p. 34. — Descartes interprète mal la doctrine scolastique : ce n'est pas le *mouvement* qui tend au repos, c'est le *mobile*, ce qui est tout autre chose. Mais la mésinterprétation cartésienne est révélatrice : Descartes ne comprend véritablement pas le mouvement des philosophes.

litas reales (leurs qualités réelles) dans lesquelles je confesse ingénument ne trouver pas plus de réalité que dans les autres. »

Le mouvement, comme le repos, est un *état*. Et comme tel, il obéit aux lois générales de la Nature, c'est-à-dire aux lois de la persistance et de la conservation que Dieu a établies pour elle.

Aussi (1) « sans m'engager plus avant dans ces considérations Métaphysiques, je mettrai icy deux ou trois des principales règles, suivant lesquelles il faut penser que Dieu fait agir la Nature...

« La première est : Que chaque partie de la matière, en particulier, continuë toujours d'être en un mesme état, pendant que la rencontre des autres ne la contraint point de le changer. C'est-à-dire que : 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 continuëra toujours, avec une égale force, jusqu'à ce que les autres l'arrêtent ou la retardent. » — Tout changement, on le voit bien, a besoin d'une cause. Bien plus : pour Descartes qui a banni de la nature toutes les formes — qualités ou forces — de la physique traditionnelle, tout changement a besoin d'une cause extérieure (c'est bien cela, dirait Aristote, tout mouvement a besoin d'un moteur). Aussi aucun corps ne peut-il changer et se modifier de lui-même, spontanément. Et ne peut spontanément modifier son état. Ne peut, en particulier, *se mettre de lui-même en mouvement* (2). Mais étant en mouvement, il reste en mouvement. Il ne peut s'arrêter de lui-même : le mouvement, en effet, n'est plus un changement. Le mobile, sans doute, change de place ; mais ceci, dans le monde cartésien, est-ce encore un changement (3) ?

« Il n'y a personne (4) qui ne croie que cette mesme Règle s'observe dans l'ancien Monde, touchant la grosseur, la figure, le repos et mille autres choses semblables ; mais les Philosophes en ont excepté le Mouvement, qui est pourtant la chose que je désire le plus expressément y comprendre. Et ne pensez pas pour cela que j'aye dessein de les contredire : le mouvement dont ils parlent, est si fort différent

1. *Le Monde*, p. 38.

2. Aussi le Dieu cartésien est-il obligé de créer le mouvement par un acte spécial de sa volonté. Il ne lui suffit pas de créer la matière.

3. Cf. E. MEYERSON, *Identité et Réalité* ³, p. 123 sq.

4. *Le Monde*, p. 38.

de celui que j'y conçois, qu'il se peut aisément faire que ce qui est vray de l'un, ne le soit pas de l'autre. »

Nous avons dit plus haut, et nous ne pouvons que le répéter (1) : « Descartes a parfaitement raison : son mouvement-état, le mouvement de la physique classique, n'a plus rien de commun avec le mouvement-processus d'Aristote, et de la scolastique. Et c'est là la raison pour laquelle ils obéissent, dans leur être, à des lois parfaitement différentes : tandis que dans le Cosmos bien ordonné d'Aristote le mouvement-processus a, d'une manière évidente, besoin d'une cause qui l'entretienne, dans le monde-étendue de Descartes, le mouvement-état se maintient, évidemment, de lui-même, et se poursuit indéfiniment dans l'infini de l'espace pleinement géométrisé que la philosophie cartésienne a ouvert devant lui. »

Mais n'allons pas trop vite. Nous n'avons pas encore — loin de là — épuisé l'essence particulière du mouvement cartésien.

Le mouvement, avons-nous dit, est un état. Mais il est en outre — et en premier lieu — une quantité. Il y a, dans le monde, une quantité déterminée de mouvement. Et chaque corps qui se meut en possède une, parfaitement déterminée, elle aussi. Or, dans toutes les actions, c'est-à-dire, dans tous les « passages » du mouvement d'un mobile à un autre, ou, pour parler le langage cartésien, chaque fois que le mouvement change de sujet — ce qui ne peut se faire que par rencontre ou contact — il obéit à la règle suivante (2) : « quand un corps en pousse un autre, il ne sçaurait luy donner aucun mouvement, qu'il n'en perde en mesme temps autant du sien ; ny luy en oster, 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. Car, ayant supposé la précédente, nous sommes exempts de la peine où se trouvent les Doctes, quand ils veulent rendre raison de ce qu'une pierre continuë de se mouvoir quelque temps après estre hors de la main de celui qui l'a jettée : car on nous doit plutôt demander, pourquoy elle ne continuë pas toujours de se mouvoir ? Mais la raison est facile à rendre. Car qui est-ce qui peut nier que l'air, dans lequel elle se remuë ne lui fasse quelque résistance ? » — D'où il suit que la vieille question : *a quo moveantur projecta* ? qui a tant préoccupé les doctes

1. *La loi de la chute des corps*, p. 49.

2. *Le Monde*, p. 41.

et a fait couler tant d'encre, reçoit sa solution définitive et fort simple : *a motu*, ou *a seipso* ou, si l'on préfère, *a nihilo*, puisque la continuation du mouvement des *projecta* est impliquée dans le fait même de leur mouvement. Solution qui nous montre que ce problème célèbre était tout simplement un faux problème. Une question mal posée. D'où il s'ensuit immédiatement que, si l'on supprime la résistance extérieure (de l'air, etc.), le mobile, conservant son mouvement ne s'arrêtera, et même ne se ralentira jamais.

Remarquons cependant que résister au mouvement d'un mobile veut dire recevoir ou, si l'on préfère, absorber du mouvement. Car le corps ne s'arrête, ni même ne ralentit son mouvement que s'il peut le céder — tout ou partie — à un autre. Le mouvement, c'est-à-dire la quantité du mouvement, est constant dans le monde. Aussi (1), « si l'on manque d'expliquer l'effet de la résistance suivant notre seconde Règle, et que l'on pense que, plus un corps peut résister, plus il soit capable d'arrêter le mouvement des autres, ainsi que peut-estre d'abord on se pourroit persuader : on aura derechef bien de la peine à rendre raison pourquoy le mouvement de cette pierre s'amortit plutôt en rencontrant un corps mol, et dont la résistance est médiocre, qu'il ne fait, lors qu'elle en rencontre un peu dur et qui luy résiste davantage ? comme aussi pourquoy, si-tost qu'elle a fait un peu d'effort contre ce dernier, elle retourne incontinent comme sur ses pas, plutôt que de s'arrêter ny d'interrompre son mouvement pour son sujet ? Au lieu que, supposant cette Règle, il n'y a point du tout en cecy de difficulté : car elle nous apprend que le mouvement d'un corps n'est pas retardé par la rencontre d'un autre à proportion de ce que celui-cy luy résiste, mais seulement à proportion de ce que la résistance en est surmontée, et qu'en luy obéissant, il reçoit en soy la force de se mouvoir que l'autre quitte. »

C'est très profond. C'est aussi très ingénieux. La conception cartésienne permettrait d'expliquer, disons-le en passant, le phénomène de la résistance au mouvement du corps immobile ; phénomène qui avait tellement frappé Kepler, et qui, mal compris par ce dernier, l'avait conduit à formuler sa conception de l'*inertie* interne et essentielle de la matière (2) : le corps, en tant que tel, ne résiste aucunement au mouvement ; il l'absorbe et en prend à celui qui le pousse. Elle permet, en tout cas, à Descartes d'expliquer, ainsi que nous le

1. *Le Monde*, p. 41.

2. V. plus haut, p. 40.

verrons plus bas, le phénomène du rejaillissement du corps après le choc ; et cela dans une physique qui ne laisse aucune place à l'élasticité (1).

Mais revenons au passage que nous venons de citer. Descartes y semble justifier sa conception par un appel à l'expérience. Ne nous y trompons pas cependant : Descartes sait fort bien que l'expérience, du moins l'expérience journalière, l'expérience brute, ne peut nous servir à établir les vrais fondements de la physique. Tout au contraire. L'expérience nous montre des corps qui, bien loin de continuer indéfiniment leur mouvement, s'arrêtent à peine lancés ; elle ne peut que nourrir nos préjugés. Ce n'est pas elle, c'est la raison qui nous découvre la vérité, car (2) « encore que tout ce que nos sens ont jamais expérimenté dans le vrai Monde, semblât manifestement estre contraire à ce qui est contenu dans ces deux Regles, la raison qui me les a enseignées, me semble si forte, que je ne laisserois pas de croire estre obligé de les supposer dans le nouveau que je vous décris. Car quel fondement plus ferme et plus solide pourroit-on trouver pour establir une verité, encore qu'on le voulût choisir à souhait, que de prendre la fermeté mesme et l'immutabilité qui est en Dieu ? »

L'immutabilité divine, nous ne le savons que trop bien, ne peut — pour Descartes — être autre chose que le fondement métaphysique des lois de conservation. Aussi poursuit-il (3) :

« Or est-il que ces deux Regles suivent manifestement de cela seul que Dieu est immuable, et qu'agissant toujours en mesme sorte, il produit toujours le mesme effet. Car, supposant qu'il a mis certaine quantité de mouvemens dans toute la matiere en general, des le premier instant qu'il l'a créée, il faut avouer qu'il y en conserve toujours autant, ou ne pas croire qu'il agisse toujours en mesme sorte. Et supposant avec cela que des ce premier instant les diverses parties de la matiere, en qui ces mouvemens se sont trouvez inégalement dispersez, ont commencé à les retenir, ou à les transférer de l'une à l'autre, selon qu'elles en ont pu avoir la force, il faut necessairement penser, qu'il leur fait toujours continuer la mesme chose. Et c'est ce que contiennent ces deux Regles. »

1. La physique cartésienne ne connaît que des corps rigides ; ce qui rend le choc impossible. Aussi Huyghens, tout cartésien qu'il fût, s'est-il vu obligé de postuler l'élasticité. Et par cela même de devenir infidèle à Descartes. Sur le physique de Huyghens, cf. le livre déjà cité de M. Mouy, *Le développement de la physique cartésienne*, Paris, 1934.

2. *Le Monde*, p. 43.

3. *Ibid.*

Ainsi donc, le mouvement se conserve. Mais quel mouvement ? Beeckmann, de qui Descartes avait appris cette loi fondamentale (1) (que, pas plus que Beeckmann, il n'estimait alors devoir suspendre à l'immutabilité divine) admettait sans doute la conservation du mouvement rectiligne. Mais aussi celle du mouvement circulaire (2). De plus, Beeckmann et, à sa suite, Descartes n'admettaient la loi de la conservation du mouvement que pour le mouvement *dans le vide*. Or, à l'époque du *Monde*, Descartes n'admet plus l'existence, ni même la possibilité, du vide — seul milieu où le mouvement rectiligne est possible — ; et pourtant, c'est au mouvement rectiligne qu'il limite désormais la loi de la conservation. Ainsi, chose curieuse, Descartes formule le principe d'inertie au moment même où les fondements nouvellement acquis de sa physique en rendent la réalisation rigoureusement impossible. Descartes, d'ailleurs, s'en rend parfaitement compte. Aussi nous dit-il qu'il ne s'agit pas du mouvement réel, effectif, des corps, mais de leur « action » ou « inclination » au mouvement.

« J'ajouterai (3) 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 cy-dessus (4), toutesfois, 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. » — Qu'est-ce que cette « action » ou « inclination » à se mouvoir que Descartes déclare être différente du mouvement même des corps ? Serait-ce, par hasard, une force interne, un *impetus* ? Aucunement. L'« action » ou « l'inclination à se mouvoir » n'est rien d'autre que le mouvement même ; le mouvement qui dure et qui se maintient, et qui passe d'un sujet à un autre ; c'est l'état du mouvement, que Descartes distingue, avec beaucoup de raison, du mouvement accompli, achevé, qui comporte une translation effective et effectuée, un changement de place ou de lieu.

1. Voir plus haut, *La loi de la chute des corps*, p. 26 sq. Cf. *Correspondance du R. P. Marin Mersenne*, vol. II, p. 600 sq., Paris, 1936.

2. V. plus haut, *La loi de la chute des corps*, pp. 41, n. 2.

3. *Le Monde*, p. 43.

4. Cf. *Le Monde*, p. 19, 20.

C'est l'état du mouvement, venons-nous de dire ; état qui dure, mais qui, inversement, existe dans l'instant, ce que Descartes avait appelé jadis « point de mouvement » ou « moment » (1). C'est ce mouvement ponctuel (différentielle de mouvement) qui est toujours dirigé en ligne droite (2) :

« Par exemple, si l'on fait tourner une rouë sur son essieu, encore que toutes ses parties aillent en rond, parce qu'estant jointes l'une à l'autre elles ne sçauraient aller autrement ; toutefois leur inclination est d'aller droit, ainsi qu'il paroist clairement, si par hazard quelqu'une se détache des autres ; car aussi-tost qu'elle est en liberté, son mouvement cesse d'estre circulaire, et se continue en ligne droite. » — Souvenons-nous des longs raisonnements dont avait usé Galilée pour montrer que la force centrifuge est une force tangentielle (3), et comparons-leur la simple remarque dont se contente Descartes (4) :

« De mesme, quand on fait tourner une pierre dans une fronde, non seulement elle va tout droit aussi-tost qu'elle en est sortie ; mais 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 ne va en rond que par contrainte. » — Encore une fois, nous nous excusons d'insister, et de citer. Mais ne le faut-il pas, pour faire sentir la distance qui nous sépare de l'œuvre — exactement contemporaine — de Galilée ? Jamais encore le privilège millénaire du mouvement circulaire n'avait été aussi résolument, et aussi simplement, nié (5).

« Cette Règle est appuyée sur le mesme fondement que les deux autres, et ne dépend que de ce que Dieu conserve chaque chose par une action continuë, et par consequent, qu'il ne la conserve point telle qu'elle peut avoir esté quelque temps auparavant, mais précisément telle qu'elle est au mesme instant qu'il la conserve. Or est-il que, de tous les mouvements, il n'y a que le droit qui soit entièrement simple, et dont toute la nature soit comprise en un instant (6). Car, pour le concevoir, il suffit de penser qu'un corps est en action pour se mouvoir vers un certain costé, ce qui se trouve en chacun des instans qui peuvent estre déterminez pendant le temps qu'il se meut. Au lieu que, pour concevoir le mouvement circulaire, ou quelqu'autre

que ce puisse estre, il faut au moins considerer deux de ses instans, ou plutost deux de ses parties, et le rapport qu'il est entre elles. »

Arrêtons-nous ici un instant. Le passage que nous venons de citer nous paraît d'une importance capitale. Il nous permet, croyons-nous, de comprendre pourquoi Descartes a réussi là où avait échoué Galilée ; autrement dit, pourquoi Descartes est arrivé à formuler le principe d'inertie, ce qui, ainsi que nous l'avons vu, Galilée n'a pas fait, et ne pouvait pas faire.

La raison dernière s'en trouve, sans doute, dans le radicalisme de la pensée cartésienne, qui remplit exactement le programme que nous avait tracé le *Saggiatore*, et qui réduit le réel au mathématique — au géométrique — en excluant de la constitution du corps physique tout ce qui dépasse sa constitution essentielle ; tout, c'est-à-dire, aussi, et surtout, la pesanteur. Nous l'avons déjà dit : Galilée se demande : comment, en fait, procède la nature ? Descartes : comment elle doit se constituer et agir. Galilée, physicien autant, sinon plus, que géomètre, s'arrête devant le fait, se plie devant le réel. Descartes, mathématicien avant tout, refuse de reconnaître le fait. Aussi Galilée nous dit-il (1) que ce n'est pas son affaire de savoir si Dieu avait pu faire un monde infini ; il suffit de savoir qu'en fait, il ne l'a pas fait tel. Et Descartes, au contraire, nous explique que Dieu ne pouvait pas ne pas le créer infini, simplement parce que la finitude de l'espace est absurde.

Au fond, cela pourrait suffire. Les corps galiléens, qui sont, nous l'avons vu, des *graves*, ne peuvent se mouvoir en ligne droite dans n'importe quelle direction. Ils sont nécessairement, et naturellement, entraînés vers le « bas ». Et, de plus, ils ne peuvent, en fait, continuer indéfiniment leur mouvement : la finitude réelle du monde s'y oppose. Rien de tel chez Descartes. Ses corps, corps euclidiens et non plus archimédiens, ne sont entraînés, ni attirés nulle part. Ils n'ont plus aucune tendance, ni qualité interne. Ils n'ont aucun rapport — sauf le rapport spacial — avec leurs voisins ; ils ne les attirent, ni ne les recherchent. Aussi peuvent-ils, indéfiniment, poursuivre dans la même direction leur mouvement une fois commencé.

Sans doute, en fait, ne le peuvent-ils pas. Sans doute, un mouvement ne s'effectue-t-il jamais en ligne droite (si ce n'est par des moyens mécaniques). Mais cela n'a, pour Descartes, aucune importance. Son mouvement, nous venons de l'entendre, est complet dans l'ins-

1. V. plus haut, *La loi de la chute des corps*, pp. 34, n. 3 ; 36.

2. *Le Monde*, p. 44.

3. V. plus haut, pp. 105 sq.

4. *Le Monde*, p. 44.

5. *Le Monde*, p. 44.

6. Souligné par nous.

1. Cf. plus haut, p. 51, n. 2.

tant. Victime, et bénéficiaire cette fois-ci, de ce que nous avons appelé la géométrisation à outrance, il oublie — ce dont s'était souvenu Galilée, qui en a été récompensé par la solution du problème de la chute — le rapport essentiel du mouvement et du temps (1).

Sans doute, pourrait-on dire que le mouvement, chez Galilée, se concentre également dans l'instant ; et que c'est même un de ses grands mérites que d'avoir su formuler la notion de moment, vitesse instantanée, élément (ou différentielle) du mouvement ; notion que nous avons nous-même affirmé être identique à la notion cartésienne du « moment » (2). Et l'on pourrait ajouter que Descartes ne dit pas que le mouvement pourrait ne pas employer de temps pour se réaliser, ou qu'il pourrait se réaliser en un seul instant ; bien plus, il le nie expressément et (3) qu'« afin que les Philosophes, ou plutôt les Sophistes, ne prennent pas icy occasion d'exercer leurs subtilitez superflues », il nous demande de remarquer qu'il « ne dit pas, pour cela, que le mouvement droit se puisse faire en un instant ; mais seulement, que tout ce qui est requis pour le produire, se trouve dans les corps en chaque instant qui puisse être déterminé pendant qu'ils se meuvent, et non pas tout ce qui est requis pour produire le circulaire ». — Il n'en reste pas moins vrai que le mouvement cartésien, tel qu'il nous le présente lui-même, n'a qu'un rapport indirect avec le temps ; et que la conception cartésienne diffère, par là-même, de celle que s'en fait Galilée.

Le mouvement dont Descartes nous avait dit qu'il est le seul qu'il connaisse, *le mouvement des géomètres*, est avant tout une translation. Et c'est ce que toujours il restera. Or, le mouvement galiléen, ou, si l'on préfère, le mouvement tel que le voit Galilée, est avant tout une vitesse. Toute translation, sans doute, se fait avec une certaine vitesse, et toute vitesse implique une translation ; aussi les derniers éléments dont se compose le mouvement sont-ils équivalents chez Galilée et Descartes. Cependant, vitesse et translation ne sont pas la même chose ; et le fait de mettre l'accent sur l'un ou sur l'autre de ces aspects du mouvement n'est pas indifférent. Car il n'est pas vrai, ainsi que nous venons de le dire, que toute translation implique une vitesse ; toute translation réelle, sans doute ; non pas la translation géométrique.

1. Cf. plus haut, *La loi de la chute des corps*, pp. 55 sq.

2. *Ibid.*, p. 56, n. 1.

3. *Le Monde*, p. 45.

Le « mouvement » du point qui forme la ligne ; le « mouvement » de la ligne qui forme le plan, ces « mouvements » n'ont pas de vitesse. Et n'ayant pas de vitesse, ils ne sont pas dans le temps. Or, c'est sur le modèle de ces « mouvements » intemporels que Descartes oriente sa notion du mouvement, notion qu'il déclare être simple et facile ; être la plus simple, la plus facile, la plus claire de nos idées. Sans doute. Ce qui fait l'obscurité de la notion du mouvement, c'est justement sa connexion avec celle du temps. Et l'on comprend bien que les philosophes qui ont étudié le mouvement *temporel*, n'ont pu le définir que d'une façon fort obscure. Et que Descartes, ayant, de son mouvement, éliminé le temps, et remplacé le *devenir* par l'*être* n'y trouve plus de trace de cette obscurité.

Mais peut-on parler du mouvement géométrique ? Le mouvement intemporel, est-ce encore du mouvement ? Autrement dit, que reste-t-il du mouvement dont on a « éliminé » le temps ? Et en reste-t-il quelque chose ?

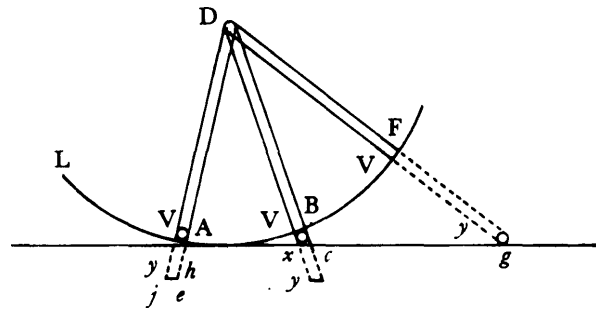
Éliminer le temps, n'est-ce pas arrêter le mouvement ? Sans nul doute : l'arrêter ou le déployer. Aussi ce qui reste du mouvement dont on a supprimé le caractère temporel, c'est justement ce qui est, en lui, immobile : position, direction, trajectoire, rapport fonctionnel. La géométrisation à outrance, à laquelle succombe Descartes, défait l'œuvre du temps — image mobile de l'éternité immobile, — et nous présente une image immobile et achevée de l'inachèvement essentiel du mouvement. Mais aussi permet-elle à Descartes de comprendre l'infini du mouvement dans l'instant.

Remplacer le mouvement par la trajectoire, c'est très grave. Et même fort dangereux. Cela conduit quelquefois à l'erreur (1). D'autres fois, cependant, cela conduit à la vérité. En effet, il est très difficile de savoir, par exemple, du mouvement circulaire et du mouvement rectiligne, quel est le plus simple, — mais il est très facile de voir que la droite est plus simple que le cercle (2) ; que le cercle, comme toute courbe, est une droite que l'on a recourbée ; et que donc le mouvement qui suit une ligne droite et qui a en chaque point la même direc-

1. Cf. *La loi de la chute des corps*, p. 7 sq. ; 33 sq.

2. Cela est simple surtout pour Descartes : l'équation du cercle est d'un degré supérieur à celle de la droite.

tion, est plus simple que celui qui décrit un cercle et qui doit, en chaque point, en changer. Et alors on n'a pas besoin d'une longue discussion pour comprendre que (1), « par exemple, si une pierre se meut dans une fronde, suivant le cercle marqué AB, et que vous la considérez précisément telle qu'elle est à l'instant qu'elle arrive au point A, vous trouvez bien qu'elle est en action pour se mouvoir, car elle ne s'y arrête pas, et pour se mouvoir vers un certain costé, à sçavoir vers C, car c'est vers là que son action est déterminée en cet instant ; mais vous n'y sçauriez rien trouver qui fasse que son mouvement soit circulaire. Si bien que, supposant qu'elle commence pour lors à sortir de la fronde, et que Dieu continué de la conserver telle qu'elle est en ce moment, il est certain qu'il ne la conservera point avec l'inclination d'aller circulairement suivant la ligne AB, mais avec celle d'aller tout droit vers le point C. »



Ainsi, c'est la géométrisation à outrance qui facilite, pour Descartes la victoire de la droite sur le cercle. Victoire qu'il s'empresse d'ailleurs, de fonder, assez curieusement, en Dieu (2). « Donc, suivant cette Règle, il faut dire que Dieu seul est l'Autheur de tous les mouvemens qui sont au monde, entant qu'ils sont, et entant qu'ils sont droits ; mais ce sont les diverses dispositions de la matiere qui les rendent irreguliers et courbez. Ainsi que les Theologiens nous apprennent, que Dieu est aussi l'Autheur de toutes nos actions, en tant qu'elle sont, et entant qu'elles ont quelque bonté ; mais que ce sont les diverses dispositions de nos volonte, qui les peuvent rendre vicieuses. »

2. Les Principes

Les *Principes*, en ce qui concerne le problème qui nous occupe — la découverte et la formulation du principe d'inertie — n'apportent pas grand'chose de nouveau. Et ce qu'ils apportent n'est pas toujours un progrès. Sauf dans l'ordre. Ainsi la substructure et le fondement épistémologique et métaphysique de la physique sont développés expressément et systématiquement et mis à leur place au début de l'ouvrage ; l'exposé est devenu plus net, plus sobre, plus précis, plus détaillé ; plus scolaire, pour tout dire. La nonchalance primesautière du *Monde* a disparu. Cela se comprend : les *Principes*, c'est une deuxième édition et qui ne s'adresse pas au même public. La première, en effet, s'adressait à l'honnête homme ; la deuxième est un manuel qui s'adresse aux écoles.

De plus, avec le temps qui s'est écoulé depuis 1630, Descartes a grandi. Et sa position dans le monde s'est bien modifiée. Il n'est pas l'inconnu de jadis ; il est le célèbre, le grand philosophe, admiré par les uns, combattu par les autres. Il est chef d'école. Or, ceci, nécessairement, implique un changement dans le ton. Enfin, et ceci a une grande importance, Descartes, plus âgé, est devenu plus prudent. Trop prudent même, au gré de certains. L'histoire de Galilée, ses propres histoires... Descartes se croit obligé de prendre des précautions. Assez maladroitement, d'ailleurs. Car si le Copernicanisme qui s'étalait si largement dans le *Monde* a disparu des *Principes* ou, plus exactement, s'il y est masqué par une bizarre et curieuse théorie du mouvement, l'infinité du monde y est, par contre, expressément affirmée (1).

« Nous sçaurons aussi que ce monde ou la matière estendue qui compose l'univers, n'a point de bornes, pour ce que, quelque part où nous en vueillions feindre, nous pouvons encore imaginer au delà des espaces indéfiniment estendus, que nous n'imaginons pas seulement, mais que nous concevons estre tels en effet que nous les imaginons : de sorte qu'ils contiennent un corps indéfiniment estendu, car... l'idée de l'estenduë que nous concevons en quelque espace que ce soit est la vraie idée que nous devons avoir du corps. »

1. *Le Monde*, p. 45 sq.

2. *Le Monde*, p. 46.

1. *Principes de Philosophie*, II, 21 (A. T., v. IX, 2, p. 74).

Les lois fondamentales de la Nature sont, dans les *Principes*, les mêmes que dans le *Monde* ; et les deux rédactions ne diffèrent que par l'ordre dans lequel elles sont présentées, et aussi par une insistance plus grande, dans les *Principes*, sur la substructure métaphysique de ces lois.

L'ordre que suivent les *Principes* — Descartes intervertit la place de la deuxième et de la troisième Règle — est, à tout prendre, plus logique, que celui qui avait été adopté par le *Monde*. Les lois de la Nature sont désormais rangées selon le degré de spécification croissante. Ainsi la première Règle pose la loi de la conservation du mouvement, la deuxième précise qu'il s'agit de mouvement rectiligne, la troisième, enfin, détermine les lois de la communication des mouvements.

La première loi, ou règle, de la Nature, s'appuie, comme dans le *Monde*, sur le principe général de la conservation (1). « De cela aussi que Dieu n'est point sujet à changer, et qu'il agit tous-jours de mesme sorte, nous pouvons parvenir à la connoissance de certaines regles, que je nomme les loix de la nature, et qui sont les causes secondes... des divers mouvemens que nous remarquons en tous les corps ; ce qui les rend icy fort considerables. La premiere est que chaque chose en particulier... continuë d'estre en mesme estat autant qu'il se peut, et que jamais elle ne le change que par la rencontre des autres. Ainsi nous voyons tous les jours, lors que quelque partie de cette matiere est quarrée,... qu'elle demeure tous-jours quarrée, s'il n'arrive rien d'ailleurs qui change sa figure ; et que, si elle est en repos,... elle ne commence point à se mouvoir de soy-mesme. Mais lors qu'elle a commencé une fois de se mouvoir, nous n'avons aussi aucune raison de penser qu'elle doive jamais cesser de se mouvoir de mesme force ..., pendant qu'elle ne rencontre rien qui retarde ou qui arreste son mouvement. De façon que, si un corps a commencé une fois de se mouvoir, nous devons conclure qu'il continuë par après de se mouvoir, et que jamais il ne s'arreste de soy-mesme. » — Comme dans le *Monde*, Descartes nous explique que la croyance contraire, c'est-à-dire la croyance à l'arrêt spontané du corps en mouvement, n'est qu'un préjugé fondé sur des expériences mal comprises et « qui répugne manifestement aux loix

de la nature ; car le repos est contraire au mouvement, et rien ne se porte par l'instinct de sa nature à son contraire, ou à la destruction de soy-mesme (1). »

De même que dans le *Monde*, Descartes estime que cette première loi se trouve, au contraire, confirmée par l'expérience journalière bien comprise ; et que le problème *a quo moveantur projecta* se trouve, par là même, résolu (2) : « Nous voyons tous les jours la preuve de cette premiere regle dans les choses qu'on a poussées au loin. Car il n'y a point d'autre raison pourquoy elles continuent... de se mouvoir, lors qu'elles sont hors de la main de celui qui les a poussées, sinon que, suivant la loix de la nature, tous les corps qui se meuvent continuent de se mouvoir jusques à ce que leur mouvement soit arrêté par quelques autres corps... Et il est évident que l'air et les autres corps liquides, entre lesquels nous voyons ces choses se mouvoir, diminuent peu à peu la vitesse de leur mouvement. »

La deuxième loi, également déduite de l'immutabilité divine, sera, elle aussi, confirmée par l'expérience (3). « La seconde loy que je remarque en la nature est que chaque partie de la matiere, en son particulier, ne tend jamais à continuer de se mouvoir suivant des lignes courbes, mais suivant des lignes droites, bien que plusieurs de ces parties soient souvent contraintes de se détourner, pource qu'elles en rencontrent d'autres en leur chemin, et que ..., lors qu'un corps se meut, il se fait tous-jours un cercle ou anneau de la matiere qui est meuë ensemble. Cette regle, comme la précédente, depend de ce que Dieu est immuable, et qu'il conserve le mouvement en la matiere par une opération tres simple ; car il ne le conserve pas, comme il a pû estre quelque temps auparavant, mais comme il est précisément au mesme instant qu'il le conserve. Et bien qu'il soit vray que le mouvement ne se fait pas en un instant, neantmoins il est évident que tout corps qui se meut... est déterminé à se mouvoir suivant une ligne droite et non pas suivant une circulaire... ; car lors que la pierre A tourne dans la fronde EA suivant le cercle ABF, en l'instant qu'elle est au point A, elle est déterminée à se mouvoir vers quelque costé, à sçavoir vers C, suivant la ligne droite AC, si on suppose que c'est celle-là qui touche le cercle. Mais on ne sçaurait feindre qu'elle soit déterminée à se mouvoir circulairement, pource qu'encore quelle soit venuë d'L vers A suivant une ligne courbe, nous ne concevons

1. *Principes*, II, 37 (A. T., v. IX, 2, p. 84).

1. *Principes*, II, 37 (p. 85).

2. *Principes*, II, 38 (p. 85).

3. *Principes*, II, 39 (p. 85).

point qu'il y ait aucune partie de cette courbure en cette pierre, lorsqu'elle est au point A (1); et nous en sommes asseurez par l'expérience, pource que cette pierre avance tout droit vers C, lors qu'elle sort de la fronde, et ne tend en aucune façon à se mouvoir vers B. Ce qui nous fait voir manifestement que tout corps qui est meu en rond, tend sans cesse à s'éloigner du cercle qu'il décrit. Et nous le pouvons mesme sentir de la main, pendant que nous faisons tourner cette pierre dans cette fronde (2). »

On le voit bien : la formulation et la déduction des deux premières lois de la nature ne diffèrent pas de celles qu'avait données le *Monde*; c'est simplement un peu plus sobre; un peu plus terne; un peu plus pauvre. Mais l'énoncé de la troisième apporte des précisions nouvelles sur la communication et l'échange des mouvements et fonde ses règles concrètes (presque toutes fausses, d'ailleurs) (3) : « La troisième loy que je remarque en la nature, est que, si un corps qui se meut et qui en rencontre un autre, a moins de force, pour continuer de se mouvoir en ligne droite, que cet autre pour luy resister, il perd la determination, sans rien perdre de son mouvement; et que, s'il a plus de force, il meut avec soy cet autre corps, et perd autant de son mouvement qu'il luy en donne. Ainsi nous voyons qu'un corps dur, que nous avons poussé contre un autre plus grand qui est dur et ferme, rejaillit vers le costé d'ou il est venu, et ne perd rien de son mouvement; mais que, si le corps qu'il rencontre est mol, il s'arreste incontinent, pource qu'il luy transfere son mouvement... »

Les règles concrètes de la communication des mouvements, données par Descartes, sont, on le sait bien, presque toutes fausses; mais, nous l'avons dit bien souvent, les erreurs d'un Descartes sont aussi intéressantes, et instructives, que ses découvertes. Aussi aurons-nous à y revenir, et à nous demander la raison de l'erreur cartésienne, erreur qui fut, à notre avis, plus souvent réfutée qu'expliquée, si tant est qu'elle le fût jamais entièrement (4).

Mais pour l'instant c'est une autre question qui se pose devant nous, à savoir, quel est ce mouvement dont Descartes nous énonce les lois? Car, nous venons de le mentionner, les *Principes* ne nous

présentent pas exactement la même conception du mouvement que nous avons trouvée dans le *Monde*. Le *Monde* partait d'une notion purement géométrique. Les *Principes* essayent de nous en donner une définition physique, fondée sur le principe de la relativité du mouvement. Aussi — et pour d'autres raisons encore — la définition cartésienne ne s'oppose-t-elle plus aussi violemment que jadis à la définition scolastique, mais y est étroitement rattachée (1). — « Le mouvement (à sçavoir celui qui se fait d'un lieu en un autre, car je ne conçois que celui-là et ne pense pas aussi qu'il en faille supposer d'autre en la nature), le mouvement donc, selon qu'on le prend d'ordinaire, n'est autre chose que l'action par laquelle un corps passe d'un lieu en un autre. Et tout aussi que nous avons remarqué qu'une mesme chose en mesme temps change de lieu et n'en change point (2), de mesme nous pouvons dire qu'en mesme temps elle se meut et ne se meut point (3)... » « Mais si, au lieu de nous arrêter à ce qui n'a point d'autre fondement que l'usage ordinaire, nous désirons sçavoir ce que c'est que le mouvement selon la vérité, nous dirons, afin de luy attribuer une nature qui soit déterminée, qu'il est le transport d'une partie de la matiere ou d'un corps, du voisinage de ceux qui le touchent immédiatement, et que nous considerons comme en repos, dans le voisinage de quelques autres... Et je dy qu'il est le transport et non pas la force ou l'action qui transporte, afin de monstrier que le mouvement est tousjours dans le mobile et non pas en celui qui meut (4). » Et « pource qu'il ne s'agit pas icy de l'action qui est en celui qui meut ou qui arreste le mouvement... il est évident que ce transport n'est rien hors du corps qui est meu; mais que seulement un corps est autrement disposé, lors qu'il est transporté, que lors qu'il n'est pas; de sorte que le mouvement et le repos ne sont en luy que deux diverses façons (5)... » De plus, Descartes affirme « que le mouvement en sa propre signification ne se rapporte qu'aux corps qui touchent celui qu'on dit se mouvoir »

1. Cf. P. DUHEM, *Le mouvement absolu et le mouvement relatif*, Montligeon, 1907, pp. 179, sq.

2. Descartes donne l'exemple de l'homme assis à la poupe d'un vaisseau que le vent emporte hors du port, et qui se meut par rapport à la terre, sans qu'il se meuve par rapport au navire.

3. *Principes*, II, 24 (p. 75).

4. *Principes*, II, 26 (p. 76). Ceci s'oppose à la doctrine scolastique selon laquelle le mouvement est dans le moteur autant et même davantage que dans le mobile.

5. *Principes*, II, 27 (p. 77).

1. Personne n'a sans doute jamais imaginé de courbure dans la pierre... Descartes isole la pierre du reste du monde et envisage le mouvement dans l'instant.

2. V. le dessin de la p. 172.

3. *Principes*, II, 40 (pp. 86 sq.).

4. Le rôle joué par Beeckmann semble avoir été rien moins que négligeable. Cf. *Correspondance du R. P. Marin Mersenne*, publiée par M. Cornélis DE WAARD, vol. II, p. 600 sq.

et même qu'il ne se rapporte qu'à ceux des corps « que nous considérons comme en repos (1) ». Car il est « réciproque (2)... »

M. Mouy, un des plus récents et des plus pénétrants historiens de la physique cartésienne, résume fort bien ces passages dans lesquels s'épanouit et s'affirme la notion la plus rigoureuse de la relativité du mouvement : « Le mouvement est donc, *non un être*, mais une « façon » du corps transporté : il est tout relatif et purement cinétique ; il n'y a aucune force cachée derrière lui (3). » Comment donc, n'étant pas un être, mais une simple « façon », ce mouvement se conserve-t-il dans le monde ? Descartes nous le dit, et même, par rapport au *Monde*, avec une précision bien accrue.

« Après avoir examiné la nature du mouvement, il faut que nous en considérons la cause, et pource qu'elle peut estre prise en deux façons, nous commencerons par la première et plus universelle, qui produit généralement tous les mouvemens qui sont au monde ; nous considererons par apres l'autre..., qui fait que chaque partie de la matiere en acquert qu'elle n'avoit pas auparavant. Pour ce qui est de la *première* il me semble qu'il est évident qu'il n'y en a point d'autre que Dieu, qui de sa *Toute puissance* a créé la matière avec le mouvement et le repos, et qui conserve maintenant en l'univers, par son concours ordinaire, autant de mouvement et de repos qu'il y en a mis en le creant. Car, bien que le mouvement ne soit qu'une *façon* en la matière qui est meuë, elle en a pourtant une certaine quantité... qui n'augmente et ne diminue jamais..., encore qu'il y en ait tantost plus et tantost moins en quelques unes de ses parties. C'est pourquoy, lors qu'une partie de la matiere se meut deux fois plus vite qu'une autre, et que cette autre est deux fois plus grande que la première, nous devons penser qu'il y a tout autant de mouvement dans la plus petite que dans la plus grande ; et que toutefois et quantes que le mouvement d'une partie diminue, celui de quelque autre partie augmente à proportion (4). »

Ainsi donc ce serait ce mouvement réciproque, relatif, et purement cinétique qui, créé par Dieu, et maintenu par lui dans le monde, s'y conserverait éternellement avec la même quantité. Descartes nous le dit formellement. Et pourtant... M. Mouy, qui a fort bien étudié les lois du choc proposées par Descartes remarque, très justement,

1. *Principes*, II, 29 (p. 78).

2. *Principes*, II, 29 (p. 78).

3. Voir P. MOUY, *Le développement de la physique cartésienne*, Paris, 1934, p. 19.

4. *Principes*, II, 36 (p. 83).

que la « manière de considérer le mouvement [y] est en désaccord complet avec la relativité que Descartes lui avait attribuée en principe (1) ». Or, l'erreur de Descartes ne s'explique pas seulement par le fait que Descartes « a voulu se conformer à l'expérience, en utilisant des notions qui sont trop simples encore pour s'y adapter (2) », mais encore, et même surtout, par le fait que Descartes, pour lui-même, n'a jamais pris au sérieux, et n'a jamais employé comme base de ses déductions la notion relativiste qu'il vient d'exposer si longuement. En effet, ce n'est pas seulement avec les lois du choc que la relativité cinétique du mouvement se révèle incompatible. Elle l'est déjà avec celle de la conservation du mouvement, comprise, comme Descartes veut expressément la comprendre, comme conservation de la *quantité* de mouvement ; car il est évident que si l'on attribue — ce à quoi la réciprocité et la relativité cinétique nous donneraient le droit — la *même vitesse* tantôt au grand, tantôt au petit corps qui se rapprochent ou s'éloignent l'un de l'autre, on obtiendra des *quantités de mouvement* très différentes. Or, on ne peut admettre que Descartes soit resté insensible à des contradictions aussi flagrantes ; ni qu'elles lui aient échappé.

L'ultra-relativisme de sa notion du mouvement n'est pas originel chez Descartes. Il ne l'adopte, croyons-nous, que pour pouvoir concilier l'astronomie copernicienne, ou, plus simplement, la mobilité de la terre, visiblement impliquée par sa physique (3), avec la doctrine officielle de l'Eglise. Effort qui n'aboutit qu'à rendre la mécanique cartésienne contradictoire et obscure. Or, si la mécanique cartésienne est fausse, elle n'est pas contradictoire, et les lois — inexacts sans doute — du choc que formule Descartes découlent, très logiquement, de sa conception propre du mouvement, conception qu'il avait très clairement exposée dans le *Monde*. Et par là-même, elles nous éclairent celle-ci.

Revenons donc au *Monde*. Descartes, on s'en souvient, y avait expressément assimilé, ou même identifié, le status ontologique du

1. P. MOUY, *op. cit.*, p. 22.

2. P. MOUY, *op. cit.*, p. 22. Le phénomène du choc n'est, d'ailleurs, simple qu'en apparence — c'est ce que veut dire M. Mouy — et ce fut le grand mérite de Huyghens (Cf. Mouy, *op. cit.*, pp. 192 sq.) que d'en avoir débrouillé la complexité réelle et, par là même, jeté bas la construction cartésienne.

3. Voir là-dessus les remarques pénétrantes de M. MOUY, *op. cit.*, p. 22 sq.

mouvement et du repos. Ce qui nous avait tout de suite fait comprendre pourquoi le mouvement cartésien — à l'encontre de celui d'Aristote — pouvait perdurer sans moteur et sans cause. Mais toute équation, et toute identification, peuvent être lues dans deux sens opposés ; ainsi nous avons assimilé le mouvement au repos ; il faut maintenant, inversement, assimiler le repos au mouvement. Il faut donc, — puisque, selon Descartes, le repos a autant de *réalité* que le mouvement — ne plus envisager le repos comme un état simplement négatif, comme une absence de mouvement, mouvement infiniment lent, etc., etc. ; mais comme un état possédant une réalité, une puissance d'action et de réaction positive. Il ne suffit donc pas de dire qu'un corps en repos possède une quantité de mouvement égale à zéro. Il faut dire, en plus, qu'il possède une certaine quantité de *repos* (1). C'est justement grâce à cette « quantité de repos » qu'ils possèdent que les corps résistent et s'opposent à leur « mise en mouvement ».

Le mouvement, dans la physique cartésienne, est le principe de séparation. Le repos, inversement, est celui de liaison et de cohésion. C'est même le seul principe de cohésion de cette physique. Deux parties qui « s'entretouchent », ou même qui, simplement, sont en repos l'une par rapport à l'autre, sont de ce fait même liées ; de telle façon « qu'il est besoin de quelque force pour les séparer, si peu que ce puisse être ; car étant une fois ainsi posées elles ne s'aviseroient jamais d'elles-mêmes de se mettre autrement (2). » Et c'est le repos relatif des parties d'un corps qui en forme l'unité et même la dureté, « car quelle colle ou quel ciment y pourrait-on imaginer, outre cela, pour les mieux faire tenir l'un à l'autre » ? (3) ...

Ainsi le repos est une force positive. Les *Principes* nous le disent expressément (4). Mais quelle est sa grandeur ou, pour parler le langage cartésien, sa quantité ? Il est clair — pour Descartes du moins — que

1 La notion du repos comme réalité positive, ainsi que celle de la quantité de repos, se trouve chez Chazdaï Crescas, cf. H. A. WOLFSOHN, *Crescas' Critique of Aristotle*, Cambridge (Mass.), 1929, p. 287 sq.

2. *Le Monde*, p. 12.

3. *Le Monde*, p. 13.

4. *Principes*, II, 43 (p. 88) : « ... il faut remarquer que la force dont un corps agit contre un autre corps ou résiste à son action, consiste en cela seul que chaque chose persiste autant qu'elle peut à demeurer au même état où elle se retrouve, conformément à la première loi qui a été exposée ci-dessus... De façon qu'un corps qui est joint à un autre corps, a quelque force pour empêcher qu'il n'en soit séparé ; et que lors qu'il en est séparé, il a quelque force pour empêcher qu'il ne lui soit joint ; et aussi que, lors qu'il est en repos, il a de la force pour demeurer en ce repos et pour résister à tout ce qui pourroit le faire changer. » Cf. 44. *Que le mouvement n'est pas contraire à un autre mouvement, mais au repos.*

pour un corps donné, elle est exactement égale à la quantité de mouvement que possède un corps *de dimensions égales* qui se meut d'une façon quelconque par rapport au corps en repos. La quantité de repos est ainsi, en quelque sorte, une grandeur variable, qui est, pourrait-on dire, fonction de la vitesse du corps en mouvement ; conséquence inévitable de la relativité *physique*, c'est-à-dire *dynamique*, du mouvement. Il s'ensuit, nécessairement, que pour chaque couple de corps dont l'un est en repos et l'autre en mouvement, les rapports des forces de repos et de mouvement sont les mêmes que ceux de leurs dimensions. Aussi lorsque Descartes nous dit que, quelle que soit la vitesse d'un petit corps qui frappe un grand, jamais il ne pourra le mettre en mouvement (1) — Galilée, on le sait bien, professe, au contraire, que, quelle que soit la dimension d'un corps en repos, un corps qui le frappe, si petit qu'il soit, lui confère toujours un mouvement — il n'est aucunement induit en erreur par le désir de se conformer à l'expérience (une balle que l'on lance contre un mur rebondit, tandis que le mur, visiblement, ne bouge pas) : il sait parfaitement bien que le cas étudié par lui ne se présente *jamais* dans l'expérience —, mais il tire une conclusion inévitable de la conception du mouvement. Et du repos.

Curieuse et bizarre conception ! Sans doute. Et même, si l'on veut, malheureuse, puisqu'elle conduit Descartes à l'erreur, et la physique cartésienne à l'impasse. Et pourtant, combien, même dans l'erreur, la grandeur cartésienne reste entière ! Car la conception cartésienne est une conséquence, logiquement inévitable, du péché originel — mais combien fécond ! — du cartésianisme : de la géométrisation à outrance. Et ce n'est qu'au prix d'une inconséquence — péché infiniment grave pour un philosophe — que Descartes aurait pu éviter de tomber dans l'erreur.

Le mouvement des géomètres — nous l'avons vu — n'est pas un mouvement réel ; et les « corps » qu'il anime ne sont pas réels, non plus. Strictement parlant, ils ne sont pas plus « en repos » qu'ils ne sont « en mouvement ». Et c'est là la raison dernière pourquoi, en créant son monde, c'est-à-dire en donnant un être réel à l'espace euclidien, le Dieu de Descartes a été obligé d'y créer autant de repos qu'il y créait de mouvement.

1. *Principes*, II, 49 (p. 90) : « Si le corps C estoit tant soit peu plus grand que B, et qu'il fust entièrement en repos... de quelle vitesse que B pust venir vers luy, jamais il n'auroit la force de le mouvoir. »