

## GALILÉE ET PLATON \*

Le nom de Galileo Galilei est indissolublement lié à la révolution scientifique du xvi<sup>e</sup> siècle, l'une des plus profondes, sinon la plus profonde révolution de la pensée humaine depuis la découverte du Cosmos par la pensée grecque : une révolution qui implique une « mutation » intellectuelle radicale dont la science physique moderne est à la fois l'expression et le fruit<sup>1</sup>.

On caractérise quelquefois cette révolution, et on l'explique en même temps, par une sorte de soulèvement spirituel, par une transformation complète de toute l'attitude fondamentale de l'esprit humain ; la vie active, *vita activa*, prenant la place de la *theoria, vita contemplativa*, qui avait été considérée jusqu'alors comme sa forme la plus haute. L'homme moderne cherche à dominer la nature, tandis que l'homme médiéval ou antique s'efforçait avant tout de la contempler. On doit donc expliquer par ce désir de dominer, d'agir, la tendance mécaniste de la physique classique — physique de Galilée, de Descartes, de Hobbes, *scientia activa, operativa*, qui devait rendre l'homme « maître et possesseur de la nature » ; on doit la considérer comme découlant tout simplement de cette attitude, comme application à la nature des catégories de pensée de l'*homo faber*<sup>2</sup>. La science de Descartes — a

\* Traduction par M<sup>me</sup> Georgette P. Vignaux d'un article « Galileo and Plato », paru dans le *Journal of the History of Ideas* (vol. IV, n° 4, oct. 1943, pp. 400-428).

1. Cf. J. H. Randall, Jr., *The Making of the Modern Mind*, Boston, 1926, pp. 220 sq., 231 sq. ; cf. aussi A. N. Whitehead, *Science and the Modern World*, New York, 1925.

2. Il ne faut pas confondre cette conception largement répandue avec celle de Bergson pour qui toute la physique, aristotélicienne aussi bien que newtonienne, est en dernière analyse l'œuvre de l'*homo faber*.

*fortiori* celle de Galilée — n'est rien d'autre (comme on l'a dit) que la science de l'artisan ou de l'ingénieur<sup>1</sup>.

Cette explication ne me paraît pas, je dois l'avouer, entièrement satisfaisante. Il est vrai, bien entendu, que la philosophie moderne, aussi bien que l'éthique et la religion modernes, met l'accent sur l'action, sur la *praxis*, bien plus que ne le faisait la pensée antique et médiévale. C'est tout aussi vrai de la science moderne : je pense à la physique cartésienne, à ses comparaisons avec des poulies, des cordes et des leviers. Pourtant l'attitude que nous venons de décrire est davantage celle de Bacon — dont le rôle dans l'histoire des sciences n'est pas du même ordre<sup>2</sup> — que celle de Galilée ou de Descartes. Leur science n'est pas le fait d'ingénieurs ou d'artisans, mais d'hommes dont l'œuvre dépassa rarement l'ordre de la théorie<sup>3</sup>. La nouvelle balistique fut élaborée non par des artificiers ou des artilleurs, mais contre eux. Et Galilée n'apprit pas son métier des gens qui besognaient dans les arsenaux et les chantiers navals de Venise. Bien au contraire : il leur enseigna *le leur*<sup>4</sup>. En outre, cette théorie explique

1. Cf. L. Laberthonnière, *Études sur Descartes*, Paris, 1935, II, pp. 288 sq., 297, 304 : « Physique de l'exploitation des choses. »

2. Bacon est le héraut, le *buccinator* de la science moderne, non l'un de ses créateurs.

3. La science de Descartes et de Galilée a été, bien entendu, extrêmement importante pour l'ingénieur et le technicien ; elle a finalement provoqué une révolution technique. Cependant, elle ne fut créée et développée ni par des ingénieurs ni par des techniciens, mais par des théoriciens et des philosophes.

4. « Descartes artisan » est la conception du cartésianisme que développa Leroy dans *Descartes social*, Paris, 1931, et que poussa jusqu'à l'absurdité F. Borkenau dans son livre *Der Uebergang vom feudalen zum bürgerlichen Weltbild*, Paris, 1934. Borkenau explique la naissance de la philosophie et de la science cartésiennes par celle d'une nouvelle forme d'entreprise économique, c'est-à-dire la manufacture. Cf. la critique du livre de Borkenau, critique beaucoup plus intéressante et instructive que le livre lui-même, par H. Grossman, « Die gesellschaftlichen Grundlagen der mechanistischen Philosophie und die Manufaktur », *Zeitschrift für Sozialforschung*, Paris, 1935.

Quant à Galilée, il est relié aux traditions des artisans, constructeurs, ingénieurs, etc., de la Renaissance par L. Olschki, *Galileo und seine Zeit*, Halle, 1927, et plus récemment par E. Zilsel, « The sociological roots of science », *The American Journal of Sociology*, XLVII, 1942. Zilsel souligne le rôle qu'ont joué les « artisans qualifiés » de la Renaissance dans le développement de la mentalité scientifique moderne. Bien entendu, il est vrai que les artistes, ingénieurs, architectes, etc., de la Renaissance jouèrent un rôle important dans la lutte contre la tradition aristotélicienne et que certains d'entre eux — comme Léonard de Vinci et Benedetti — essayèrent même de développer une dynamique nouvelle, anti-aristotélicienne ; cependant cette dynamique, comme l'a montré de façon concluante Duhem, était dans ses traits principaux celle des nominalistes parisiens, la dynamique de l'*impetus* de Jean Buridan et de Nicole Oresme. Et si Benedetti, de loin le plus remarquable de ces « précurseurs » de Galilée, transcende quelquefois le niveau de la dynamique « parisienne », ce n'est pas en raison de son travail comme ingénieur et artilleur, mais parce qu'il étudia Archimède et décida d'appliquer « la philosophie mathématique » à l'investigation de la nature.

trop et trop peu. Elle explique le prodigieux développement de la science du xvii<sup>e</sup> siècle par celui de la technologie. Cependant, ce dernier était infiniment moins frappant que le premier. En outre, elle oublie les réussites techniques du Moyen Age. Elle néglige l'appétit de puissance et de richesse qui inspira l'alchimie tout au long de son histoire.

D'autres érudits ont insisté sur la lutte de Galilée contre l'autorité, contre la tradition, en particulier celle d'Aristote : contre la tradition scientifique et philosophique que maintenait l'Église et qu'elle enseignait dans les universités. Ils ont souligné le rôle de l'observation et de l'expérience dans la science nouvelle de la nature<sup>1</sup>. Il est parfaitement vrai, bien entendu, que l'observation et l'expérimentation constituent l'un des traits les plus caractéristiques de la science moderne. Il est certain que dans les écrits de Galilée nous trouvons d'innombrables appels à l'observation et à l'expérience, et une ironie amère à l'égard d'hommes qui ne croyaient pas au témoignage de leurs yeux parce que ce qu'ils voyaient était contraire à l'enseignement des autorités ou, pire encore, qui ne voulaient pas (comme Cremonini) regarder dans le télescope de Galilée par peur de voir quelque chose qui aurait contredit leurs théories et croyances traditionnelles. Or, c'est précisément en construisant un télescope et en l'utilisant, en observant soigneusement la Lune et les planètes, en découvrant les satellites de Jupiter, que Galilée porta un coup mortel à l'astronomie et à la cosmologie de son époque.

Cependant, on ne doit pas oublier que l'observation ou l'expérience, au sens de l'expérience spontanée du sens commun, ne joua pas un rôle majeur — ou, si elle le fit, ce fut un rôle négatif, celui d'obstacle — dans la fondation de la science moderne<sup>2</sup>. La physique d'Aristote, et plus encore celle des nominalistes parisiens, de Buridan et de Nicole Oresme, était beaucoup plus proche, selon Tannery et Duhem, de l'expérience du sens commun que celle de

1. Tout récemment, un critique m'a reproché amicalement d'avoir négligé cet aspect de l'enseignement de Galilée. (Cf. L. Olschki, « The Scientific Personality of Galileo », *Bulletin of the History of Medicine*, XII, 1942). Je ne crois pas, je dois l'avouer, avoir mérité ce reproche, bien que je croie profondément que la science est essentiellement théorie et non collecte de « faits ».

2. E. Meyerson, *Identité et réalité*, 3<sup>e</sup> éd., Paris, 1926, p. 156, montre de façon très convaincante le manque d'accord entre « l'expérience » et les principes de la physique moderne,

Galilée et de Descartes<sup>1</sup>. Ce n'est pas « l'expérience », mais « l'expérimentation », qui joua — plus tard seulement — un rôle positif considérable. L'expérimentation consiste à interroger méthodiquement la nature; cette interrogation présuppose et implique un *langage* dans lequel formuler les questions, ainsi qu'un dictionnaire nous permettant de lire et d'interpréter les réponses. Pour Galilée, nous le savons bien, c'était en courbes, cercles et triangles, en langage mathématique ou même plus précisément en *langage géométrique* — non celui du sens commun ou de purs symboles — que nous devons parler à la nature et recevoir ses réponses. Le choix du langage, la décision de l'employer, ne pouvaient évidemment pas être déterminés par l'expérience que l'usage même de ce langage devait rendre possible. Il leur fallait venir d'autres sources.

D'autres historiens de la science et de la philosophie<sup>2</sup> ont essayé plus modestement de caractériser la physique moderne en tant que *physique*, par certains de ses traits marquants : par exemple le rôle qu'y joue le principe d'inertie. Exact, de nouveau : le principe d'*inertie* occupe une place éminente dans la mécanique classique par contraste avec celle des Anciens. Il y est la loi fondamentale du mouvement; il règne implicitement sur la physique de Galilée, explicitement sur celle de Descartes et de Newton. Mais s'arrêter à cette caractéristique me semble quelque peu superficiel. A mon avis, il ne suffit pas d'établir simplement le fait. Nous devons le comprendre et l'expliquer — expliquer pourquoi la physique *moderne* fut capable d'adopter ce principe; comprendre pourquoi, et comment, le principe d'inertie qui nous semble si simple,

1. P. Duhem, *Le Système du monde*, Paris, 1913, I, pp. 194 sq. : « 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 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 impossible. »

2. Kurd Lasswitz, *Geschichte der Atomistik*, Hamburg und Leipzig, 1890, II, pp. 23 sq.; E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, 8<sup>e</sup> éd., Leipzig, 1921, pp. 117 sq.; E. Wohllwill, « Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes », *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft*, vol. XIV et XV, 1883 et 1884, et E. Cassirer, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, 2<sup>e</sup> édit., Berlin, 1911, I, pp. 394 sq.

si clair, si plausible et même évident, acquit ce statut d'évidence et de vérité *a priori* alors que, pour les Grecs, aussi bien que pour les penseurs du Moyen Age, l'idée d'un corps qui, une fois mis en mouvement, continuerait pour toujours à se mouvoir, semblait bien évidemment fausse, et même absurde<sup>1</sup>.

Je n'essaierai pas d'expliquer ici les raisons et les causes qui provoquèrent la révolution spirituelle du xvi<sup>e</sup> siècle. Il suffit à notre propos de la décrire, de caractériser l'attitude mentale ou intellectuelle de la science moderne par deux traits solidaires. Ce sont : 1<sup>o</sup> la destruction du Cosmos, par conséquent la disparition dans la science de toutes les considérations fondées sur cette notion<sup>2</sup>; 2<sup>o</sup> la géométrisation de l'espace — c'est-à-dire la substitution de l'espace homogène et abstrait de la géométrie euclidienne à la conception d'un espace cosmique qualitativement différencié et concret, celui de la physique prégaliléenne. On peut résumer et exprimer comme suit ces deux caractéristiques : la mathématisation (géométrisation) de la nature et, par conséquent, la mathématisation (géométrisation) de la science.

La dissolution du Cosmos signifie la destruction d'une idée : celle d'un monde de structure finie, hiérarchiquement ordonné, d'un monde qualitativement différencié du point de vue ontologique; elle est remplacée par celle d'un Univers ouvert, indéfini et même infini, qu'unifient et gouvernent les mêmes lois universelles; un Univers dans lequel toutes choses appartiennent au même niveau d'Être, à l'encontre de la conception traditionnelle qui distinguait et opposait les deux mondes du Ciel et de la Terre. Les lois du Ciel et celles de la Terre sont désormais fondues ensemble. L'astronomie et la physique deviennent interdépendantes, et même unifiées et unies<sup>3</sup>. Cela implique que disparaissent de la perspective scientifique toutes considérations fondées sur la valeur, la perfection, l'harmonie, la signification et le dessein<sup>4</sup>. Elles disparaissent

1. Cf. E. Meyerson, *op. cit.*, pp. 124 sq.

2. Le terme demeure, bien entendu, et Newton parle toujours du Cosmos et de son ordre (comme il parle d'*impetus*), mais dans un sens entièrement nouveau.

3. Comme j'ai essayé de le montrer ailleurs (*Études galiléennes*, III, *Galilée et la loi d'inertie*, Paris, 1940), la science moderne résulte de cette unification de l'astronomie et de la physique qui lui permet d'appliquer les méthodes de la recherche mathématique, utilisées jusqu'alors pour l'étude des phénomènes célestes, à l'étude des phénomènes du monde sublunaire.

4. Cf. E. Bréhier, *Histoire de la philosophie*, t. II, fasc. I, Paris, 1929, p. 95 : « Descartes dégage la physique de la hantise du Cosmos hellénique,

dans l'espace infini du nouvel Univers. C'est dans ce nouvel Univers, dans ce nouveau monde d'une géométrie faite réelle, que les lois de la physique classique trouvent valeur et application.

La dissolution du Cosmos, je le répète, voilà me semble-t-il la révolution la plus profonde accomplie ou subie par l'esprit humain depuis l'invention du Cosmos par les Grecs. C'est une révolution si profonde, aux conséquences si lointaines, que pendant des siècles, les hommes — à de rares exceptions, dont Pascal — n'en ont pas saisi la portée et le sens ; maintenant encore elle est souvent sous-estimée et mal comprise.

Ce que les fondateurs de la science moderne, et parmi eux Galilée, devaient donc faire, ce n'était pas de critiquer et de combattre certaines théories erronées, pour les corriger ou les remplacer par de meilleures. Ils devaient faire tout autre chose. Ils devaient détruire un monde et le remplacer par un autre. Ils devaient réformer la structure de notre intelligence elle-même, formuler à nouveau et réviser ses concepts, envisager l'Être d'une nouvelle manière, élaborer un nouveau concept de la connaissance, un nouveau concept de la science — et même substituer à un point de vue assez naturel, celui du sens commun, un autre qui ne l'est pas du tout<sup>1</sup>.

Ceci explique pourquoi la découverte de choses, de lois, qui aujourd'hui paraissent si simples et si faciles qu'on les enseigne aux enfants — lois du mouvement, loi de la chute des corps — exigea un effort si long, si ardu, souvent vain, de quelques-uns des plus grands génies de l'humanité, un Galilée, un Descartes<sup>2</sup>. Ce fait, à son tour, me semble réfuter les essais modernes pour minimiser, voire nier l'originalité de la pensée de Galilée, ou du moins son caractère révolutionnaire ; il rend manifeste aussi que l'apparente continuité dans le développement de la physique, du Moyen Age aux Temps modernes (continuité que

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 la considération du meilleur. »

1. Cf. P. Tannery, « Galilée et les principes de la dynamique », *Mémoires scientifiques*, 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 on cherche à se replacer dans l'état d'esprit que pouvait avoir un penseur indépendant au commencement du xvii<sup>e</sup> siècle, il est difficile de méconnaître que ce système est beaucoup plus conforme que le nôtre à l'observation immédiate des faits. »

2. Cf. mes *Études galiléennes*, II, *La loi de la chute des corps*, Paris, 1940.

Caverni et Duhem ont si énergiquement soulignée) est illusoire<sup>1</sup>. Il est vrai, bien sûr, qu'une tradition ininterrompue conduit des œuvres des nominalistes parisiens à celles de Benedetti, Bruno, Galilée et Descartes. (J'ai moi-même ajouté un chaînon à l'histoire de cette tradition<sup>2</sup>). Cependant, la conclusion qu'en tire Duhem est trompeuse : une révolution bien préparée reste néanmoins une révolution, et, en dépit du fait que Galilée lui-même dans sa jeunesse (comme Descartes parfois) partagea les vues et enseigna les théories des critiques médiévaux d'Aristote, la science moderne, la science née de ses efforts et de ses découvertes *ne suit pas* l'inspiration des « précurseurs parisiens de Galilée » ; elle se place immédiatement à un niveau tout autre — un niveau que j'aimerais appeler archimédien. Le véritable précurseur de la physique moderne n'est ni Buridan, ni Nicole Oresme, ni même Jean Philopon, mais Archimède<sup>3</sup>.

## I

On peut diviser en deux périodes l'histoire de la pensée scientifique du Moyen Age et de la Renaissance, que nous commençons à connaître un peu mieux<sup>4</sup>. Ou plutôt,

1. Cf. Caverni, *Storia del metodo sperimentale in Italia*, 5 vol., Firenze, 1891-1896, en particulier les volumes IV et V. — P. Duhem, *Le Mouvement absolu et le mouvement relatif*, Paris, 1905 ; « De l'accélération produite par une force constante », *Congrès international de l'Histoire des Sciences*, 111<sup>e</sup> session, Genève, 1906 ; *Études sur Léonard de Vinci : Ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu*, 3 vol., Paris, 1909-1913, en particulier le volume 111 : *Les précurseurs parisiens de Galilée*. Tout récemment la thèse de la continuité a été soutenue par J. H. Randall, Jr., dans son brillant article : « Scientific method in the school of Padua », *Journal of the History of Ideas*, 1, 1940 ; Randall montre de façon convaincante l'élaboration progressive de la méthode de « résolution et composition » dans l'enseignement des grands logiciens de la Renaissance. Cependant Randall lui-même déclare qu'« un élément fit défaut dans la méthode formulée par Zabarella : il n'exigea pas que les principes de la science naturelle soient mathématiques » (p. 204), et que le *Tractatus de pædia* de Cremonini « retentit comme l'avertissement solennel à l'égard des mathématiciens triomphants de la grande tradition aristotélicienne d'emprisme rationnel » (*ibid.*). Or « cette insistance sur le rôle des mathématiques qui s'ajouta à la méthodologie logique de Zabarella » (p. 205) constitue précisément, selon moi, le contenu de la révolution scientifique du xvii<sup>e</sup> siècle et, dans l'opinion de l'époque, la ligne de partage entre les partisans de Platon et ceux d'Aristote.

2. Cf. *Études galiléennes*, 1 : *A l'aube de la science classique*, Paris, 1940.

3. Le xvi<sup>e</sup> siècle, du moins dans sa seconde moitié, est la période où l'on reçut, étudia, et comprit peu à peu Archimède.

4. Nous devons cette connaissance principalement aux travaux de P. Duhem (aux ouvrages cités plus haut (n. 1), il faut ajouter : *Les Origines de la statique*, 2 vol., Paris, 1905 et *Le Système du monde*, 5 vol., Paris, 1913-1917) et à ceux de Lynn Thorndike, cf. sa monumentale *History of Magic and Experimental Science*, 6 vol., New York, 1923-1941. Cf. également F. J. Dijksterhuis, *Wat en Worp*, Groningen, 1924.

comme l'ordre chronologique ne correspond que très grossièrement à cette division, on pourrait distinguer *grosso modo* l'histoire de la pensée scientifique en trois étapes ou époques qui correspondent à leur tour à trois types différents de pensée : la physique aristotélicienne d'abord; ensuite la physique de l'*impetus*, issue, comme tout le reste, de la pensée grecque et élaborée dans le courant du xiv<sup>e</sup> siècle par les nominalistes parisiens; enfin, la physique moderne, mathématique, du type d'Archimède ou de Galilée.

Ces étapes, nous les trouvons dans les œuvres du jeune Galilée : elles ne nous renseignent pas seulement sur l'histoire — ou la préhistoire — de sa pensée, sur les mobiles et les motifs qui l'ont dominée et inspirée, mais elles nous offrent en même temps, ramassé et pour ainsi dire clarifié par l'admirable intelligence de son auteur, un tableau frappant et profondément instructif de toute l'histoire de la physique prégaliléenne. Retraçons brièvement cette histoire, en commençant par la physique d'Aristote.

La physique d'Aristote est fautive, bien entendu, et complètement périmée. Néanmoins c'est une « physique », c'est-à-dire une science hautement élaborée, bien qu'elle ne le soit pas mathématiquement<sup>1</sup>. Ce n'est pas de l'imaginaire puéril ni un grossier énoncé logomachique de sens commun, mais une théorie, c'est-à-dire une doctrine qui, partant naturellement des données du sens commun, les soumet à un traitement extrêmement cohérent et systématique<sup>2</sup>.

Les faits ou données qui servent de fondement à cette élaboration théorique sont très simples et, en pratique, nous les admettons exactement comme le faisait Aristote. Tous, nous trouvons toujours « naturel » de voir un corps lourd tomber « en bas ». Exactement comme Aristote ou saint Thomas, nous serions profondément étonnés de voir un grave — pierre ou taureau — s'élever librement en l'air. Cela nous semblerait assez « contre nature » et nous chercherions à l'expliquer par quelque mécanisme caché.

De la même manière, nous trouvons toujours « naturel »

1. La physique aristotélicienne est par essence non mathématique. La présenter comme le fait Duhem (*De l'accélération produite par une force constante*, p. 859) comme simplement fondée sur une autre formule mathématique que la nôtre, est une erreur.

2. Souvent l'historien moderne de la pensée scientifique n'apprécie pas assez le caractère systématique de la physique aristotélicienne.

de voir la flamme d'une allumette se diriger vers « le haut » et de placer nos casseroles « sur » le feu. Nous serions surpris et chercherions une explication si nous voyions, par exemple, la flamme se retourner et pointer vers « le bas ». Qualifierions-nous cette conception ou plutôt cette attitude de puéride et simpliste? Peut-être. Nous pouvons même signaler que, selon Aristote lui-même, la science commence précisément lorsqu'on cherche à expliquer les choses qui paraissent naturelles. Cependant, quand la thermodynamique énonce comme un principe que la « chaleur » passe d'un corps chaud à un corps froid, mais non d'un corps froid à un corps chaud, ne traduit-elle pas simplement l'intuition du sens commun qu'un corps « chaud » devient « naturellement » froid mais qu'un corps froid ne devient pas « naturellement » chaud? Et même quand nous déclarons que le centre de gravité d'un système tend à prendre la position la plus basse et ne s'élève pas tout seul, ne traduisons-nous pas simplement une intuition du sens commun, celle-là même qu'exprime la physique aristotélicienne en distinguant le mouvement « naturel » du mouvement « violent <sup>1</sup> »?

En outre, la physique aristotélicienne, pas plus que la thermodynamique, ne se satisfait d'exprimer simplement dans son langage le « fait » de sens commun que nous venons de mentionner; elle le transpose; la distinction entre mouvements « naturels » et mouvements « violents » se situe dans une conception d'ensemble de la réalité physique, conception dont les principaux traits semblent être : a) la croyance à l'existence de « natures » qualitativement définies; et b) la croyance à l'existence d'un Cosmos — en somme la croyance à l'existence de principes d'ordre en vertu desquels l'ensemble des êtres réels forme un tout hiérarchiquement ordonné.

Tout, ordre cosmique, harmonie : ces concepts impliquent que dans l'Univers les choses sont (ou doivent être) distribuées et disposées dans un certain ordre déterminé; que leur localisation n'est indifférente ni pour elles, ni pour l'Univers; qu'au contraire chaque chose a, selon sa nature, une « place » déterminée dans l'Univers, la sienne propre en un sens <sup>2</sup>. Une place pour chaque chose et chaque chose à sa place : le concept de « lieu naturel » exprime cette exigence théorique de la physique aristotélicienne.

1. Cf. E. Mach, *Die Mechanik*, pp. 124 sq.

2. C'est seulement à « sa » place qu'un être atteint son accomplissement et devient vraiment lui-même. Et voilà pourquoi il tend à atteindre cette place.

La conception de « lieu naturel » est fondée sur une conception purement statique de l'ordre. En effet, si chaque chose était « en ordre », chaque chose serait à sa place naturelle et, bien entendu, y resterait et y demeurerait pour toujours. Pourquoi devrait-elle la quitter? Au contraire, elle offrirait une résistance à tout effort pour l'en chasser. On ne pourrait l'en expulser qu'en exerçant quelque espèce de *violence*, et si, du fait d'une telle *violence*, le corps se trouvait hors de « sa » place, il chercherait à y revenir.

Ainsi, tout mouvement implique quelque espèce de désordre cosmique, un dérangement dans l'équilibre de l'univers, car il est soit l'effet direct de la *violence*, soit, au contraire, l'effet de l'effort de l'Être pour compenser cette *violence*, pour recouvrer son ordre et son équilibre perdus et troublés, pour ramener les choses à leurs lieux naturels, lieux où elles doivent reposer et demeurer. C'est ce retour à l'ordre qui constitue précisément ce que nous avons appelé mouvement « naturel <sup>1</sup> ».

Troubler l'équilibre, revenir à l'ordre : il est parfaitement clair que l'ordre constitue un état solide et durable qui tend à se perpétuer lui-même indéfiniment. Il n'y a donc pas besoin d'expliquer l'état de repos, du moins l'état d'un corps au repos dans son lieu naturel, propre; c'est sa propre nature qui l'explique, qui explique par exemple que la Terre soit au repos au centre du monde. De même il est évident que le mouvement est nécessairement un état transitoire : un mouvement naturel se termine naturellement quand il atteint son but. Quant au mouvement violent, Aristote est trop optimiste pour admettre que cet état anormal pourrait durer; en outre, le mouvement violent est un désordre qui engendre du désordre, et admettre qu'il pourrait durer indéfiniment signifierait en fait que l'on abandonne l'idée même d'un Cosmos bien ordonné. Aristote maintient donc la croyance rassurante que rien de ce qui est *contra naturam possit esse perpetuum* <sup>2</sup>.

Ainsi, comme nous venons de le dire, le mouvement, dans la physique aristotélicienne, est un état essentiellement transitoire. Pris à la lettre, cependant, cet énoncé serait incorrect et même doublement incorrect. Le fait est que le mouvement, bien qu'il soit pour *chacun des*

1. Les conceptions de « lieux naturels » et de « mouvements naturels » impliquent celle d'un Univers fini.

2. Aristote, *Physique*, VIII, 8, 215 b.

*corps mus*, ou du moins pour ceux du monde sublunaire, pour les objets mobiles de notre expérience, un état nécessairement transitoire et éphémère, est néanmoins pour l'ensemble du monde un phénomène nécessairement éternel, et par conséquent éternellement nécessaire<sup>1</sup> — un phénomène que nous ne pouvons pas expliquer sans découvrir son origine et sa cause dans la structure physique aussi bien que métaphysique du Cosmos. Une telle analyse montrerait que la structure ontologique de l'Être matériel l'empêche d'atteindre l'état de perfection qu'implique la notion de repos absolu et nous permettrait de voir la cause physique dernière des mouvements temporaires, éphémères et variables des corps sublunaires dans le mouvement continu, uniforme et perpétuel des sphères célestes<sup>2</sup>. D'autre part, le mouvement n'est pas, à proprement parler, un *état* : c'est un processus, un flux, un *devenir*, dans et par lequel les choses se constituent, s'actualisent et s'accomplissent<sup>3</sup>. Il est parfaitement vrai que l'Être est le terme du devenir et le repos le but du mouvement. Cependant, le repos immuable d'un être pleinement actualisé est quelque chose d'entièrement différent de l'immobilité lourde et impuissante d'un être incapable de se mouvoir lui-même; le premier est quelque chose de positif, « perfection et *actus* », la seconde n'est qu'une « privation ». Par conséquent, le mouvement — *processus*, devenir, changement — se trouve placé du point de vue ontologique entre les deux. C'est l'être de tout ce qui change, de tout ce dont l'être est altération et modification et qui n'est qu'en changeant et se modifiant. La célèbre définition aristotélicienne du mouvement — *actus entis in potentia in quantum est in potentia* — que Descartes trouvera parfaitement inintelligible — exprime admirablement le fait : le mouvement est l'être — ou l'*actus* — de tout ce qui n'est pas Dieu.

Ainsi, se mouvoir c'est changer, *aliter et aliter se habere*, changer en soi-même et par rapport aux autres. Ceci implique d'une part un terme de référence par rapport auquel la chose mue change son être ou sa relation; ce qui

1. Le mouvement ne peut résulter que d'un mouvement antérieur. Par conséquent tout mouvement effectif implique une série infinie de mouvements précédents.

2. Dans un Univers fini le seul mouvement uniforme qui peut persister indéfiniment est un mouvement circulaire.

3. Cf. Kurt Riezler, *Physics and Reality*, New Haven, 1940.

implique — si nous examinons le mouvement local<sup>1</sup> — l'existence d'un point fixe par rapport auquel le mù se meut, un point fixe immuable; lequel, évidemment, ne peut être que le centre de l'Univers. D'autre part, le fait que chaque changement, chaque processus, a besoin pour s'expliquer d'une cause, implique que chaque mouvement a besoin d'un moteur pour le produire, moteur qui le maintient en mouvement aussi longtemps que le mouvement dure. Le mouvement en effet ne se maintient pas, comme le repos. Le repos — état de privation — n'a pas besoin de l'action d'une cause quelconque pour expliquer sa persistance. Le mouvement, le changement, n'importe quel processus d'actualisation ou de dépérissement, et même d'actualisation ou de dépérissement continu, ne peut se passer d'une telle action. Otez la cause, le mouvement s'arrêtera. *Cessante causa cessat effectus*<sup>2</sup>.

Dans le cas du mouvement « naturel », cette cause, ce moteur est la nature même du corps, sa « forme » qui cherche à le ramener à sa place et maintient ainsi le mouvement. *Vice versa*, le mouvement qui est *contra naturam* exige pendant toute sa durée l'action *continue* d'un moteur externe joint au corps mù. Otez le moteur, le mouvement s'arrêtera. Détachez-le du corps mù, le mouvement s'arrêtera aussi. Aristote, nous le savons bien, n'admet pas l'action à distance<sup>3</sup>; chaque transmission de mouvement implique selon lui un contact. Il n'y a donc que deux genres d'une telle transmission : la pression et la traction. Pour faire bouger un corps, il faut soit le pousser, soit le tirer. Il n'existe pas d'autres moyens.

La physique aristotélicienne forme ainsi une admirable théorie parfaitement cohérente qui, à dire le vrai, ne présente qu'un défaut (outre celui d'être fausse) : le défaut d'être démentie par l'usage quotidien du lancer. Mais un théoricien qui mérite ce nom ne se laisse pas troubler par une objection tirée du sens commun. S'il rencontre un « fait » qui ne cadre pas avec sa théorie, il en nie l'existence. S'il ne peut pas le nier, il l'explique. C'est dans l'explication de ce fait quotidien, celui du lancer, mouvement qui

1. Le mouvement local — déplacement — n'est qu'une espèce, quoique particulièrement importante, de « mouvement » (*kinesis*), mouvement dans le domaine de l'espace, par contraste avec l'altération, mouvement dans le domaine de la qualité, et la génération et la corruption, mouvement dans le domaine de l'être.

2. Aristote a parfaitement raison. Aucun processus de changement ou de devenir ne peut se passer de cause. Si le mouvement, dans la physique moderne, persiste par lui-même, c'est parce qu'il n'est plus qu'un processus.

3. Le corps *tend* vers son lieu naturel, mais il n'est pas *attiré* par lui.

continue en dépit de l'absence d'un « moteur », fait apparemment incompatible avec sa théorie, qu'Aristote nous donne la mesure de son génie. Sa réponse consiste à expliquer le mouvement apparemment sans moteur du projectile par la réaction du milieu ambiant, air ou eau<sup>1</sup>. La théorie est un coup de génie. Malheureusement (outre que c'est faux), c'est absolument impossible du point de vue du sens commun. Il n'est donc pas étonnant que la critique de la dynamique aristotélicienne en revienne toujours à la même *questio disputata*: *a quo moveantur projecta?*

## II

Nous reviendrons dans un moment à cette *questio* mais nous devons d'abord examiner un autre détail de la dynamique aristotélicienne : la négation de tout vide et du mouvement dans un vide. Dans cette dynamique en effet, un vide ne permet pas au mouvement de se produire plus facilement ; au contraire, il le rend complètement impossible ; ceci pour des raisons très profondes.

Nous avons déjà dit que, dans la dynamique aristotélicienne, chaque corps est conçu comme doué d'une tendance à se trouver dans son lieu naturel et à y revenir s'il en est écarté par violence. Cette tendance explique le mouvement naturel d'un corps : mouvement qui l'apporte à son lieu naturel par le chemin le plus court et le plus rapide. Il s'ensuit que tout mouvement naturel procède en ligne droite et que chaque corps chemine vers son lieu naturel aussi vite que possible ; c'est-à-dire aussi vite que son milieu, qui résiste à son mouvement et s'y oppose, lui permet de le faire. Si donc il n'y avait rien pour l'arrêter, si le milieu ambiant n'opposait aucune résistance au mouvement qui le traverse (tel serait le cas dans un vide) le corps cheminerait vers « sa » place avec une vitesse infinie<sup>2</sup>. Mais un tel mouvement serait instantané, ce qui — à juste titre — semble absolument impossible à Aristote. La conclusion est évidente : un mouvement (naturel) ne peut pas se produire dans le vide. Quant au mouvement violent, celui par exemple de lancer, un mouvement dans le vide équivaldrait à un mouvement sans moteur ; il est évident que le vide n'est pas un milieu physique et ne peut

1. Cf. Aristote, *Physique*, IV, 8, 215 a ; VIII, 10, 267 a ; *De Cælo*, III, 2, 301 b. — E. Meyerson, *Identité et réalité*, p. 84.

2. Cf. Aristote, *Physique*, VII, 5, 249 b, 250 a ; *De Cælo*, III, 2, 301 e.

pas recevoir, transmettre et maintenir un mouvement. En outre, dans le vide (comme dans l'espace de la géométrie euclidienne), il n'y a pas de lieux privilégiés ou de directions. Dans le vide il n'y a pas, et il ne peut pas y avoir, de lieux « naturels ». Par conséquent, un corps placé dans le vide ne saurait pas où aller, n'aurait aucune raison de se diriger dans une direction plutôt que dans une autre, et donc aucune raison du tout de bouger. *Vice versa*, une fois mis en mouvement, il n'aurait pas plus de raison de s'arrêter ici que là, et donc aucune raison du tout de s'arrêter<sup>1</sup>. Les deux hypothèses sont complètement absurdes.

Aristote, une fois encore, a parfaitement raison. Un espace vide (celui de la géométrie) détruit entièrement la conception d'un ordre cosmique : dans un espace vide, non seulement il n'existe pas de lieux naturels<sup>2</sup>, mais pas de lieux du tout. L'idée d'un vide n'est pas compatible avec la compréhension du mouvement comme changement et comme processus — peut-être même pas avec celle du mouvement concret de corps concrets « réels », perceptibles : je veux dire les corps de notre expérience quotidienne. Le vide est un *non-sens*<sup>3</sup>; placer les choses dans un tel *non-sens* est absurde<sup>4</sup>. Les corps géométriques seuls peuvent être « placés » dans un espace géométrique.

Le physicien examine des choses réelles, le géomètre des raisons au sujet d'abstractions. Par conséquent, soutient Aristote, rien ne pourrait être plus dangereux que de mêler géométrie et physique et d'appliquer une méthode et un raisonnement purement géométriques à l'étude de la réalité physique.

### III

J'ai déjà signalé que la dynamique aristotélicienne, en dépit — ou peut-être à cause — de sa perfection théorique, présentait un grave inconvénient; celui d'être absolument non plausible, complètement incroyable et inacceptable pour le gros bon sens, et évidemment en contradiction avec l'expérience quotidienne la plus commune. Rien d'étonnant donc à ce qu'elle n'ait jamais joui d'une recon-

1. Cf. Aristote, *Physique*, IV, 8, 214 b; 215 b.

2. Si on le préfère, on peut dire que dans un vide tous les lieux sont les lieux naturels de toute espèce de corps.

3. Kant appelait l'espace vide un *Unding*.

4. Telle était, nous le savons, l'opinion de Descartes et de Spinoza.

naissance universelle et à ce que les critiques et les adversaires de la dynamique d'Aristote lui aient toujours opposé cette observation de bon sens qu'un mouvement se poursuit, séparé de son moteur originaire. Les exemples classiques d'un tel mouvement, rotation persistante de la roue, vol de la flèche, jet d'une pierre, furent toujours invoqués à son encontre, depuis Hipparque et Jean Philopon, puis Jean Buridan et Nicole Oresme, jusqu'à Léonard de Vinci, Benedetti et Galilée<sup>1</sup>.

Je n'ai pas l'intention d'analyser ici les arguments traditionnels qui, depuis Jean Philopon<sup>2</sup>, ont été répétés par les partisans de sa dynamique. On peut les classer *grosso modo* en deux groupes : a) Les premiers arguments sont d'ordre matériel et soulignent combien est improbable la supposition selon laquelle un corps gros et lourd, balle, meule qui tourne, flèche qui vole contre le vent, peut être mù par la réaction de l'air; b) Les autres sont d'ordre formel, et signalent le caractère contradictoire de l'attribution à l'air d'un double rôle, celui de résistance et celui de moteur, ainsi que le caractère illusoire de toute la théorie : elle ne fait que déplacer le problème, du corps à l'air, et se trouve, par là, obligée d'attribuer à l'air ce qu'elle refuse à d'autres corps, la capacité de maintenir un mouvement séparé de sa cause externe. S'il en est ainsi, demande-t-on, pourquoi ne pas supposer que le moteur transmet au corps mù, ou lui imprime, quelque chose qui le rend capable de se mouvoir — quelque chose appelé *dynamis*, *virtus motiva*, *virtus impressa*, *impetus*, *impetus impressus*, quelquefois *forza* ou même *molio*, et qui est toujours représenté comme quelque espèce de puissance

1. Pour l'histoire de la critique médiévale d'Aristote, cf. les ouvrages cités plus haut (p. 172, n. 1), et B. Jansen, Olivi, « Der älteste scholastische Vertreter des heutigen Bewegungsbegriffes », *Philosophisches Jahrbuch* (1920); K. Michalsky, « La Physique nouvelle et les différents courants philosophiques au XIV<sup>e</sup> siècle », *Bulletin international de l'Académie polonaise des sciences et des lettres*, Cracovie, 1927; S. Moser, *Grundbegriffe der Naturphilosophie bei Wilhelm von Occam* (Innsbruck, 1932); E. Borchert, *Die Lehre von der Bewegung bei Nicolaus Oresme* (Münster, 1934); R. Marcolongo « La Meccanica di Leonardo da Vinci », *Atti della reale accademia delle scienze e matematiche*, XIX (Napoli, 1933).

2. Sur Jean Philopon, qui semble être le véritable inventeur de la théorie de l'*impetus*, cf. E. Wohlwill, « Ein Vorgänger Galileis im VI. Jahrhundert », *Physicalische Zeitschrift*, VII (1906), et P. Duhem, *Le Système du monde*, I : *La Physique de Jean Philopon*, n'ayant pas été traduite en latin resta inaccessible aux scolastiques qui n'avaient à leur disposition que le bref résumé donné par Simplicius. Mais elle fut bien connue des Arabes, et la tradition arabe semble avoir influencé, directement et par la traduction d'Avicenne, l'école « parisienne » à un point insoupçonné jusqu'ici. Cf. le très important article de S. Pines, « Études sur Awhad al-Zamān Abū'l Barakāt al-Bagh-dāhī », *Revue des études juives* (1938).

ou de force qui passe du moteur au *mobile*, et continue alors le mouvement ou, mieux, produit le mouvement comme sa cause.

Il est évident, comme Duhem lui-même l'a reconnu, que nous sommes revenus au bon sens. Les partisans de la physique de l'*impetus* pensent en termes d'expérience quotidienne. N'est-il pas certain que nous avons besoin de faire un *effort*, de déployer et de dépenser de la force pour mouvoir un corps, par exemple pour pousser un chariot, lancer une pierre ou tendre un arc? N'est-il pas clair que c'est cette force qui meut le corps, ou plutôt, qui le fait se mouvoir? — que c'est la force que le corps reçoit du moteur qui le rend capable de surmonter une résistance (comme celle de l'air) et de s'attaquer à des obstacles?

Les partisans médiévaux de la dynamique de l'*impetus* discutent longuement, et sans succès, du statut ontologique de l'*impetus*. Ils essaient de le faire entrer dans la classification aristotélicienne, de l'interpréter comme une espèce de *forme* ou une espèce d'*habitus*, ou comme une espèce de qualité telle que la chaleur (Hipparque et Galilée). Ces discussions montrent seulement la nature confuse, imaginative de la théorie qui est directement un produit ou, si l'on peut dire, un condensé de sens commun.

Comme telle, elle s'accorde mieux encore que le point de vue aristotélicien avec les « faits » — réels ou imaginaires — qui constituent le fondement expérimental de la dynamique médiévale; en particulier avec le « fait » bien connu que tout projectile commence par accroître sa vitesse et acquiert le maximum de rapidité quelque temps après s'être séparé du moteur<sup>1</sup>. Chacun sait que pour sauter un obstacle, il faut

1. Il est intéressant de remarquer que cette croyance absurde, qu'Aristote partagea et enseigna (*De Cælo*, II, 6), était si profondément enracinée et si universellement acceptée que Descartes lui-même n'osa pas la nier ouvertement et, comme il le fit si souvent, préféra l'expliquer. En 1630, il écrit à Mersenne (A.-T., I, p. 110) : « Je voudrais bien aussi sçavoir si vous n'avez point expérimenté si une pierre jettée avec une fronde, ou la baie d'un mousquet, ou un traist d'arbaleste, 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'incontinent après. » En 1632 (A.-T., I, p. 259) et une fois de plus en 1640 (A.-T., II, pp. 37 sq.) il explique à son ami ce qui est vrai dans cette croyance : « *In motu projectorum*, je ne croie point que le Missile aille jamais moins vite au commencement qu'à la fin, à conter dès le premier moment qu'il cesse d'être poussé par la main ou la machine; mais je crois bien qu'un mousquet, n'estant éloigné que d'un pied et demi d'une muraille n'aura pas tant d'effet que s'il en était éloigné de quinze ou de vingt pas, à cause que la baie, en sortant du mousquet ne peut si aisément chasser l'air qui est entre lui et cette muraille et ainsi doit aller moins viste que si cette muraille estoit moins