

« prendre son élan »; qu'un chariot que l'on pousse ou tire démarre lentement et gagne de la vitesse peu à peu; lui aussi prend de l'élan et acquiert sa force vive; de même que chacun — même un enfant qui lance une balle — sait que pour frapper fort le but, il faut se placer à une certaine distance, pas trop près, afin de laisser la balle prendre de la vitesse. La physique de l'*impetus* n'a pas de difficulté à expliquer ce phénomène; de son point de vue, il est parfaitement naturel qu'il faille quelque temps à l'*impetus* pour « s'emparer » du *mobile* — exactement comme la chaleur, par exemple, a besoin de temps pour se répandre dans un corps.

La conception du mouvement qui sous-tend et appuie la physique de l'*impetus* est tout à fait différente de celle de la théorie aristotélicienne. Le mouvement n'est plus interprété comme un processus d'actualisation. Cependant c'est toujours un changement et, comme tel, il faut l'expliquer par l'action d'une force ou d'une cause déterminée. L'*impetus* est précisément cette cause immanente qui produit le mouvement, lequel est *converso modo* l'effet produit par elle. Ainsi l'*impetus impressus* produit le mouvement; il *meut* le corps. Mais en même temps il joue un autre rôle très important : il surmonte la résistance que le milieu oppose au mouvement.

Étant donné le caractère confus et ambigu de la conception de l'*impetus*, il est assez naturel que ses deux aspects et fonctions doivent se fondre et que certains des partisans de la dynamique de l'*impetus* doivent arriver à la conclusion que, du moins dans certains cas particuliers, tels que le mouvement circulaire des sphères célestes ou, plus généralement, le roulement d'un corps circulaire sur une surface plane, ou plus généralement encore dans tous les cas où il n'y a pas de résistance externe au mouvement, comme dans un *vacuum*, l'*impetus* ne faiblit pas, mais reste « immortel ». Cette vue semble assez proche de la loi d'inertie et il est

proche. Toutefois c'est à l'expérience de déterminer si cette différence est sensible et je doute fort de toutes celles que je n'ai pas faites moi-même. » Au contraire l'ami de Descartes, Beeckman, nie péremptoirement la possibilité d'une accélération du projectile et écrit (*Beeckman à Mersenne*, 30 avril 1630, cf. *Correspondance du P. Mersenne*, Paris, 1936, II, p. 457) : « Funditores verò ac pueri omnes qui existimant remotiora fortius ferire quàm eadem propinquiora, certò certius falluntur. » Il admet cependant qu'il doit y avoir quelque chose de vrai dans cette croyance et essaie de 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 aliquamdiu cresceret. »

donc particulièrement intéressant et important de remarquer que Galilée lui-même, qui dans son *De Motu* nous donne l'un des meilleurs exposés de la dynamique de l'*impetus*, nie résolument la validité d'une telle supposition et affirme très vigoureusement la nature essentiellement périssable de l'*impetus*.

Évidemment, Galilée a parfaitement raison. Si l'on comprend le mouvement comme l'effet de l'*impetus* considéré comme sa cause — une cause immanente mais non interne à la manière d'une « nature » — il est impensable et absurde de ne pas admettre que la cause ou force qui le produit doit nécessairement se dépenser et finalement s'épuiser dans cette production. Elle ne peut demeurer sans changement pendant deux moments consécutifs, par conséquent le mouvement qu'elle produit doit nécessairement ralentir et s'éteindre<sup>1</sup>. Ainsi le jeune Galilée nous donne une leçon très importante. Il nous enseigne que la physique de l'*impetus*, quoique compatible avec le mouvement dans un *vacuum*, est comme celle d'Aristote incompatible avec le principe d'inertie. Ce n'est pas la seule leçon que Galilée nous enseigne eu égard à la physique de l'*impetus*. La seconde est au moins aussi précieuse que la première. Elle montre que, comme celle d'Aristote, la dynamique de l'*impetus* est incompatible avec une méthode mathématique. Elle ne conduit nulle part. C'est une voie sans issue.

La physique de l'*impetus* fit très peu de progrès pendant les mille ans qui séparent Jean Philopon de Benedetti. Mais dans les travaux de ce dernier, et de façon plus claire, plus cohérente et plus consciente dans ceux du jeune Galilée, nous trouvons un effort résolu pour appliquer à cette physique les principes de la « philosophie mathématique<sup>2</sup> », sous l'influence évidente, indéniable, d'« Archimède le surhumain<sup>3</sup> ».

Rien n'est plus instructif que l'étude de cet essai — ou, plus exactement, de ces essais — et de leur échec. Ils nous montrent qu'il est impossible de mathématiser, c'est-à-dire de transformer en concept exact, mathématique, la grossière, vague et confuse théorie de l'*impetus*. Il fallut abandonner cette conception afin d'édifier une physique mathé-

1. Cf. Galileo Galilei, *De Motu, Opere*, ed. Naz., I, pp. 314 sq.

2. J.-B. Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum liber*, Taurini, 1585, p. 168.

3. Galileo Galilei, *De Motu*, p. 300.

matique dans la perspective de la statique d'Archimède<sup>1</sup>. Il fallut former et développer un concept nouveau et original du mouvement. C'est ce nouveau concept que nous devons à Galilée.

## IV

Nous connaissons si bien les principes et les concepts de la mécanique moderne, ou plutôt nous y sommes si accoutumés, qu'il nous est presque impossible de voir les difficultés qu'il fallut surmonter pour les établir. Ces principes nous semblent si simples, si naturels, que nous ne remarquons pas les paradoxes qu'ils impliquent. Cependant, le simple fait que les esprits les plus grands et les plus puissants de l'humanité — Galilée, Descartes — eurent à lutter pour les faire leurs, suffit de soi à montrer que ces notions claires et simples — la notion de mouvement ou celle d'espace — ne sont pas aussi claires et simples qu'elles le semblent. Ou bien elles sont claires et simples d'un certain point de vue seulement, uniquement comme partie d'un certain ensemble de concepts et d'axiomes, à part duquel elles ne sont plus du tout simples. Ou bien, peut-être, sont-elles trop claires et trop simples : si claires et si simples que, comme toutes les notions premières, elles sont très difficiles à saisir.

Le mouvement, l'espace — essayons d'oublier pour un moment tout ce que nous avons appris à l'école; essayons de nous représenter ce qu'ils signifient en mécanique. Essayons de nous placer dans la situation d'un contemporain de Galilée, d'un homme accoutumé aux concepts de la physique aristotélicienne qu'il a apprise dans *son* école, et qui, pour la première fois, rencontre le concept moderne de mouvement. Qu'est-ce? En fait, quelque chose d'assez étrange. Quelque chose qui n'affecte d'aucune manière le corps qui en est doué : être en mouvement ou être en repos ne fait pas de différence pour le corps en mouvement ou au repos, ne lui apporte aucun changement. Le corps, en tant que tel, est totalement indifférent à l'un et à l'autre<sup>2</sup>. Par conséquent, nous ne pouvons pas attribuer le mouvement à un corps déterminé considéré en lui-même. Un corps n'est

1. La persistance de la terminologie — le mot *impetus* est employé par Galilée et ses élèves et même par Newton — ne doit pas nous empêcher de constater la disparition de l'idée.

2. Dans la physique aristotélicienne, le mouvement est un processus de changement et affecte toujours le corps en mouvement.

en mouvement qu'en relation avec quelque autre corps que nous supposons être au repos. Tout mouvement est relatif. Et donc nous pouvons l'attribuer à l'un ou l'autre des deux corps, *ad libitum* <sup>1</sup>.

Ainsi, le mouvement semble être une relation. Mais il est en même temps un *état* ; exactement comme le repos est un autre *état*, entièrement et absolument opposé au premier ; en outre, ils sont l'un et l'autre des *états persistants* <sup>2</sup>. La célèbre première loi du mouvement, la loi d'inertie, nous enseigne qu'un corps laissé à lui-même persiste éternellement dans son état de mouvement ou de repos et que nous devons mettre en œuvre une force pour transformer un état de mouvement en état de repos, et *vice versa* <sup>3</sup>. Cependant, l'éternité n'appartient pas à toute espèce de mouvement, mais au seul mouvement uniforme en ligne droite. La physique moderne affirme, comme chacun sait, qu'un corps une fois mis en mouvement, conserve éternellement sa direction et sa vitesse, à condition bien entendu qu'il ne subisse pas l'action de quelque force externe <sup>4</sup>. En outre, l'aristotélicien objectant que, bien qu'il connaisse, c'est un fait, le mouvement éternel, le mouvement éternel circulaire des sphères célestes, il n'a cependant jamais rencontré un mouvement rectiligne persistant, la physique moderne répond : bien sûr ! un mouvement rectiligne uniforme est absolument impossible et ne peut se produire que dans un vide.

Réfléchissons-y et peut-être ne serons-nous pas trop durs pour l'aristotélicien qui se sentait incapable de saisir et d'accepter cette notion inouïe, celle d'une relation-état persistante, substantielle, concept de quelque chose qui, pour lui, apparaissait tout aussi abstrus et tout aussi impossible que nous semblent, à nous, les malencontreuses formes substantielles des scolastiques. Il n'est pas étonnant que l'aristotélicien se soit senti étonné et égaré par ce stupéfiant effort pour expliquer le réel par l'impossible — ou, ce

1. Un corps donné peut, par conséquent, être doté de n'importe quel nombre de mouvements différents qui n'interfèrent pas les uns avec les autres. Dans la physique aristotélicienne aussi bien que dans celle de l'*impetus*, chaque mouvement interfère avec chacun des autres et quelquefois même l'empêche de se produire.

2. Le mouvement et le repos sont ainsi placés sur le même niveau ontologique ; la persistance du *mouvement* devient donc aussi évidente d'elle-même, sans qu'il soit besoin de l'expliquer, que l'avait été précédemment la persistance du *repos*.

3. En termes modernes : dans la dynamique aristotélicienne et dans celle de l'*impetus*, la force produit le mouvement ; dans la dynamique moderne, la force produit l'accélération.

4. Ceci implique nécessairement l'infinité de l'Univers,

qui revient au même — pour expliquer l'être réel par l'être mathématique parce que, comme je l'ai déjà dit, ces corps qui se meuvent en lignes droites dans un espace vide infini ne sont pas des corps réels se déplaçant dans un espace réel, mais des corps mathématiques se déplaçant dans un espace mathématique.

Encore une fois, nous sommes si habitués à la science mathématique, à la physique mathématique, que nous ne sentons plus l'étrangeté d'un point de vue mathématique sur l'Être, l'audace paradoxale de Galilée déclarant que le livre de la Nature est écrit en caractères géométriques<sup>1</sup>. Pour nous, cela va de soi. Mais non pour les contemporains de Galilée. Par conséquent, ce qui constitue le véritable sujet du *Dialogue sur les deux plus grands systèmes du monde*, c'est le droit de la science mathématique, de l'explication mathématique de la Nature, par opposition à celle non mathématique du sens commun et de la physique aristotélicienne, bien plus que l'opposition entre deux systèmes astronomiques. C'est un fait que le *Dialogue*, comme je crois l'avoir montré dans mes *Études galiléennes*, n'est pas tant un livre sur la science, au sens que nous donnons à ce mot, qu'un livre sur la philosophie — ou, pour être tout à fait exact et employer une expression tombée en désuétude mais vénérable, un livre sur la *philosophie de la Nature* — pour la bonne raison que la solution du problème astronomique dépend de la constitution d'une nouvelle Physique; laquelle à son tour implique la solution de la question philosophique du rôle que jouent les mathématiques dans la constitution de la science de la Nature.

Le rôle et la place des mathématiques dans la science n'est pas en fait un problème très nouveau. Bien au contraire : pendant plus de deux mille ans, il a fait l'objet de la méditation, de la recherche et de la discussion philosophiques. Galilée en est parfaitement conscient. Rien d'étonnant à cela! Même tout jeune, comme étudiant à l'Université de Pise, les conférences de son maître, Francesco Buonamici, pouvaient lui avoir enseigné que la « question » du rôle et de la nature des mathématiques constitue le principal sujet d'opposition entre Aristote et

1. G. Galilei, *Il Saggiatore, Opere*, 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 intender 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 mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola. » Cf. *Lettre à Liceti* du 11 janvier 1641, *Opere*, XVIII, p. 293.

Platon<sup>1</sup>. Et quelques années plus tard, quand il revint à Pise, comme professeur cette fois, il pouvait avoir appris de son ami et collègue, Jacopo Mazzoni, auteur d'un livre sur Platon et Aristote, que « aucune autre question n'a donné lieu à de plus nobles et plus belles spéculations... que celle de savoir si l'usage des mathématiques en physique comme instrument de preuve et moyen terme de la démonstration, est opportun ou non; autrement dit, s'il nous est avantageux ou bien au contraire dangereux et nuisible. » « Il est bien connu, dit Mazzoni, que Platon croyait que les mathématiques sont particulièrement appropriées aux recherches de la physique, ce pourquoi lui-même y eut recours à plusieurs reprises pour expliquer des mystères physiques. Mais Aristote soutenait un point de vue tout à fait différent et il expliquait les erreurs de Platon par son trop grand attachement aux mathématiques<sup>2</sup> ».

1. L'énorme compilation de Buonamici (1 011 pages *in folio*) est un inestimable ouvrage de référence pour l'étude des théories médiévales du mouvement. Bien que les historiens de Galilée en aient souvent *fait mention*, ils ne l'ont jamais utilisé. Le livre de Buonamici est très rare. Je me permets donc d'en donner une assez longue citation : 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, 1591), lib. X, cap. XI. *Jurene mathematicae ex ordine scientiarum expurgantur*, p. 56 : « ... Itaque veluti ministri sunt mathematicae, nec honore dignae et habitae *propaideia*, id est apparatus quidam ad alias disciplinas. Ob eamque potissime causam, quod de bono mentionem facere non videntur. Etenim omne bonum est finis, 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 alicui (?) 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. » *Ibid.*, lib. I, p. 54 : « Mathematicae cum ex notis nobis et natura simul efficiant id quod cupiunt, sed caeteris demonstrationis perspicuitate praeponuntur, nam vis rerum quas ipsae tractant non est admodum nobilis; quippe quod sunt accidentia, id est habeant rationem substantiae quatenus subicitur et determinatur quanto; eaque considerentur longe secus atque in natura existant. Attamen non-nullarum rerum ingenium tale esse comperimus ut ad certam materiam sese non applicant, neque motum consequantur, quia tamen in natura quicquid est, cum motu existit; opus est abstractione cuius beneficio quantum motu non comprehenso in eo munere contemplantur; 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. »

2. Jacobi Mazzoni, Caesenatis, in Almo Gymnasio Pisano Aristotelem ordinarie Platonem vero extra ordinem profitentis, *In Universam Platonis et Aristotelis Philosophiam Praeludia, sive de comparatione Platonis et Aristotelis*, Venetiis, 1597, pp. 187 sq., *Disputatur utrum usus mathematicarum in Physica utilitatem vel detrimentum afferat, et in hoc Platonis et Aristotelis comparatio.* « Non est enim inter Platonem et Aristotelem quaestio, seu differentia, quae

On voit que pour la conscience scientifique et philosophique de l'époque — Buonamici et Mazzoni ne font qu'exprimer la *communis opinio* — l'opposition, ou plutôt la ligne de partage entre l'aristotélicien et le platonicien est parfaitement claire. Si vous revendiquez pour les mathématiques un statut supérieur, si de plus vous leur attribuez une réelle valeur et une position décisive en physique, vous êtes un platonicien. Si au contraire, vous voyez dans les mathématiques une science abstraite, donc de moindre valeur que celles — physique et métaphysique — qui traitent de l'être réel; si en particulier vous soutenez que la physique n'a besoin d'aucune autre base que l'expérience et doit s'édifier directement sur la perception, que les mathématiques doivent se contenter du rôle secondaire et subsidiaire d'un simple auxiliaire, vous êtes aristotélicien.

Ce qui est en question ici, ce n'est pas la certitude — aucun aristotélicien n'a jamais mis en doute la certitude des propositions ou démonstrations géométriques — mais l'Être; pas même l'emploi des mathématiques en physique — aucun aristotélicien n'a jamais nié notre droit à mesurer ce qui est mesurable et à compter ce qui est nombrable — mais la structure de la science, et donc la structure de l'Être.

Telles sont les discussions auxquelles Galilée fait contumélieusement allusion au cours de ce *Dialogue*. Ainsi, au tout début, Simplicio, l'aristotélicien, souligne que « en ce qui touche les choses naturelles, nous n'avons pas toujours besoin de chercher la nécessité des démonstrations mathématiques <sup>1</sup> ». A quoi Sagredo, qui s'offre le plaisir de ne pas comprendre Simplicio, réplique : « Naturellement, quand vous ne pouvez pas l'atteindre. Mais, si vous le pouvez, pourquoi pas? » Naturellement. S'il est possible, dans des

tot pulchris, 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 inopportunus, id est, an utilitatem aliquam afferat, vel potius detrimentum et damnum. Credidit Plato Mathematicas ad speculationes physicas apprime esse accommodatas. Quapropter passim eas adhibet in reserandis mysteriis physicis. At Aristoteles omnino secus sentire videtur, erroresque Platonis adscribit amori Mathematicarum... Sed si quis voluerit hanc rem diligentius considerare, forsan, et Platonis defensionem inveniet, videbit Aristotelem in nonnullos errorum scopulos impigisse, 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, brevissime demonstrabo. »

1. Cf. Galileo Galilei, *Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo, Opere*, ed. Naz., VII, 38; cf. p. 256.

questions relatives aux choses de la nature, d'attendre une démonstration douée de rigueur mathématique, pourquoi ne devrions-nous pas essayer de le faire? Mais est-ce possible? Voilà exactement le problème, et Galilée, dans la marge du livre, résume la discussion et exprime la véritable pensée de l'aristotélicien : « Dans les démonstrations relatives à la nature, dit-il, on ne doit pas chercher l'exactitude mathématique. »

On ne le doit pas. Pourquoi? Parce que c'est impossible. Parce que la nature de l'être physique est qualitative et vague. Elle ne se conforme pas à la rigidité et à la précision des concepts mathématiques. C'est toujours du « plus ou moins ». Donc, comme l'aristotélicien nous l'expliquera plus tard, la philosophie, qui est la science du réel, n'a pas besoin d'examiner les détails ni d'avoir recours aux déterminations numériques en formulant ses théories du mouvement; tout ce qu'elle doit faire, c'est d'en énumérer les principales catégories (naturel, violent, rectiligne, circulaire) et d'en décrire les traits généraux, qualitatifs et abstraits <sup>1</sup>.

Le lecteur moderne est probablement loin d'en être convaincu. Il trouve difficile d'admettre que « la philosophie » ait dû se contenter d'une généralisation abstraite et vague et ne pas essayer d'établir des lois universelles précises et concrètes. Le lecteur moderne ne connaît pas la véritable raison de cette nécessité mais les contemporains de Galilée la connaissaient fort bien. Ils savaient que la qualité, aussi bien que la forme, étant par nature non mathématique, ne pouvait pas être analysée en termes mathématiques. La physique n'est pas de la géométrie appliquée. La matière terrestre ne peut jamais montrer de figures mathématiques exactes; les « formes » ne l'« informent » jamais complètement et parfaitement. Il reste toujours une distance. Dans les ciux, bien entendu, il en va autrement; par conséquent, l'astronomie mathématique est possible. Mais l'astronomie n'est pas la physique. Que ceci ait échappé à Platon, voilà précisément son erreur et celle de ses partisans. Il est inutile d'essayer d'édifier une philosophie mathématique de la nature. L'entreprise est condamnée avant même de commencer. Elle ne conduit pas à la vérité mais à l'erreur.

« Toutes ces subtilités mathématiques, explique Simplicio, sont vraies *in abstracto*. Mais, appliquées à la

1. Cf. *Dialogo*, p. 242.

matière sensible et physique, elles ne fonctionnent pas<sup>1</sup>. » Dans la vraie nature, il n'y a ni cercles, ni triangles, ni lignes droites. Il est donc inutile d'apprendre le langage des figures mathématiques : ce n'est pas en elles qu'est écrit, en dépit de Galilée et de Platon, le livre de la Nature. En fait, c'est non seulement inutile, c'est dangereux : plus un esprit est accoutumé à la précision et à la rigidité de la pensée géométrique, moins il sera capable de saisir la diversité mobile, changeante, qualitativement déterminée de l'Être.

Cette attitude de l'aristotélicien n'a rien de ridicule<sup>2</sup>. A moi, du moins, elle semble parfaitement sensée. Vous ne pouvez pas établir une théorie mathématique de la qualité, objecte Aristote à Platon ; pas même du mouvement. Il n'y a pas de mouvement dans les nombres. Mais *ignorado motu ignoratur natura*. L'aristotélicien du temps de Galilée pouvait ajouter que le plus grand des platoniciens, le *divin* Archimède lui-même<sup>3</sup>, ne put jamais élaborer autre chose qu'une statique. Pas de dynamique. Une théorie du repos. Non du mouvement.

L'aristotélicien avait parfaitement raison. Il est impossible de fournir une déduction mathématique de la qualité. Nous savons bien que Galilée, comme Descartes un peu plus tard, et pour la même raison, fut obligé de supprimer la notion de qualité, de la déclarer subjective, de la bannir du domaine de la nature<sup>4</sup>. Ce qui implique en même temps qu'il fut obligé de supprimer la perception des sens comme la source de connaissance et de déclarer que la connaissance intellectuelle, et même *a priori*, est notre seul et unique moyen d'appréhender l'essence du réel.

Quant à la dynamique et aux lois du mouvement, le *posse* ne doit être prouvé que par l'*esse* ; pour montrer qu'il est possible d'établir les lois mathématiques de la nature, il faut le faire. Il n'y a pas d'autre moyen et Galilée en est parfaitement conscient. C'est donc en donnant des solutions mathématiques à des problèmes physiques concrets — celui de la chute des corps, celui du mouvement d'un projectile — qu'il amène Simplicio à confesser que « vouloir étudier des problèmes de la nature sans mathématiques, c'est essayer de faire quelque chose qui ne peut être fait. »

1. *Ibid.*, p. 229, p. 423.

2. Comme on le sait, elle fut celle de Pascal et même de Leibniz.

3. Il vaut peut-être la peine de noter que pour toute la tradition doxographique Archimède est un *philosophus platonicus*.

4. Cf. E. A. Burttt, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, London and New York, 1925.

Il me semble que nous pouvons maintenant comprendre le sens de ce texte significatif de Cavalieri qui, en 1630, écrit dans son *Specchio Ustorio*: « Tout ce qu'apporte (ajoute) la connaissance des sciences mathématiques, que les célèbres écoles des pythagoriciens et des platoniciens regardaient comme suprêmement nécessaire à la compréhension des choses physiques, apparaitra clairement bientôt, je l'espère, avec la publication de la nouvelle science du mouvement promise par ce merveilleux vérificateur de la nature, Galileo Galilei<sup>1</sup>. »

Nous comprenons aussi l'orgueil de Galilée le platonicien, qui dans ses *Discours et démonstrations* annonce qu' « il va promouvoir une science tout à fait nouvelle à propos d'un problème très ancien », et qu'il prouvera quelque chose que personne n'a prouvé jusque-là, c'est-à-dire que le mouvement de la chute des corps est sujet à la loi des nombres<sup>2</sup>. Le mouvement gouverné par des nombres; l'objection aristotélicienne se trouvait enfin réfutée.

Il est évident que pour les disciples de Galilée, de même que pour ses contemporains et aînés, mathématique signifie platonisme. Par conséquent, quand Torricelli nous dit « que parmi les arts libéraux, seule la géométrie exerce et aiguise l'esprit et le rend capable d'être un ornement de la Cité en temps de paix et de le défendre en temps de guerre » et que « *caeteris paribus*, un esprit entraîné à la gymnastique géométrique est doué d'une force tout à fait particulière et *virile*<sup>3</sup> », il ne se montre pas seulement un disciple authentique de Platon, il se reconnaît et se proclame tel. Ce faisant, il reste un fidèle disciple de son maître Galilée qui dans sa *Réponse aux exercices*

1. Bonaventura Cavalieri, *Lo Specchio Ustorio ovvero trattato Delle Settoni Coniche e alcuni loro mirabili effetti intorno al Lume*, etc., Bologne, 1632, pp. 152 sq. : « Ma quanto vi aggiunga la cognitione delle scienze Matematiche, giudicate da quelle famosissime scuole de' Pithagorici et de' "Platonici", sommamente necessarie per intender le cose Fische, spero in breve sarà manifesto, per la nuova dottrina del moto promessaci dall'esquisitissimo Saggiatore della Natura, dico dal Sig. Galileo Galilei, ne' suoi Dialoghi... »

2. Galileo Galilei, *Discorsi e dimostrazioni mathematiche intorno a due nuove scienze, Opere*, ed. Naz., VIII, p. 190 : « 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. »

3. Evangelista Torricelli, *Opera Geometrica*, Florentiae, 1644, II, p. 7 : « Sola enim Geometria inter liberales disciplinas acriter exacuit ingenium, idoneumque reddit ad civitates adornandas in pace et in bello defendendas : 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. »

*philosophiques* d'Antonio Rocco, s'adresse à ce dernier, lui demandant de juger par lui-même la valeur des deux méthodes rivales — la méthode purement physique et empirique, et la mathématique — et ajoute : « Décidez en même temps qui raisonna le mieux, Platon qui dit que sans mathématiques on ne pourrait pas apprendre la philosophie, ou Aristote qui fit à ce même Platon le reproche d'avoir trop étudié la Géométrie<sup>1</sup>. »

Je viens d'appeler Galilée un platonicien. Je crois que personne ne mettra en doute qu'il le soit<sup>2</sup>. De plus, il le dit lui-même. Dans les toutes premières pages du *Dialogue*, Simplicio fait la remarque que Galilée, étant mathématicien, éprouve probablement de la sympathie pour les spéculations numériques des pythagoriciens. Ceci permet à Galilée de déclarer qu'il les tient pour totalement dépourvues de sens et de dire en même temps : « Je sais parfaitement bien que les pythagoriciens avaient la plus haute estime pour la science des nombres et que Platon lui-même admirait l'intelligence de l'homme et croyait qu'il participe à la divinité pour la seule raison qu'il est capable de comprendre la nature des nombres. Je suis moi-même enclin à porter le même jugement<sup>3</sup>. »

Comment aurait-il pu avoir une opinion différente, celui qui croyait que dans la connaissance mathématique, l'esprit humain atteint la perfection même de l'entendement divin? Ne dit-il pas que « sous le rapport de l'*extension*, c'est-à-dire eu égard à la multiplicité des choses

1. Galileo Galilei, *Esercizioni filosofiche di Antonio Rocco, Opere*, ed. Naz., VII, p. 744.

2. Le platonisme de Galilée a été plus ou moins clairement reconnu par certains historiens modernes des sciences et de la philosophie. Ainsi l'auteur de la traduction allemande du *Dialogo* souligne l'influence platonicienne (doctrine de la réminiscence) sur la forme même du livre (cf. G. Galilei, *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme*, aus dem italienischen übersetzt und erläutert von E. Strauss, Leipzig, 1891, p. XLIX); E. Cassirer, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, 2<sup>e</sup> éd., Berlin, 1911, I, pp. 389 sq., insiste sur le platonisme de Galilée dans son idéal de la connaissance; L. Olschki, *Galileo und seine Zeit*, Leipzig, 1927, parle de la « vision platonicienne de la Nature » de Galilée, etc. C'est E. A. Burt, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science* New York, 1925, qui me semble avoir le mieux exposé l'arrière-plan métaphysique de la science moderne (le mathématisme platonicien). Malheureusement Burt n'a pas su reconnaître l'existence de deux (et non une) traditions platoniciennes, celle de la spéculation mystique sur les nombres et celle de la science mathématique. La même erreur, péché véniel dans le cas de Burt, fut faite par son critique, E. W. Strong, *Procedures and Metaphysics*, Berkeley, Cal., 1936, et dans son cas ce fut un péché mortel. — Sur la distinction des deux platonismes, cf. L. Brunschvicg, *Les Étapes de la philosophie mathématique*, Paris, 1922, pp. 69 sq., et *Le Progrès de la conscience dans la philosophie occidentale*, Paris, 1937, pp. 37 sq.

3. *Dialogo*, p. 35.

à connaître, qui est infinie, l'esprit humain est comme un rien (même s'il comprenait un millier de propositions, parce que un millier comparé à l'infinité est comme zéro) : mais sous le rapport de l'*intensité*, pour autant que ce terme signifie saisir intensément, c'est-à-dire parfaitement une proposition donnée, je dis que l'esprit humain comprend quelques propositions aussi parfaitement et en a une certitude aussi absolue qu'en peut avoir la Nature elle-même; à cette espèce appartiennent les sciences mathématiques pures, c'est-à-dire la géométrie et l'arithmétique dont l'intellect divin connaît bien entendu infiniment plus de propositions pour la simple raison qu'il les connaît toutes; mais quant au petit nombre que comprend l'esprit humain je crois que notre connaissance égale la connaissance divine en certitude objective parce qu'elle réussit à comprendre leur nécessité, au-delà de laquelle il ne semble pas qu'il puisse exister une certitude plus grande<sup>1</sup> ».

Galilée aurait pu ajouter que l'entendement humain est une œuvre de Dieu si parfaite que *ab initio* il est en possession de ces idées claires et simples dont la simplicité même est une garantie de vérité et qu'il lui suffit de se tourner vers lui-même pour trouver dans sa « mémoire » les véritables fondements de la science et de la connaissance, l'alphabet, c'est-à-dire les éléments du langage — le langage mathématique — que parle la Nature créée par Dieu. Il faut trouver le vrai fondement d'une science *réelle*, une science du monde *réel* — non d'une science n'atteignant que la vérité purement formelle, la vérité intrinsèque du raisonnement et de la déduction mathématiques, une vérité qui ne serait pas affectée par la non-existence dans la Nature des objets qu'elle étudie; il est évident que Galilée, pas plus que Descartes, ne se satisferait d'un tel ersatz de science et de connaissance réelles.

C'est de cette science, la vraie connaissance « philosophique » qui est connaissance de l'essence même de l'Être, que Galilée proclame : « Et moi, je vous dis que si quelqu'un ne connaît pas la vérité par lui-même, il est impossible à quiconque de lui donner cette connaissance. En effet, il est possible d'enseigner ces choses qui ne sont ni vraies ni fausses; mais les vraies, par quoi j'entends les choses nécessaires, c'est-à-dire celles qui

1. *Dialogo*, pp. 128 sq.

ne peuvent être autrement, tout esprit moyen soit les connaît par lui-même, soit ne peut jamais les apprendre<sup>1</sup>. » Assurément. Un platonicien ne peut pas avoir une opinion différente, puisque, pour lui, connaître n'est rien d'autre que comprendre.

Dans les œuvres de Galilée, les allusions si nombreuses à Platon, la mention répétée de la maïeutique socratique et de la doctrine de la réminiscence ne sont pas des ornements superficiels provenant du désir de se conformer à la mode littéraire issue de l'intérêt que porte à Platon la pensée de la Renaissance. Elles ne visent pas non plus à gagner à la science nouvelle la sympathie du « lecteur moyen », fatigué et dégoûté par l'aridité de la scolastique aristotélicienne; ni à se revêtir contre Aristote de l'autorité de son maître et rival, Platon. Tout au contraire : ces allusions sont parfaitement sérieuses et doivent être prises telles quelles. Ainsi, pour que personne ne puisse avoir le moindre doute quant à son point de vue philosophique, Galilée insiste<sup>2</sup> :

SALVIATI. — « La solution du problème en question implique la connaissance de certaines vérités que vous connaissez aussi bien que moi. Mais comme vous ne vous les rappelez pas, vous ne voyez pas cette solution. De cette manière, sans vous enseigner, parce que vous les connaissez déjà, par le seul fait de vous les rappeler, je vous ferai résoudre le problème vous-même. »

SIMPLICIO. — « Bien des fois j'ai été frappé par votre manière de raisonner qui me fait penser que vous penchez vers l'opinion de Platon, *nostrum scire sit quoddam reminisci*; je vous en prie, libérez-moi de ce doute et dites-moi votre propre pensée. »

SALVIATI. — « Ce que je pense de cette opinion de Platon, je peux l'expliquer par des mots mais aussi par des faits. Dans les arguments avancés jusqu'ici, je me suis déjà plus d'une fois déclaré moi-même de fait. Maintenant, je veux appliquer la même méthode à la recherche en cours, recherche qui peut servir d'exemple pour vous aider à comprendre plus facilement mes idées quant à l'acquisition de la science... »

La recherche « en cours » n'est rien d'autre que la déduction des propositions fondamentales de la mécanique. Nous sommes prévenus que Galilée juge avoir fait plus

1. *Dialogo*, p. 183.

2. *Ibid.*, p. 217.

que se dire simplement un adepte et un partisan de l'épistémologie platonicienne. En outre, en appliquant cette épistémologie, en découvrant les vraies lois de la physique, en les faisant déduire par Sagredo et Simplicio, c'est-à-dire *par le lecteur* lui-même, par *nous*, il croit avoir démontré la vérité du platonisme « en fait ». Le *Dialogue* et les *Discours* nous donnent l'histoire d'une expérience intellectuelle — d'une expérience concluante puisqu'elle se termine par l'aveu plein de regrets de l'aristotélicien Simplicio qui reconnaît la nécessité d'étudier les mathématiques et regrette de ne pas les avoir étudiées lui-même dans sa jeunesse.

Le *Dialogue* et les *Discours* nous disent l'histoire de la découverte, ou mieux encore, de la redécouverte du langage que parle la Nature. Ils nous expliquent la manière de l'interroger, c'est-à-dire la théorie de cette expérimentation scientifique dans laquelle la formulation des postulats et la déduction de leurs conséquences précèdent et guident le recours à l'observation. Ceci aussi, du moins pour Galilée, est une preuve « de fait ». La science nouvelle est pour lui une preuve expérimentale du platonisme.

## GALILÉE ET LA RÉVOLUTION SCIENTIFIQUE DU XVII<sup>e</sup> SIÈCLE \*

La science moderne n'a pas jailli parfaite et complète, telle Athéna de la tête de Zeus, des cerveaux de Galilée et de Descartes. Au contraire, la révolution galiléenne et cartésienne — qui reste malgré tout une révolution —, avait été préparée par un long effort de pensée. Et il n'y a rien de plus intéressant, de plus instructif ni de plus saisissant que l'histoire de cet effort, l'histoire de la pensée humaine traitant avec obstination les mêmes éternels problèmes, rencontrant les mêmes difficultés, luttant sans répit contre les mêmes obstacles, et se forçant lentement et progressivement les instruments et les outils, c'est-à-dire les nouveaux concepts, les nouvelles méthodes de pensée qui permettront enfin de les surmonter.

C'est une longue et passionnante histoire, trop longue pour être contée ici. Et cependant, pour comprendre l'origine, la portée et la signification de la révolution galiléo-cartésienne, nous ne pouvons nous dispenser de jeter au moins un regard en arrière sur certains des contemporains et des prédécesseurs de Galilée.

La physique moderne étudie en premier lieu le mouvement des corps pesants, c'est-à-dire le mouvement des corps qui nous entourent. Aussi est-ce de l'effort d'expliquer les faits et les phénomènes de l'expérience journalière — le fait de la chute, l'acte du jet — que procède

\* Texte d'une conférence faite au Palais de la Découverte le 7 mai 1955 (« Les Conférences du Palais de la Découverte », série D, n° 37; Paris, Palais de la Découverte, 1955, 19 p.). Une version en langue anglaise de ce texte avait été publiée antérieurement (« Galileo and the Scientific Revolution of the xvii<sup>th</sup> Century », *Philosophical Review*, 1943, pp. 333-348).

le mouvement d'idées qui conduit à l'établissement de ses lois fondamentales. Et pourtant il n'en découle ni exclusivement, ni même principalement, ou directement. La physique moderne ne doit pas son origine à la Terre seule. Elle la doit tout aussi bien aux cieux. Et c'est dans les cieux qu'elle trouve sa perfection et sa fin.

Ce fait, le fait que la physique moderne a son prologue et son épilogue dans les cieux ou, plus simplement, le fait que la physique moderne prend sa source dans l'étude des problèmes astronomiques et maintient ce lien à travers toute son histoire, a un sens profond et implique d'importantes conséquences. Il implique notamment l'abandon de la conception classique et médiévale du Cosmos — unité fermée d'un Tout, Tout qualitativement déterminé et hiérarchiquement ordonné, dans lequel les parties différentes qui le composent, à savoir le Ciel et la Terre, sont sujettes à des lois différentes — et son remplacement par celle de l'Univers, c'est-à-dire d'un ensemble ouvert et indéfiniment étendu de l'Être, uni par l'identité des lois fondamentales qui le gouvernent; il détermine la fusion de la *Physique céleste* avec la *Physique terrestre*, qui permet à cette dernière d'utiliser et d'appliquer à ses problèmes les méthodes mathématiques hypothético-déductives développées par la première; il implique l'impossibilité d'établir et d'élaborer une physique terrestre ou, du moins, une mécanique terrestre, sans développer en même temps une mécanique céleste. Il explique l'échec partiel de Galilée et de Descartes.

La physique moderne, c'est-à-dire celle qui est née avec et dans les œuvres de Galileo Galilei et s'est achevée dans celles d'Albert Einstein, considère la loi d'inertie comme sa loi la plus fondamentale. Elle a bien raison, car, ainsi que le dit le vieil adage, *ignorado motu ignoratur natura*, et la science moderne tend à tout expliquer par « le nombre, la figure et le mouvement ». En fait, c'est Descartes, et non pas Galilée<sup>1</sup> qui, pour la première fois, en a entièrement compris la portée et le sens. Et pourtant Newton n'a pas tout à fait tort en attribuant à Galilée le mérite de sa découverte. En effet, bien que Galilée n'ait jamais explicitement formulé le principe d'inertie, sa mécanique, implicitement, est basée là-dessus. Et c'est seulement son hésitation à tirer, ou à admettre, les conséquences ultimes — ou implicites — de sa propre conception du

1. Cf. mes *Études galiléennes*, Paris, Hermann, 1939.