

mouvement, son hésitation à rejeter complètement et radicalement les données de l'expérience en faveur du postulat théorique qu'il a eu tant de mal à établir, qui l'empêche de faire le dernier pas sur le chemin qui mène du Cosmos fini des Grecs à l'Univers infini des Modernes.

Le principe d'inertie est très simple. Il affirme qu'un corps abandonné à lui-même reste dans son *état* de repos ou de mouvement aussi longtemps que cet état n'est pas soumis à l'action d'une force extérieure quelconque. En d'autres termes, un corps en repos restera éternellement en repos à moins qu'il ne soit mis en mouvement. Et un corps en mouvement continuera de se mouvoir et se maintiendra dans son mouvement rectiligne et uniforme aussi longtemps qu'aucune force extérieure ne l'empêchera de le faire ¹.

Le principe du mouvement d'inertie nous apparaît parfaitement clair, plausible et même pratiquement évident. Il nous semble tout à fait naturel qu'un corps au repos restera au repos, c'est-à-dire restera là où il est — où que ce soit — et n'en bougera pas spontanément pour se mettre ailleurs. Et que, *converso modo*, une fois mis en mouvement, il continuera de se mouvoir, et de se mouvoir dans la même direction et avec la même vitesse, parce que, en effet, nous ne voyons pas de raison ni de cause pour qu'il change l'une ou l'autre. Ceci nous paraît non seulement plausible, mais aller de soi. Personne, croyons-nous, n'a jamais pensé autrement. Pourtant il n'en est rien. En fait, les caractères d' « évidence » et d' « aller de soi » dont jouissent les conceptions que je viens d'évoquer, datent d'hier. Elles les possèdent pour nous, grâce justement à Galilée et à Descartes, alors que pour les Grecs, ainsi que pour le Moyen Age, elles auraient semblé — ou ont semblé — être manifestement fausses; et même être absurdes. Ce fait ne peut être expliqué que si nous admettons ou reconnaissons — que toutes ces notions « claires » et « simples » qui forment la base de la science moderne ne sont pas « claires » et « simples » *per se* et *in se*, mais en tant qu'elles font partie d'un certain ensemble de concepts et d'axiomes en dehors duquel elles ne sont pas « simples » du tout.

Ceci, à son tour, nous permet de comprendre pourquoi

1. Cf. Isaac Newton, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*; Axiomata sive leges motus : Lex I : Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viris impressis cogitur statum illum mutare.

la découverte de choses aussi simples et faciles que, par exemple, les lois fondamentales du mouvement, qui sont aujourd'hui enseignées aux enfants — et comprises par eux, — a exigé un effort aussi considérable, et un effort qui souvent est resté sans succès, à quelques-uns des esprits les plus profonds et les plus puissants de l'humanité : c'est qu'ils n'avaient pas à découvrir ou à établir ces lois simples et évidentes, mais à créer et à construire le cadre même qui rendrait ces découvertes possibles. Ils ont dû, pour commencer, réformer notre intellect lui-même; lui donner une série de concepts nouveaux; élaborer une idée nouvelle de la nature, une conception nouvelle de la science, autrement dit une nouvelle philosophie. Or, il nous est presque impossible d'apprécier à leur juste valeur les obstacles qui ont dû être surmontés pour les établir et les difficultés qu'elles impliquent et contiennent : ceci parce que nous connaissons trop bien les concepts et les principes qui forment la base de la science moderne ou, plus exactement, parce que nous y sommes trop habitués.

Le concept galiléen du mouvement (de même que celui de l'espace) nous paraît tellement naturel que nous croyons même que la loi d'inertie dérive de l'expérience et de l'observation, bien que, de toute évidence, personne n'a jamais pu observer un mouvement d'inertie, pour cette simple raison qu'un tel mouvement est entièrement et absolument impossible.

Nous sommes également tellement habitués à l'utilisation des mathématiques pour l'étude de la nature, que nous ne nous rendons plus compte de l'audace de l'assertion de Galilée que « le livre de la nature est écrit en caractères géométriques », pas plus que nous ne sommes conscients du caractère paradoxal de sa décision de traiter la mécanique comme une branche des mathématiques, c'est-à-dire de substituer au monde réel de l'expérience quotidienne un monde géométrique hypostasié et d'expliquer le réel par l'impossible.

Dans la science moderne, comme nous le savons bien, l'espace réel est identifié à celui de la géométrie, et le mouvement est considéré comme une translation purement géométrique d'un point à un autre. C'est pourquoi le mouvement n'affecte d'aucune façon le corps qui en est doué. Le fait d'être en mouvement ou au repos ne produit aucune modification dans le corps; qu'il soit en mouvement ou au repos, il est toujours identique à

lui-même. En tant que tel, il est absolument indifférent aux deux. Aussi sommes-nous incapables d'attribuer le mouvement à un corps déterminé pris en lui-même.

Un corps est en mouvement seulement par rapport à un autre corps que nous supposons être en repos. C'est pourquoi nous pouvons l'attribuer à l'un ou à l'autre des deux corps, *ad libitum*. Tout mouvement est relatif.

De même que le mouvement n'affecte pas le corps qui en est doué, un mouvement donné n'exerce aucune influence sur les autres mouvements que le corps en question pourrait exécuter en même temps. Ainsi un corps peut être doué d'un nombre indéterminé de mouvements qui se combinent selon les lois purement géométriques; et *vice versa*, tout mouvement donné peut être décomposé selon ces mêmes lois, en un nombre indéterminé de mouvements composants.

Or, ceci étant admis, le mouvement est néanmoins considéré comme un *état* et le repos, comme un autre *état*, complètement et absolument opposé au premier; de ce fait même nous devons appliquer une force pour changer l'*état* de mouvement d'un corps donné en celui de repos et *vice versa*.

Il en résulte qu'un corps en état de mouvement persistera éternellement dans ce mouvement, comme un corps en repos persiste dans son repos; et qu'il n'aura pas plus besoin d'une force ou d'une cause pour le maintenir dans son mouvement uniforme et rectiligne qu'il n'en aura besoin pour le maintenir immobile, en repos.

En d'autres termes, le principe d'inertie présuppose : a) la possibilité d'isoler un corps donné de tout son entourage physique, et de le considérer comme s'effectuant tout simplement dans l'espace, b) la conception de l'espace qui l'identifie avec l'espace homogène infini de la géométrie euclidienne, et c) une conception du mouvement et du repos qui les considère comme des *états* et les place sur le même niveau ontologique de l'être. C'est à partir de ces prémisses seules qu'il apparaît évident, ou même admissible. Aussi n'est-il pas étonnant que ces conceptions parurent difficiles à admettre — et même à comprendre — aux prédécesseurs et contemporains de Galilée; rien d'étonnant à ce que pour ses adversaires aristotéliens la notion du mouvement compris comme un état relatif, persistant et substantiel, parut aussi abstruse et contradictoire que nous apparaissent les fameuses formes substantielles de la scolastique; rien d'étonnant à ce que Galilée

ait dû dépenser pas mal d'efforts avant d'avoir réussi à former cette conception et que de grands esprits, tels que Bruno et même que Kepler, ne parvinrent pas à atteindre ce but. En fait, même de nos jours, la conception que nous décrivons n'est pas facile à saisir. Le sens commun est — et a toujours été — médiéval et aristotélicien.

Nous devons à présent jeter un coup d'œil sur la conception prégaliléenne et surtout aristotélicienne du mouvement et de l'espace. Je ne vais pas, bien entendu, tenter de faire ici un exposé de la physique aristotélicienne. Je vais seulement signaler certains de ses traits caractéristiques, traits qui l'opposent à la physique moderne.

Je voudrais également souligner un fait qui est assez souvent méconnu, à savoir le fait que la physique d'Aristote n'est pas un amas d'incohérences, mais au contraire est une théorie scientifique, hautement élaborée et parfaitement cohérente, et qui non seulement possède une base philosophique très profonde, mais encore, ainsi que l'ont montré P. Duhem et P. Tannery¹, s'accorde — bien mieux que celle de Galilée — avec le sens commun et l'expérience quotidienne.

La physique d'Aristote est basée sur la perception sensible, et c'est pour cela qu'elle est résolument anti-mathématique. Elle se refuse à substituer une abstraction géométrique aux faits qualitativement déterminés de l'expérience et du sens commun et elle dénie la possibilité même d'une physique mathématique en se fondant : a) sur une hétérogénéité des concepts mathématiques avec les données de l'expérience sensible ; b) sur l'incapacité des mathématiques d'expliquer la qualité et de déduire le mouvement. Il n'y a ni qualité, ni mouvement dans le royaume intemporel des figures et des nombres.

Quant au mouvement (*kinesis*) et même au mouvement local, la physique aristotélicienne le considère comme une sorte de processus de changement, en opposition au *repos*, qui, étant le but et la fin du mouvement, doit être reconnu comme un *état*. Tout mouvement est changement (actualisation ou corruption) et, par conséquent, un corps en mouvement, non seulement change par rapport aux autres corps, mais, en même temps, est soumis lui-même à un processus de changement. C'est pourquoi le mouvement affecte toujours le corps qui se meut et, par conséquent,

1. Cf. P. Duhem, *Le Système du monde*, vol. I, pp. 91 sq., Paris, Hermann, 1915; P. Tannery, « Galilée et les principes de la dynamique », *Mémoires scientifiques*, vol. VI, Paris, 1926.

si le corps est doué de deux ou plusieurs mouvements, ces mouvements se gênent, s'entravent l'un l'autre et sont même quelquefois incompatibles l'un avec l'autre. De plus, la physique aristotélicienne n'admet pas le droit, ni même la possibilité, d'identifier l'espace concret de son Cosmos fini et bien ordonné avec l'espace de la géométrie, pas plus qu'elle n'admet la possibilité d'isoler un corps donné de son entourage physique (et cosmique). Par conséquent, quand on traite des problèmes concrets de physique, il est toujours nécessaire de tenir compte de l'ordre du Monde, de considérer la région de l'être (la place « naturelle ») à laquelle un corps donné appartient par sa nature même; d'autre part, il est impossible d'essayer de soumettre ces différents domaines aux mêmes lois, même — et surtout peut-être — aux mêmes lois du mouvement.

Ainsi, par exemple, les corps terrestres se meuvent en ligne droite, les corps célestes en cercles; les corps lourds descendent tandis que les corps légers montent; ces mouvements sont, pour eux, « naturels »; en revanche, il n'est pas naturel pour un corps lourd de monter, pour un corps léger, de descendre : ce n'est que par « violence » que nous pouvons leur faire effectuer ces mouvements, etc.

Il est clair, même d'après ce bref résumé, que le mouvement, considéré comme un *processus de changement* (et non comme un *état*) ne peut se prolonger spontanément et automatiquement, qu'il exige pour persister l'action continue d'un moteur ou d'une cause et qu'il s'arrête net dès que cette action cesse de s'exercer sur le corps en mouvement, c'est-à-dire dès que le corps en question est séparé de son moteur. *Cessante causa cessat effectus*. Il s'ensuit que, de toute évidence, le genre de mouvement postulé par le principe d'inertie est totalement impossible et même contradictoire.

Tournons-nous maintenant vers les faits. J'ai déjà dit que la science moderne était née dans un contact étroit avec l'astronomie; plus précisément, elle prend son origine dans la nécessité d'affronter les objections *physiques* opposées par nombre de savants de l'époque à l'astronomie copernicienne. En fait, ces objections n'avaient rien de nouveau : bien au contraire, tout en étant présentées quelquefois sous une forme légèrement modernisée, comme par exemple en remplaçant par le tir d'un boulet de canon le vieil argument du jet d'une pierre, elles sont identiques, quant au fond, avec celles qu'Aristote et Ptolémée soule-

vaient contre la possibilité du mouvement de la Terre. Il est néanmoins très intéressant et très instructif de voir ces objections discutées et rediscutées par Copernic lui-même, par Bruno, Tycho Brahé, Kepler et Galilée¹.

Les arguments d'Aristote et de Ptolémée, dépouillés de la parure imagée qu'ils leur ont donnée, peuvent être ramenés à l'assertion que, si la Terre se mouvait, ce mouvement aurait affecté les phénomènes se manifestant sur sa surface de deux manières parfaitement déterminées : 1° la vitesse formidable de ce mouvement (rotatif) développerait une force centrifuge d'une ampleur telle que tous les corps non reliés à la Terre seraient projetés au loin; 2° ce même mouvement obligerait tous les corps non liés à la Terre, ou temporairement détachés d'elle, tels les nuages, les oiseaux, les corps jetés en l'air, etc., à rester en arrière. C'est pourquoi une pierre tombant du haut d'une tour ne tomberait jamais à son pied, et *a fortiori*, une pierre (ou un boulet) lancé (ou tiré) perpendiculairement en l'air ne retomberait jamais à la place d'où elle était partie, puisque, pendant le temps de sa chute ou de son vol, cette place aurait été « rapidement retirée d'en dessous et se trouverait ailleurs ».

Nous ne devons pas nous moquer de cet argument. Du point de vue de la physique aristotélécienne, il est tout à fait juste. Si juste même que, sur la base de cette physique, il est irréfutable. Pour le détruire nous devons changer le système tout entier et développer un nouveau concept du mouvement : justement le concept du mouvement de Galilée.

Comme nous l'avons exposé, le mouvement pour les aristotéliens est un processus qui affecte le mobile, qui prend place « dans » le corps en mouvement. Un corps tombant se meut de A à B, d'un certain lieu situé au-dessus de la Terre vers celle-ci ou plus exactement *vers son centre*. Il suit la ligne droite qui unit ces deux points. Si pendant ce mouvement la Terre tourne autour de son axe, elle décrit par rapport à cette ligne (la ligne allant de A vers le centre de la Terre) un mouvement auquel ne prennent part ni cette ligne, ni le corps qui en est séparé. Le fait que la Terre au-dessous de lui se meut, ne peut affecter sa trajectoire. Le corps ne peut courir après la Terre, il poursuit sa route comme si rien ne se passait, car en effet rien ne lui arrive à lui. Même le fait que le point A

1. Cf. *Études galiléennes*, III : Galilée et le principe d'inertie.

(le sommet de la tour) ne reste pas immobile, mais participe au mouvement de la Terre, n'a aucune importance pour son mouvement : ce qui se produit dans le point de départ du corps (après qu'il l'ait quitté) n'a pas la moindre influence sur son comportement.

Cette conception peut nous paraître étrange. Mais elle n'est nullement absurde : c'est de cette manière exactement que nous nous représentons le mouvement — ou la propagation — d'un rayon de lumière. Ce rayon ne participe pas au mouvement de sa source. Or si le corps, en se séparant de la tour, ou de la surface de la Terre, cessait de participer au mouvement de celle-ci, un corps jeté du sommet d'une tour ne tomberait effectivement jamais à son pied; et une pierre ou un boulet de canon tiré verticalement en l'air ne retomberait jamais à la place d'où il était parti. Ce qui implique *a fortiori* qu'une pierre ou un boulet tombant du mât d'un navire en marche ne tombera jamais à son pied.

La réponse de Copernic aux arguments des aristotéliens est, à vrai dire, assez faible : il essaie de démontrer que des conséquences malheureuses déduites par ces derniers pourraient être justes dans le cas d'un mouvement « violent ». Mais non pas dans celui du mouvement de la Terre et par rapport aux choses qui appartiennent à la Terre, car, pour elles, c'est un mouvement *naturel*. C'est la raison pour laquelle toutes ces choses, les nuages, les oiseaux, les pierres, etc., participent au mouvement et ne restent pas en arrière.

Les arguments de Copernic sont très faibles. Et pourtant ils portent en eux les germes d'une nouvelle conception qui sera développée par des penseurs qui lui succéderont. Les raisonnements de Copernic appliquent les lois de la « mécanique céleste » aux phénomènes terrestres, un pas qui, implicitement, annonce l'abandon de la vieille division qualitative du Cosmos en deux mondes différents. De plus, Copernic explique le trajet *apparemment rectiligne* (bien qu'en fait décrivant une courbe) du corps en chute libre par sa participation au mouvement de la Terre; ce mouvement étant commun à la Terre, au corps et à nous-mêmes est pour nous « comme non-existant ».

Les arguments de Copernic sont basés sur une conception mythique de la « nature commune de la Terre et des choses terrestres ». La science postérieure devra la remplacer par le concept d'un système physique, d'un système

de corps partageant le même mouvement; elle devra s'appuyer sur la relativité *physique* et non *optique* du mouvement. Tout cela est impossible sur la base de la philosophie aristotélicienne du mouvement et exige l'adoption d'une autre philosophie. En fait, comme nous allons le voir plus clairement encore, c'est à des problèmes philosophiques que nous avons affaire dans cette discussion.

La conception du système physique, ou plus exactement mécanique, qui était implicitement présente dans les arguments de Copernic, a été élaborée par Giordano Bruno. Bruno découvrit, par une intuition de génie, que la nouvelle astronomie devait immédiatement abandonner la conception d'un monde fermé et fini pour la remplacer par celle d'un Univers ouvert et infini. Ceci implique l'abandon de la notion de lieux naturels et donc de celle de mouvements « naturels » opposés aux non naturels ou « violents ». Dans l'Univers infini de Bruno, dans lequel la conception platonicienne de l'espace compris comme « réceptacle » remplace la conception aristotélicienne de l'espace compris comme « enveloppe », les « lieux » sont parfaitement équivalents et, par conséquent, parfaitement naturels pour tous les corps quels qu'ils soient. Aussi, là où Copernic fait une distinction entre le mouvement « naturel » de la Terre et le mouvement « violent » des choses sur la Terre, Bruno les assimile. Tout ce qui se passe sur la Terre, à supposer qu'elle se meut, nous explique-t-il, est une contrepartie exacte de ce qui se passe sur un navire glissant sur la surface de la mer; et le mouvement *de* la Terre n'a pas plus d'influence sur le mouvement *sur* la Terre que le mouvement *du* navire n'en a sur ceux des choses qui sont *sur*, ou *dans*, ce navire.

Les conséquences déduites par Aristote pourraient se produire uniquement si l'origine, c'est-à-dire le lieu de départ, du corps mouvant, était extérieure à la Terre et non pas liée à celle-ci.

Bruno démontre que le lieu d'origine en tant que tel ne joue aucun rôle dans la définition du mouvement (du trajet) du corps qui se meut, et que ce qui importe, c'est la liaison — ou le manque de liaison — entre ce lieu et le système mécanique. Un « lieu » identique peut même — *horribile dictu* — appartenir à deux ou à plusieurs systèmes. Ainsi, par exemple, si nous imaginons deux hommes, l'un juché sur le haut du mât d'un navire passant sous un pont et l'autre debout sur le pont, nous pouvons aussi nous imaginer qu'à un certain moment les mains

de ces deux hommes seront dans un lieu identique. Si, en ce moment, chacun d'eux laisse tomber une pierre, celle de l'homme sur le pont tombera droit dans l'eau tandis que celle de l'homme sur le mât suivra le mouvement du navire et (décrivant une courbe très particulière par rapport au pont) tombera au pied du mât. Bruno explique la cause de ce comportement différent par le fait que la seconde pierre ayant partagé le mouvement du navire retient en elle-même une partie de la *virtu motrice* dont elle a été imprégnée.

Ainsi que nous le voyons, Bruno substitue à la dynamique aristotélicienne la dynamique de l'*impetus* des nominalistes parisiens. Il lui semble que cette dynamique fournit une base suffisante pour élaborer une physique adaptée à l'astronomie de Copernic, ce qui, comme l'histoire nous l'a démontré, était erroné.

Il est vrai que la conception de l'*impetus*, vertu ou puissance qui anime le corps en mouvement, qui produit ce mouvement et s'use par cela même, permet à Bruno de réfuter les arguments d'Aristote, du moins certains d'entre eux. Cependant, elle ne pouvait les écarter tous, et encore moins fournir les fondements capables de porter l'édifice de la science moderne.

Les arguments de Giordano Bruno nous semblent très raisonnables. Pourtant, à son époque, ils ne produisirent aucune impression, ni sur Tycho Brahé qui, dans sa polémique avec Rothmann, répète inlassablement les vieilles objections aristotéliciennes bien qu'en les modernisant quelque peu, ni même sur Kepler qui, bien qu'influencé par Bruno, se croit obligé de revenir aux arguments de Copernic tout en remplaçant la conception mythique (l'identité de la nature) du grand astronome par une conception physique, celle de la force d'attraction.

Tycho Brahé n'admet pas que le boulet tombant du haut du mât d'un navire en mouvement aboutira au pied de ce mât. Il affirme que, bien au contraire, il tombera en arrière et que plus la vitesse du navire sera grande, plus loin il tombera. De même, les boulets d'un canon tirés verticalement en l'air ne peuvent retourner dans le canon.

Tycho Brahé ajoute que, si la Terre se mouvait comme le prétend Copernic, il ne serait pas possible d'envoyer une balle de canon à la même distance à l'est et à l'ouest : le mouvement extrêmement rapide de la Terre, participé par le boulet, viendrait empêcher le mouvement de celui-ci

et même le rendre impossible si le boulet en question devait se mouvoir dans une direction opposée à celle du mouvement de la Terre.

Le point de vue de Tycho Brahé peut nous paraître étrange, mais nous ne devons pas oublier qu'à son tour Tycho Brahé devait trouver les théories de Bruno absolument incroyables et même exagérément anthropomorphiques. Prétendre que deux corps tombant du même endroit et allant vers le même point (le centre de la Terre) effectueraient deux trajets différents et décriraient deux trajectoires différentes pour la seule raison que l'un d'eux avait été associé à un navire tandis que l'autre ne l'avait pas été, signifiait pour un aristotélicien — et Tycho, en dynamique, en est un — que le corps en question *se souvenait* de son association passée avec le navire, *savait* où il devait aller et était doté de la capacité nécessaire pour le faire. Ce qui impliquait, pour lui, que le corps en question possédait une âme; et même une âme singulièrement puissante.

De plus, du point de vue de la dynamique aristotélicienne, aussi bien que du point de vue de la dynamique de l'*impetus*, deux mouvements différents s'entravent toujours l'un l'autre; et les tenants de l'une et de l'autre conception invoquent comme preuve le fait bien connu que le mouvement rapide du boulet (dans sa course horizontale) l'empêche de descendre et lui permet de se maintenir dans l'air bien plus longtemps qu'il n'aurait pu le faire si on l'avait simplement laissé tomber¹. Bref, Tycho Brahé n'admet pas l'indépendance mutuelle des mouvements — personne ne l'a admis avant Galilée — il a donc parfaitement raison de ne pas admettre les faits et les théories qui impliquent celle-ci.

La position prise par Kepler est particulièrement intéressante et importante. Elle nous montre mieux que toute autre les racines profondément philosophiques de la révolution galiléenne. Du point de vue purement scientifique, Kepler — à qui nous devons, *inter alia*, le terme même de l'*inertie* — est, sans aucun doute, un des plus grands, sinon le plus grand génie de son temps; il est inutile d'insister sur ses remarquables dons mathématiques qui ne sont égalés que par l'intrépidité de sa pensée. Le

1. C'est là une croyance générale que partagent, en particulier, les artilleurs.

titre même d'un de ses ouvrages, *Physica cœlestis*¹, est un défi à ses contemporains. Et pourtant, philosophiquement, il est bien plus près d'Aristote et du Moyen Âge que de Galilée et de Descartes. Il raisonne encore en termes du Cosmos; pour lui le mouvement et le repos s'opposent encore comme la lumière et les ténèbres, comme l'être et la privation de l'être. Le terme *inertia* signifie pour lui, par conséquent, la résistance que les corps opposent au mouvement et non pas, comme pour Newton, au changement de leur état de mouvement en celui de repos, et de celui de repos en celui de mouvement; c'est pour cela que, de même que pour Aristote et les physiciens du Moyen Âge, il lui faut une cause ou une force pour expliquer le mouvement et il n'en a pas besoin pour expliquer le repos; il croit, comme eux, que les corps en mouvement, séparés du mobile ou privés de l'influence de la vertu ou puissance motrice, ne continueront pas leur mouvement mais, au contraire, s'arrêteront.

Aussi, pour expliquer le fait que, sur la Terre qui se meut, les corps, même s'ils n'y sont pas attachés par des liens matériels, ne restent pas en arrière, du moins pas d'une manière *perceptible*, et que les pierres, jetées en l'air, retombent à l'endroit d'où elles ont été projetées; que les boulets de canon volent (ou presque) aussi loin à l'ouest qu'à l'est, doit-il admettre — ou déduire — une force réelle qui lie ces corps à la Terre et les oblige à la suivre.

Kepler découvre cette force dans l'attraction mutuelle de tous les corps matériels, ou du moins terrestres, ce qui veut dire, du point de vue pratique, dans l'attraction de toutes les choses terrestres par la Terre. Kepler conçoit toutes ces choses comme attachées à la Terre par d'innombrables chaînes élastiques et c'est la traction de ces chaînes qui explique que les nuages et les vapeurs, les pierres et les boulets ne restent pas immobiles dans l'air, mais suivent la Terre dans son mouvement; le fait que ces chaînes se trouvent partout permet, selon Kepler, de jeter une pierre ou de tirer un boulet en direction opposée à celle du mouvement de la Terre : les chaînes d'attraction tirent le boulet vers l'est aussi bien qu'elles le tirent vers l'ouest et de cette manière leur influence s'équilibre, ou presque. Le mouvement réel du corps (le boulet tiré verticalement)

1. *Astronomia nova AITIOΛΟΓΗΤΟΣ seu Physica cœlestis tradita Commentariis de motibus stellae Martis*, s. 1., 1609.

est, naturellement, une combinaison ou un mélange : a) de son propre mouvement et b) de celui de la Terre. Mais comme ce dernier est commun, ce n'est que le premier qui compte. Il s'ensuit clairement (bien que Tycho Brahé ne l'ait pas compris) que, tandis que la longueur du trajet d'un boulet tiré vers l'est, et celle d'un autre, tiré vers l'ouest, sont différentes lorsqu'elles sont mesurées dans l'espace de l'Univers, néanmoins les trajets de ces boulets sur la Terre sont pareils ou presque pareils.

Ce qui explique pourquoi la même force produite par la même quantité de poudre peut les projeter presque à la même distance dans des directions opposées¹.

Ainsi les objections aristotéliennes et tychoniennes contre le mouvement de la Terre sont écartées et Kepler souligne que c'était une erreur d'assimiler la Terre à un navire en mouvement : en fait la Terre « attire magnétiquement » les corps qu'elle transporte, le bateau ne le fait aucunement. C'est pourquoi nous avons besoin d'un lien matériel dans le cas du navire, ce qui est complètement inutile dans celui de la Terre.

Ne nous attardons pas plus longtemps sur ce point ; nous voyons que le grand Kepler, le fondateur de l'astronomie moderne, le même homme qui proclama l'unité de la matière dans l'Univers et affirma que *ubi materia, ibi geometria*, échoua dans l'établissement de la base de la science physique moderne pour une seule et unique raison : il croyait que le mouvement était, ontologiquement, d'un niveau d'être plus élevé que le repos.

Si maintenant, après ce bref résumé historique, nous nous tournons vers Galileo Galilei, nous ne serons pas surpris de le voir, lui aussi, discuter longuement, très longuement même, les objections traditionnelles des aristotéliens. Nous pourrons, en plus, apprécier l'habileté consommée avec laquelle, dans son *Dialogue sur les deux plus grands systèmes du monde*, il ordonne ses arguments et prépare l'assaut définitif contre l'aristotélisme. Galilée n'ignore pas l'énorme difficulté de sa tâche. Il sait très bien qu'il se trouve en face d'ennemis puissants : l'autorité, la tradition et — le pire de tous — le sens commun. Il est inutile d'aligner des preuves devant des esprits incapables

1. Le corps étant *inerte* par nature, c'est-à-dire opposant une résistance au mouvement, Kepler en conclut que les corps séparés de la Terre resteront quelque peu en arrière. Si peu, toutefois, que nous ne pourrons pas nous en apercevoir.

d'en saisir la portée. Inutile, par exemple, d'expliquer la différence entre la vitesse linéaire et la vitesse de rotation (leur confusion est à la base des premières objections aristotéliennes et ptoléméennes) à ceux qui ne sont pas habitués à penser mathématiquement. Il faut commencer par les éduquer. Il faut procéder lentement, pas à pas, discuter et rediscuter les vieux et les nouveaux arguments, il faut les présenter sous des formes variées; il faut multiplier les exemples, en inventer de nouveaux plus frappants : l'exemple du cavalier lançant son javelot en l'air et le rattrapant à nouveau; l'exemple du tireur tendant son arc plus ou moins fort et donnant ainsi à la flèche une *vitesse* plus ou moins grande; l'exemple de l'arc placé sur une voiture en mouvement et pouvant ainsi compenser la plus ou moins grande *vitesse* de la voiture par la *vitesse* plus ou moins grande donnée à ses flèches. D'autres exemples, innombrables, qui l'un après l'autre nous conduisent — ou plutôt conduisaient les contemporains de Galilée — à accepter cette conception paradoxale et inouïe selon laquelle le mouvement est quelque chose qui persiste dans l'être *in se et per se* et n'exige aucune cause ou force pour cette persistance. Une tâche très dure, car il n'est pas naturel de penser le mouvement en termes de vitesse et de direction au lieu de ceux de l'effort (*impetus*) et du déplacement.

Mais, en fait, nous ne pouvons pas *penser* au mouvement dans le sens de l'effort et de l'*impetus*; nous pouvons seulement nous l'*imaginer*. Nous devons donc choisir entre penser et imaginer. Penser avec Galilée ou imaginer avec le sens commun. Car c'est la pensée, la pensée pure et sans mélange, et non l'expérience et la perception des sens, qui est à la base de la « nouvelle science » de Galileo Galilée.

Galilée le dit très clairement. Ainsi, en discutant le fameux exemple de la balle tombant du haut du mât d'un navire en mouvement, Galilée explique longuement le principe de la relativité physique du mouvement, la différence entre le mouvement du corps par rapport à la Terre et son mouvement par rapport au navire; puis, *sans faire aucune mention de l'expérience*, il conclut que le mouvement de la balle par rapport au navire ne change pas avec le mouvement de ce dernier. De plus, quand son adversaire aristotélien, imbu d'esprit empiriste, lui pose la question : « Avez-vous fait une expérience? » Galilée déclare avec fierté : « Non, et je n'ai pas besoin de la faire,

et je peux affirmer sans aucune expérience qu'il en est ainsi, car il ne peut en être autrement¹ ».

Ainsi *necesse* détermine l'*esse*. La bonne physique est faite *a priori*. La théorie précède le fait. L'expérience est inutile parce qu'avant toute expérience nous possédons déjà la connaissance que nous cherchons. Les lois fondamentales du mouvement (et du repos), lois qui déterminent le comportement spatio-temporel des corps matériels, sont des lois de nature mathématique. De la même nature que celles qui gouvernent les relations et les lois des figures et des nombres. Nous les trouvons et les découvrons non pas dans la nature, mais en nous-mêmes, dans notre esprit, dans notre mémoire, comme Platon nous l'a enseigné autrefois.

Et c'est *pour cela*, comme, à la grande consternation de son interlocuteur aristotélien, le proclame Galilée, que nous sommes capables de donner des preuves purement et strictement mathématiques des propositions qui décrivent les « symptômes » du mouvement, et de développer le langage de la science naturelle, de questionner la nature par des expériences construits de manière mathématique et de lire le grand livre de la Nature qui est écrit en « caractères géométriques² ».

Le livre de la Nature est écrit en caractères géométriques; la physique nouvelle, celle de Galilée, est une géométrie du mouvement, de même que la physique de son vrai maître, le *divus Archimedes*, était une physique du repos. La géométrie du mouvement *a priori*, la science mathématique de la nature..., comment est-ce possible? Les vieilles objections aristotéliennes contre la mathématisation de la nature par Platon ont-elles été enfin réfutées? Pas tout à fait. Certes, il n'y a pas de qualité dans le royaume des nombres et c'est pour cela que Galilée — de même que Descartes — est obligé d'y renoncer, de renoncer au monde qualitatif de la perception sensible et de l'expérience quotidienne et d'y substituer le monde abstrait et incolore d'Archimède. Quant au mouvement..., il n'y en

1. En fait, cette expérience, constamment invoquée dans les discussions entre partisans et adversaires de Copernic, n'a jamais été faite. Plus exactement, elle n'a été faite que par Gassendi, en 1642, à Marseille, et peut-être aussi par Thomas Digges quelque soixante-six ans plus tôt.

2. Un expériment est une question que nous posons à la nature et qui doit être formulée dans un langage approprié. La révolution galiléenne peut être résumée dans le fait de la découverte de ce langage, de la découverte que les mathématiques sont la grammaire de la science physique. C'est cette découverte de la structure rationnelle de la nature qui a formé la base *a priori* de la science *expérimentale* moderne et a rendu sa constitution possible.

a certainement pas dans les nombres. Et pourtant le mouvement, — du moins le mouvement des corps archimédiens dans l'espace infini et homogène de la science nouvelle — est régi par les nombres. Par les *leges et rationes numerorum*.

Le mouvement est subordonné aux nombres; même le plus grand des anciens platoniciens, Archimède le surhomme, l'ignorait et c'est à Galileo Galilée, ce « merveilleux investigateur de la Nature » comme l'avait surnommé son élève et ami Cavalieri, qu'il fut donné de le découvrir.

Le platonisme de Galileo Galilée est très différent de celui de l'Académie florentine, de même que sa philosophie mathématique de la nature diffère de leur arithmologie néo-pythagoricienne. Mais il y a plus d'une école platonicienne dans l'histoire de la philosophie et la question de savoir si les tendances et les idées représentées par Jamblique et Proclus sont plus ou moins platoniciennes que celles représentées par Archimède n'est pas encore résolue.

Quoi qu'il en soit, je ne vais pas examiner ici ce problème. Cependant je dois indiquer que pour les contemporains et élèves de Galilée, autant que pour Galilée lui-même, la ligne de séparation entre l'aristotélisme et le platonisme est parfaitement claire. Ils croyaient, en effet, que l'opposition entre ces deux philosophies était déterminée par des points de vue différents sur les mathématiques en tant que science et sur leur rôle dans la création de la science de la nature.

D'après eux, si l'on considère les mathématiques comme une science auxiliaire qui s'occupe d'abstractions et, de ce fait, a moins de valeur que les sciences qui traitent de choses réelles, telle la physique; si l'on affirme que la physique peut et doit se baser directement sur l'expérience et la perception sensible : on est aristotélicien. Si, au contraire, on veut attribuer aux mathématiques une valeur suprême et une position clé dans l'étude des choses de la nature — alors on est platonicien.

En conséquence, aux contemporains et élèves de Galilée, autant qu'à Galilée lui-même, la science galiléenne, la philosophie galiléenne de la nature apparaissait comme un retour vers Platon, comme une victoire de Platon sur Aristote.

Je dois avouer que cette interprétation paraît être parfaitement raisonnable.