

**J.P. Guillot**

in Philosophie,

Bulletin de Liaison, n° 12 pp. 5-17

L'enseignement de la philosophie dans l'académie de Versailles,  
Centre régional de documentation pédagogique, septembre 1996

## **La Formation des concepts scientifiques : le mouvement**

L'étude de cette notion du programme de philosophie des classes de terminale doit sans doute être davantage conçue comme une *réflexion philosophique* sur la formation et l'évolution d'un concept scientifique que comme une **histoire** de la genèse et du développement du concept en question. La présence de considérations historiques semble s'imposer nécessairement certes, mais dans la mesure où elles sont indispensables à la compréhension des problèmes philosophiques et épistémologiques posés par la marche factuelle des sciences.

L'étude de ce thème peut servir de complément à un cours d'épistémologie, voire même être totalement intégrée au cours d'épistémologie. Il permet en effet de fournir aux élèves des connaissances qu'ils n'ont pas l'occasion d'acquérir dans le cadre de l'enseignement scientifique proprement dit. En traitant cette notion la philosophie ne faillit pas à sa mission d'éducation de l'esprit à l'exercice libre de la pensée, à la distanciation nécessaire à la réflexion sur les savoirs positifs.

Le choix du concept scientifique étudié est laissé à la libre appréciation du professeur sans laquelle il ne peut y avoir d'enseignement philosophique digne de ce nom. Il me semble cependant que, par mesure de prudence, avant tout pour des raisons pédagogiques tenant à la clarté du cours, il est nécessaire de choisir un concept dont l'étude ne nécessitera pas de faire appel à un appareil technique et mathématique complexe.

Entrons maintenant dans le vif du sujet. Je me propose d'essayer de montrer, sans aucune prétention à l'originalité<sup>1</sup>, que la formation et l'évolution d'un concept scientifique n'est pas un phénomène isolé, au sens où un concept n'évolue jamais seul, sans entraîner dans son sillage des pans entiers de la science existante. D'autre part, peut-on parler de la formation et de l'évolution des concepts scientifiques sans tenir compte des transformations de nos modes d'accès au monde, de nos grilles de lecture du monde qui ne manquent jamais de les accompagner.

Ainsi traiter ce thème en cours de manière précise et pas seulement de façon rapportée ou à la manière d'un simple corrélat illustratif de la leçon d'épistémologie, c'est se donner les moyens de réfléchir sur les rapports entre la métaphysique et la science, c'est aussi l'occasion de poser le problème du critère de démarcation entre science et philosophie. Nous laisserons de côté, par la suite, ces prolongements possibles pour nous concentrer sur les mécanismes d'évolution des concepts scientifiques.

On constate donc que l'évolution des concepts scientifiques s'accompagne toujours d'une évolution des cadres conceptuels, métaphysiques plus profonds, plus généraux, qui structurent notre accès au monde, notre conception du monde. Comment interpréter ce fait ? Est-ce l'évolution de la science qui fait évoluer la métaphysique ? Est-ce l'inverse ? Ces deux évolutions sont-elles interdépendantes l'une de l'autre ?

L'évolution des concepts scientifiques ne semble possible que par une rupture, une remise en cause des cadres fondamentaux, principiels, sur lesquels la théorie en question s'appuyait. Ce fait est rendu particulièrement perceptible par le passage de la science

ancienne, héritée d'Aristote, à la science moderne, fondée en particulier par Galilée. Cette période n'est pas seulement une période de critique et de réfutation des anciennes théories, auxquelles il suffirait d'en substituer de nouvelles plus performantes. Ce schéma qui pourrait être inspiré d'un falsificationnisme simpliste ne correspond pas à la réalité de la progression des sciences. Les savants modernes (dont Galilée) « *devaient faire tout autre chose* », pour citer Koyré. « *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 connaissance, un nouveau concept de 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>2</sup> C'est ceci qui explique la nature lente de l'évolution des concepts scientifiques. L'histoire des concepts ne présente pas de rupture brusque et rapide. Ainsi la découverte de lois qui paraissent très simple à nos yeux, comme les lois du mouvement, la loi de la chute des corps, a exigé un effort considérable, long, pénible, de la part de sommets de l'intelligence, tels que Galilée par exemple. Il y a donc là un contraste étonnant entre la simplicité enfantine de ces lois et la difficulté de leur élaboration. Ce fait confirme que le savant devait faire un effort plus grand que celui requis par la simple compréhension immédiate et détachée de ces lois, il devait rompre avec des cadres de pensée séculaires qui entravaient l'élaboration de la physique moderne et interdisaient la compréhension des lois du mouvement, si simples en elles-mêmes.

### ***I. Exposé de la théorie du mouvement chez Aristote***

J'introduirai cet exposé par une citation de Koyré : « *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. 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>3</sup>

Nous pouvons retenir un certain nombre de choses de cette citation, quant à la nature de la physique d'Aristote.

Elle est systématique.

Elle constitue une élaboration théorique de la part de l'esprit.

Elle s'appuie sur les données des sens. Ainsi elle n'est pas purement spéculative, elle a un

ancrage dans la réalité concrète et sensorielle.

Elle n'est pas mathématique.

C'est deux derniers aspects sont intimement liés. C'est parce qu'elle se veut ancrée dans le concret sensoriel, dans le réel qu'est l'univers et qu'est la matière, que cette physique n'est pas mathématique. Le réel concret n'est pas mathématisable pour Aristote. Vouloir quantifier la nature se serait se condamner à produire une théorie imaginaire du monde matériel.

Venons-en au rappel des principaux principes de la conception aristotélicienne du mouvement.

La physique d'Aristote établit une différence de nature intrinsèque entre le repos et le mouvement. Cette différence est liée à l'existence d'un univers hiérarchisé, d'un ordre cosmique. En vertu de cet ordre, chaque objet possède dans l'univers une place, un lieu propre d'existence. Ce lieu est conforme à sa nature. Chaque objet tend à revenir dans ce lieu quand il en est écarté ou bien y reste immobile si rien ne vient l'en déloger. Ces considérations font déjà apparaître que le repos ou la tendance au repos est constitutive de la matière. Ainsi le mouvement va être de deux sortes : soit il constitue un retour à l'ordre, on

parlera alors de mouvement naturel, ou bien, au contraire, un facteur de désordre, on parlera alors de mouvement violent. Par son mouvement naturel, un corps va réaliser sa tendance naturelle au repos en son lieu naturel. Le mouvement violent constitue quant à lui une rupture contre nature de l'ordre. Cette rupture de l'ordre ne peut être provoquée que de façon violente.

Comment se distribuent les objets, dans cet univers, en fonction de leur nature ? Il faut, pour répondre à cette question, rappeler la théorie des quatre éléments.

Tout objet matériel est composé, en proportions variables, de quatre éléments fondamentaux : la terre, l'eau, l'air, le feu. Chacun de ces éléments a un lieu naturel et un mouvement naturel qui le ramène vers son lieu naturel. Le lieu naturel de la terre est le centre de l'univers, celui de l'eau la surface de la terre, celui de l'air, immédiatement au-dessus de la surface de la terre, celui du feu, près de l'orbite de la lune.

On peut constater que cette théorie s'accorde avec l'expérience immédiate, avec la plupart des constats que nous pouvons faire à propos du monde sublunaire. Il est bien évident, par exemple, que des flammes s'élèvent en direction du ciel et que des corps tels qu'une pierre tombent vers la surface de la terre. De plus, l'expérience du lancer de projectile confirme aussi cette conception du mouvement. Une pierre lancée horizontalement va tendre à garder sur une certaine distance sa trajectoire horizontale, puis elle va chuter vers le centre de l'univers (la surface du sol terrestre). Interviennent ici deux types de mouvement : le mouvement violent que mon bras impose à la pierre, puis le mouvement naturel de la pierre qui lui fait rejoindre son lieu naturel. Les faits qui fondent cette théorie aristotélicienne du mouvement sont très simples. Nous trouvons naturel qu'une pierre tombe, la voir s'élever dans les airs apparaîtrait inhabituel et contre nature. Si cela arrivait nous chercherions à l'expliquer par l'intervention de quelque cause cachée qui a transmis ce mouvement du bas vers le haut. De même lorsque la flamme de mon briquet s'incline horizontalement, j'en conclus immédiatement qu'il y a une cause extérieure à la flamme, telle que le vent, qui lui a transmis ce mouvement et qui joue donc en cela le rôle de moteur. Ces exemples montrent que je fais spontanément (même si je n'ai aucune connaissance de la physique d'Aristote) la distinction entre mouvement naturel et mouvement violent. Cependant la physique d'Aristote, comme toute théorie élaborée, ne se contente pas d'exprimer cette distinction et ces intuitions du sens commun, elle les transpose dans une théorie d'ensemble de l'univers, où elles vont prendre un sens scientifique. Les traits essentiels de cette théorie sont :

- la position de l'existence de natures qualitatives ;
- la position de l'existence d'un cosmos, c'est-à-dire d'un ordre.

On remarquera tout d'abord qu'il n'y a pas, chez Aristote, de concept unifié du mouvement. De plus, cette conception du mouvement ne concerne qu'une seule région de l'univers, la plus imparfaite. Le cosmos aristotélicien se divise en effet, comme chacun sait, en deux régions distinctes qui se distinguent l'une de l'autre qualitativement comme la perfection et l'imperfection. La région supralunaire s'étend de l'orbite de la lune à la sphère des étoiles. Celle-ci marque la limite extérieure de l'univers, au-delà de laquelle rien n'existe, pas même l'espace vide. Tous les objets de cette région sont faits d'une substance inaltérable : l'éther. L'éther possède une tendance naturelle à se déplacer autour du centre de l'univers en décrivant des cercles parfaits. Le supralunaire présente donc un aspect régulier, ordonné, inaltérable qui contraste avec la région sublunaire, caractérisée par le changement, la génération et la corruption. Cette région s'étend du centre de l'univers à l'orbite de la lune, elle se caractérise par la présence de la matière, facteur d'indétermination et de désordre. De cette dualité de régions composant le monde, il résulte une hétérogénéité de la physique et de l'astronomie.

C'est dans le cadre de cette conception de l'univers que s'inscrit et se comprend la théorie aristotélicienne du mouvement.

Pour Aristote il existe un lien entre le mouvement d'un corps et sa constitution interne. Le mouvement est une transformation affectant la nature intime du corps. C'est sans doute ce qui, dans la théorie aristotélicienne, est le plus délicat à concevoir pour nous qui sommes habitués à penser le mouvement dans les termes de la physique moderne. La compréhension de cette approche peut cependant être facilitée si nous prenons en compte le fait que sous le concept de mouvement (κίνησις) Aristote n'étend pas seulement le déplacement spatial (φορα), qui n'en est qu'un type particulier. Par conséquent, il ne saurait être équivalent, pour un même corps, d'être en mouvement ou d'être en repos. Cette modification de la structure intime de corps doit être en repos. Cette modification de la structure intime de corps doit être le fait d'un agent. Nous touchons là un point essentiel : le changement que constitue le mouvement ne peut se concevoir sans cause, sans moteur. « *Le mobile est mobile sous l'action du moteur* ». <sup>4</sup> Dans le cas du mouvement naturel, le moteur est la nature même du corps qui va tendre à le ramener à son lieu naturel. Dans le cas du mouvement violent, le moteur est externe. Il exerce une action continue par contact (pression ou traction), sur le corps en mouvement. Contrairement à ce qui a été affirmé plus haut sur l'accord entre la physique d'Aristote et l'expérience immédiate, n'avons-nous pas ici une affirmation qui semble en contradiction totale avec l'expérience simple du lancer de projectile ? Dans ce cas, il est manifeste que mon bras n'accompagne pas, à chaque instant, la pierre dans sa trajectoire. Aristote est conscient de cette distance avec l'expérience. Cependant, comme l'affirme Koyré : « *Un théoricien digne de 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 nier, il l'explique* ». L'explication qu'Aristote donne de ce mouvement apparemment sans moteur consiste à faire intervenir la réaction du milieu ambiant. « *En outre, les projectiles se meuvent en fait hors de la main de celui qui les a poussés, soit par le retour en contre coup, selon certaines théories, soit par la poussée de l'air poussé qui imprime au projectile un mouvement plus rapide que son transport vers le lieu naturel* ». <sup>5</sup>

Le type de mouvement dont un corps est capable dépend donc de sa constitution physique. Le mouvement, non seulement transporte les corps d'un lieu à un autre, mais il les modifie aussi, jusqu'à ce que, une fois leur lieu naturel rejoint, ils se soient réalisés. Dans cette optique le repos n'est pas pensé comme un mouvement nul, mais comme le terme, la finalité du mouvement. On voit ainsi que l'ordre, chez Aristote, est purement statique. En effet, si chaque chose était en ordre, chaque chose serait à sa place naturelle et y demeurerait éternellement. Rien ne pourrait l'en déloger puisque rien ne serait hors de sa place naturelle, donc capable d'exercer sur une chose le rôle de moteur extérieur. Le mouvement implique donc le désordre cosmique car il est soit l'effet d'une violence, soit l'effet de l'effort d'un corps pour rejoindre son lieu naturel après qu'il en a été chassé par violence ; dans ce cas, c'est un effort de restauration de l'ordre détruit. Il apparaît donc que l'ordre est un état qui tend à se perpétuer lui-même indéfiniment. L'explication de l'état de repos d'un corps dans son lieu naturel est donc inutile (cela découle simplement de la nature du corps en question). Nous verrons en cela une différence capitale avec la physique de Galilée. Le mouvement est donc transitoire pour chacun des corps mus. Par contre, pour l'ensemble du monde, c'est un phénomène permanent, dans la mesure où un mouvement ne peut résulter que d'un mouvement antérieur. L'origine et la cause du mouvement vont donc se trouver dans la structure même de l'univers : c'est l'essence même de l'être matériel qui l'empêche d'atteindre l'état de perfection qui présuppose, comme condition nécessaire, le repos absolu.

De plus le mouvement n'est pas, à proprement parler, un état, c'est un processus, un devenir, par lequel les choses se réalisent, s'actualisent. Le mouvement est finalement l'être de tout ce qui change, de tout ce qui n'est qu'en changeant, qu'en se modifiant. Pour reprendre la formule de Koyré : « *Le mouvement est l'être – ou l'acte – de tout ce qui n'est*

*pas Dieu* ». <sup>6</sup> Le mouvement est ce qui va permettre à un objet de parvenir au repos immuable d'un être pleinement réalisé, actualisé, donc à la perfection. Tout ceci est « clairement » exprimé par la célèbre définition du mouvement qu'Aristote donne dans la Physique : « *Étant donné la distinction, en chaque genre, de ce qui est en entéléchie, et de ce qui est en puissance, l'entéléchie de ce qui est en puissance, en tant que tel, voilà le mouvement* ». <sup>7</sup> Donc se mouvoir c'est changer en soi-même et par rapport aux autres, ce qui implique un terme de référence. Dans le cas du mouvement local, cela implique un point fixe : le centre de l'univers, la Terre.

Un autre trait essentiel de la théorie du mouvement chez Aristote est la négation du vide. Je laisse de côté les arguments employés à ce propos pour venir directement à l'accord de ce principe avec le reste de la théorie. La reconnaissance du vide est incompatible avec la conception aristotélicienne de l'espace. En effet, dans le vide, il n'y a pas de lieux privilégiés, nous aurions affaire à un espace homogène, à l'espace euclidien par exemple. La notion de lieu naturel perdrait son sens. L'espace vide serait un espace géométrique, or le physicien cherche à comprendre le réel et non l'abstraction. Il est donc dangereux de vouloir introduire la géométrie en physique.

Quels vont être les changements produits au XVIIe qui vont rendre possible l'évolution du concept de mouvement ? C'est à cette question que nous allons tenter de répondre avant d'en venir à l'exposition de la théorie galiléenne.

Ces changements sont principalement au nombre de deux :

- la destruction du cosmos ;
- la géométrisation de l'espace.

La destruction du cosmos c'est celle d'un monde conçu comme un tout fini et bien ordonné. Dans cet univers, la structure de l'espace incarnait une hiérarchie de valeurs et de perfection. À ce cosmos va être substitué un univers indéfini, voire même parfois infini, sans distinctions hiérarchiques. Cet univers va présenter une unité que manifeste l'identité des lois qui le régissent dans toutes ses parties et l'identité de ses composants. Astronomie et physique deviennent unifiées et interdépendantes.

Chez Aristote, l'espace est un ensemble différencié de lieux. A cette conception va être substituée celle de l'espace de la géométrie euclidienne (homogène, infini). Cet espace va être considéré comme identique en structure à l'espace réel de l'univers. D'où le rejet, en physique, des notions de valeur, de perfection, d'harmonie et de finalité.

## **II. Exposé de la théorie galiléenne du mouvement**

Rappelons-nous que chez Aristote le repos est pensé, non pas comme un mouvement nul, mais comme son terme, comme sa finalité. En ce sens ; mouvement et repos diffèrent radicalement. Il ne peut donc y avoir aucune équivalence entre eux. Chez Galilée on trouve une conception tout à fait différente. « *Le mouvement est mouvement et agit comme mouvement en tant qu'il est en relation avec des choses qui en sont privées* ». <sup>8</sup> Cette citation fait apparaître que le mouvement n'est pas pensé comme un changement, comme une transformation, il est seulement une modification, une transformation des rapports entre les choses elles-mêmes complètement indifférentes à tout changement interne. L'être des choses n'est pas affecté, qu'elles soient en mouvement ou en repos. Mouvement et repos sont des états, donc pas plus que le repos le mouvement n'est un changement d'état. Le mouvement d'un corps n'est donc nullement le signe d'une structure interne particulière comme c'était le cas chez Aristote. Par contre, mouvement et repos sont l'indice de l'évolution des rapports entre les choses. Ainsi le mouvement ne concerne jamais un corps isolé. Galilée opère une dissociation entre mouvement et changement.

De plus, mouvement et repos vont se définir l'un par rapport à l'autre. Le repos est un mouvement partagé. En effet, entre des corps qui partagent le même mouvement rien ne change. Inversement le mouvement d'un corps n'existe que par rapport à un autre qui en est privé. La définition galiléenne du repos (mouvement partagé) en fait une catégorie équivalente au mouvement. Cela abolit la distinction ontologique qui est le fondement de la théorie aristotélicienne. Ni le mouvement ni le repos n'ont un caractère absolu. Ils sont donc relatifs, d'une part en tant que relations entre corps, d'autre part en tant qu'ils sont équivalents sur le fond et ne manifestent pas une opposition absolue. Précisons ce point en partant d'une citation de Galilée : « *Le mouvement n'agit que sur la relation que ces mobiles entretiennent avec d'autres qui sont privés de ce mouvement* ». <sup>9</sup> Il n'y a donc pas de corps privés de tout mouvement mais seulement des corps privés d'un certain mouvement. La conséquence de cela est qu'un même corps est en même temps en repos, par rapport à ceux avec lesquels il partage le même mouvement, et en mouvement par rapport à ceux avec lesquels il ne partage pas ce même mouvement. Par exemple, le navire est au repos par rapport aux marchandises qu'il transporte de Venise à Alexandrie, mais est : en mouvement par rapport à Venise qui ne l'accompagne pas jusqu'à Alexandrie. Pour un aristotélicien, le mouvement des marchandises est une transformation violente qui ne se réduit pas à un simple déplacement et Venise est au repos parce qu'elle appartient à la terre qui est elle-même immobile au centre du monde. Pour Galilée, au contraire, entre Venise et les marchandises il y a un mouvement relatif car Venise et les marchandises ne partagent pas le même mouvement.

Galilée introduit ainsi l'idée suivant laquelle le mouvement est une affaire de point de vue. Un mouvement particulier n'existe que du point de vue de celui qui en est privé : « *Le mouvement doit être rapporté à un corps immobile* ». <sup>10</sup> On aboutit ainsi à une conception relativiste du mouvement. Cette conception n'en est pas moins objective et ne met pas en danger l'objectivité scientifique. Pour comprendre cela il suffit de tenir compte de deux affirmations de Galilée : un mouvement se reconnaît à ses effets et un mouvement nul est donc un mouvement sans effet. Le mouvement partagé est comme nul car il est sans effet. Pour convaincre ses interlocuteurs Galilée imagine une expérience qui est en fait un enregistrement (acte censé être le modèle même de l'objectivité), celui de la trajectoire qui est un des effets du mouvement (voir texte A en annexe). Il résulte de ce texte que l'enregistrement de la trace de la plume, qui est le témoin objectif de son mouvement, ne porte aucune trace du mouvement qui a transporté l'ensemble plume-papier de Venise à Alexandrie. Ceci est la preuve objective de la non existence du mouvement partagé.

De plus, un mouvement sans effet n'a pas besoin de cause. Qu'est-ce que la cause d'un mouvement ? Son moteur. D'où cette conclusion surprenante au premier abord : le mouvement partagé n'a pas de cause (voir texte B en annexe). Il apparaît clairement, à la lecture de ce texte, que pour les papillons le mouvement partagé avec le navire est sans cause. Ils n'ont pas à fournir d'effort pour aller de Venise à Alexandrie. On ne peut pas dire qu'ils sont mus par l'effet du vent dans les voiles car ils sont séparés du navire, ils n'ont pas de contact direct avec lui. Ce texte commence par une description des lois qui régissent le mouvement des corps dans le navire au repos : le gouttes tombent à la verticale, il ne faut pas plus de force pour se déplacer dans telle direction de l'espace que dans telle autre. Ces lois valent pour toutes sortes de choses : hommes, poissons, papillons, Le propos de Galilée est en fait de montrer que ces lois ne sont pas modifiées lorsque le navire vogue sur le flots. Ni les effets, ni les causes ne sont changés.

Un mouvement qui est comme nul est un mouvement par lequel les lois du mouvement des corps ne sont pas affectées. Le texte précédent précise quels types de mouvements sont comme nuls : « *Pourvu que le mouvement soit uniforme et ne fluctue pas de-ci de-là* ». On voit donc que seul le mouvement uniforme assure un déplacement en bloc des choses sans modifier les phénomènes mécaniques qui se passent entre elles. Le mouvement uniforme n'a pas besoin de moteur. C'est là une conséquence de l'équivalence

entre repos et mouvement uniforme, pour des objets qui partagent ce mouvement uniforme les uns avec les autres. Les mêmes causes produisent les mêmes effets, donc les mêmes causes doivent être attribuées au mouvement uniforme et au repos, à savoir l'absence de moteur. Ceci peut paraître curieux parce que contraire à l'intuition commune et immédiate. Elle nous enseigne en effet qu'un corps sur lequel ne s'exerce aucune force est immobile. Pour Aristote, le mouvement ne saurait être pensé sans un moteur qui, après l'avoir initié, l'entretient à chaque instant. Le mobile ne peut pas être dissocié du moteur pendant le mouvement. Un mobile séparé de son moteur ne peut plus être en mouvement, il est donc au repos. Galilée nie ce principe fondamental de la physique d'Aristote : il existe des cas où la vitesse d'un mobile n'est le produit d'aucune cause (les papillons dans le navire). Le mouvement uniforme s'auto-entretient, il n'a donc pas besoin de moteur à chaque instant. Il ne cesse pas au moment où cesse l'action qui l'a initié, il se conserve. Dans un monde sans frottements, il perdurerait identique à lui-même éternellement.

Einstein appellera ce principe le principe de Galilée et l'énoncera de la manière suivante : « *Un point matériel abandonné à lui-même et suffisamment éloigné de tous les autres points effectue un mouvement rectiligne uniforme* ». <sup>11</sup> C'est là ce qu'on appelle le principe d'inertie. Son énoncé n'est pas en toutes lettres chez Galilée mais on en trouve sous sa plume une formule imagée qui permet de comprendre de quoi il s'agit. Galilée dit, en effet, que le mouvement uniforme est imprimé de façon indélébile aux objets qui le partagent. Donc le corps abandonné à lui-même garde, imprimé en lui, le mouvement uniforme qui l'animait au moment où il a été abandonné à lui-même.

Pourquoi le mouvement uniforme est-il gravé dans les corps ? Il faudra attendre Newton pour le comprendre : les corps contiennent une certaine quantité de matière, ils possèdent de ce fait une inertie qui représente la résistance qu'ont les corps à se mettre en mouvement ou à perdre le mouvement qu'ils ont acquis. Matière et mouvement sont donc liés comme le fera apparaître la suite de l'histoire des sciences.

Les expériences qu'invoque Galilée sont des expériences imaginaires, il ne les a jamais effectuées. Mais ceci ne saurait constituer une objection contre leur valeur. En effet la nécessité détermine l'être, la théorie précède le fait. Les lois du mouvement sont des lois de nature mathématique, elles sont donc de même nature que les lois des figures et des nombres. On ne les trouve donc pas dans la nature (même si celle-ci est écrite en langage mathématique), mais en nous-mêmes, dans notre raison. On voit par là le platonisme de Galilée. Ainsi il est possible de donner des preuves purement mathématiques des propositions qui décrivent les manifestations du mouvement. Nous pouvons donc lire le livre de la nature qui est écrit en caractères géométriques. La rupture avec Aristote est donc consommée. « *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* ». <sup>12</sup> La physique de Galilée constitue une géométrie du mouvement. Comment une géométrie du mouvement est-elle possible ? Il n'y a pas de qualités dans le monde des nombres. C'est pour cela que Galilée doit renoncer au monde qualitatif de l'expérience quotidienne et y substituer un monde abstrait. Ceci est tout à fait opposé à la physique d'Aristote. Celle-ci ne se préoccupe pas du détail, sa tâche se borne à établir les grandes catégories du mouvement (naturel, violent, rectiligne, circulaire). En effet la qualité et la forme ne peuvent pas être géométrisées. La forme ne s'incarne jamais parfaitement dans la matière. Dans le ciel il en est autrement, c'est pour cela que l'astronomie est possible. Mais astronomie et physique sont deux choses différentes. L'une des objections à la géométrisation de la physique consiste à affirmer que les résultats mathématiques sont vrais dans l'abstrait mais pas lorsqu'on les applique à la matière réelle. Il est bien vrai que dans le monde réel il n'existe ni droite, ni sphère, ni triangle parfaits. Les corps réels n'ont pas les formes régulières des figures mathématiques. Galilée nie le caractère abstrait des notions

mathématiques ainsi que le privilège ontologique des figures régulières. Une sphère n'est pas moins sphère parce qu'elle est réelle. Ses rayons ne sont pas inégaux, sinon elle ne serait pas une sphère. Galilée refuse l'hétérogénéité du réel et des mathématiques. La forme géométrique peut se réaliser dans la matière. De plus, même s'il était impossible de faire une sphère parfaite, cet objet, qui ne serait pas une sphère, ne serait pas pour cela privé de toute forme géométrique. Une pierre irrégulière n'en possède pas moins une forme géométrique précise. Galilée dissocie irrégularité et imprécision. Les objets irréguliers ne sont pas imprécis, ils sont seulement plus compliqués. La forme géométrique est donc homogène à la matière et c'est pour cela que les lois géométriques ont une valeur réelle. La nature parle en langage mathématique, comme cela est clairement affirmé dans ce célèbre passage de *l'Essayeur* : « *La philosophie est écrite dans cet immense livre qui se tient toujours ouvert devant nos yeux, je veux dire l'univers, mais on ne peut le comprendre si l'on ne s'applique d'abord à en comprendre la langue mathématique et ses caractères sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques, sans le moyen desquels il est humainement impossible d'en comprendre un mot* ». La mathématisation n'est donc plus restreinte aux mouvements circulaires uniformes du supralunaire, elle s'applique aussi à notre région de l'univers. La géométrie n'est plus une forme appauvrie de la réalité physique, elle en est la forme constitutive.

### **Conclusion**

C'est sur ces principes nouveaux que se développera ensuite la science du mouvement. Après Galilée, les fondements de la physique d'Aristote sont détruits.

1. Le mouvement se réduit au mouvement local. C'est un pur changement de position dans un espace où tous les lieux sont équivalents.
2. Le mouvement est un état extérieur au corps et ne l'affecte pas en lui-même.
3. Il y a identité de statut entre repos et mouvement.
4. Il n'y a plus de raison de conserver la distinction entre mouvement naturel et mouvement violent.
5. La distinction entre supralunaire et sublunaire est, elle aussi, détruite, ce qui rend possible l'unification de l'astronomie et de la physique.

### **Notes**

1. Les vues exposées ici ne sont en effet pas autre chose que l'exposition simplifiée et synthétique des analyses développées par Koyré dans ses différents travaux consacrés à la physique de Galilée.
2. A. Koyré, *Études d'histoire de la pensée scientifique*, p. 171, éd. Tel.
3. Op. cité, p. 173.
4. Aristote, *Physique*, III, 1.
5. Aristote, *Physique*, IV, 8.
6. Op. cité p. 176.
7. *Physique*, III, 1.
8. Galilée *Dialogues et lettres choisies*, trad. P.H. Michel, Herman, 1966.
9. Id.
10. Id.
11. Einstein, *La Relativité*.
12. A. Koyré, op. cité.

## **Annexe**

### **Texte A**

SALY : vous n'êtes pas le premier à avoir une grande réticence à reconnaître que le mouvement n'opère en rien sur les chose qui le partagent.

SAGR : Je me souviens à présent de certaine rêverie qui me vint un jour à l'esprit, alors que j'étais en voyage pour Alep, où je me rendais en tant que consul de notre nation ; et, sans doute, pourrait-elle être de quelque secours pour expliquer pourquoi le mouvement commun n'opère pas et pourquoi il est comme s'il n'était pas toutes les choses qui y participent. Je veux, si cela vous agréé, discourir avec vous de ce que j'imaginai alors tout seul.

SIMP : La nouveauté des choses que j'entends me rend curieux et tout disposé à écouter : parlez donc.

SAGR : Si la pointe d'une de ces plumes dont on se sert pour écrire était trouvée dans le navire pendant tout le trajet de Venise à Alexandrie, et avait en la faculté de laisser un signe visible de son voyage, quelle trace, quelle note quelle ligne aurait-elle laissée,

SIMP : Elle aurait laissé une ligne qui s'étendrait de Venise jusque là-bas et qui ne serait pas parfaitement droite ; ou plus exactement, une ligne qui décrirait un parfait arc de cercle et serait plus ou moins onduleuse, selon que le vaisseau aurait plus ou moins ondoyé : mais ces infléchissements, en certains endroits d'un bras ou deux, à droite ou à gauche, vers le haut ou vers le bas, n'auraient fait subir, sur une longueur de plusieurs milles, qu'une altération minime au tracé entier de la ligne : tant et si bien que cette altération serait à peine sensible et qu'on pourrait lire, sans commettre d'erreur, qu'il s'agit d'une portion d'arc-parfait.

SAGR. : Si bien que le mouvement vrai, véritablement vrai, de la pointe de cette plume aurait été lui aussi un arc de cercle parfait, si le vaisseau, abstraction faite des fluctuations de l'onde, avait eu un mouvement, paisible et tranquille. Et si j'avais tenu continuellement cette plume dans ma main, ne la faisant dévier qu'occasionnellement d'un pouce ou de deux, de-ci de-là, quelle altération aurais-je fais subir à son principal et très long tracé ?

SIMP. : Une altération inférieure à celle que produiraient sur une ligne droite longue de mille brasses des écarts de la taille d'un œil de puce, par rapport à la ligne droite absolue.

SAGR. : Ainsi un peintre qui, laissant le port, aurait commencé à dessiner avec cette plume sur une feuille de papier, et qui aurait poursuivi l'exécution de ce dessin jusqu'à Alexandrie, aurait pu tirer du mouvement de la plume toute une « histoire » composée de nombreuses figures aux contours net et précis, avec des villages, des édifices, des animaux et bien d'autres motifs, alors même que le mouvement réel et essentiel tracé par la pointe de la plume n'aurait pas été autre chose qu'une très longue. Mais très simple, ligne. Quant à son propre travail, le peintre aurait pu l'effectuer à merveille, tout aussi bien que si le navire eût été immobile. S'il ne reste d'autre trace du très long mouvement de la plume que ces traits marqués sur le papier, il faut en chercher la cause dans le fait que le grand mouvement de Venise à Alexandrie a été commun à la plume et au papier, ainsi qu'à toutes les choses qui se trouvaient dans ce navire : par contre, les mouvements intimes, vers l'avant, vers l'arrière, vers la droite, vers la gauche, communiqués par les doigts du peintre à la plume, et non à la feuille, parce qu'ils n'appartenaient qu'à la plume, ont, eux, pu laisser leur trace sur le papier qui, par rapport à ces mouvements, était immobile.

## Texte B

SALY : Enfermez-vous avec un ami dans la plus vaste cabine d'un stand navire et faite en sorte que s'y trouvent également des mouches, des papillons et d'autres petits animaux volants, qu'il dit disposé un grand récipient rempli d'eau dans lequel on aura, mis vos petits poissons : suspendez également à bonne hauteur un petit seau et disposez-le de manière à ce que l'eau se déverse goutte à goutte dans un autre récipient à col étroit que vous aurez disposé en dessous ; puis, alors que le navire est à l'arrêt observez attentivement comment ces petits animaux volent avec des vitesses égales quel que soit l'endroit de la cabine vers lequel ils se dirigent ; vous pourrez voir les poissons nager indifféremment dans toutes les directions ; les gouttes d'eau tomberont toutes dans le récipient posé par terre ; si vous lancez quelque objet à votre ami, vous ne devrez pas fournir un effort plus important selon que vous le lancerez dans telle ou telle direction, à condition que les distances soient égales ; et si vous sautez à pieds joints, comme on dit, vous franchirez des espaces semblables dans toutes les directions.

Une fois que vous aurez observé attentivement tout cela – il ne fait aucun doute que si le navire est à l'arrêt les choses doivent se passer ainsi – faites se déplacer le navire à une vitesse aussi grande que vous voudrez ; pourvu que le mouvement soit uniforme et ne fluctue pas de-ci de-là, vous n'apercevrez aucun changement dans les effets nommés, et aucun d'entre eux ne vous permettra de savoir si le navire avance ou bien s'il est arrêté : si vous sautez, vous franchirez sur le plancher les mêmes distances qu'auparavant et si le navire se déplace, vous n'en ferez pas pour autant des sauts plus grands vers la poupe que vers la proue, bien que pendant que vous êtes en l'air, le plancher qui est en dessous ait glissé dans la direction opposée à celle de votre saut : si vous jetez quelque objet à votre ami, il ne vous faudra pas le lancer avec plus de force pour qu'il lui parvienne, que votre ami se trouve vers la proue et vous vers la poupe, ou que ce soit le contraire : les gouttes d'eau tomberont comme auparavant dans le récipient qu'on aura mis en dessous, sans qu'une seule goutte ne tombe du côté de la poupe, bien que, pendant le temps où la goutte est en l'air, le navire ait parcouru plus d'un empan : les poissons dans leur eau nageront sans plus d'effort vers l'une ou l'autre partie du récipient dans lequel on les aura mis et ils se dirigeront avec autant d'aisance vers la nourriture quel que soit l'endroit du bord du bocal où elle aura été placée ; enfin, les papillons et les mouches continueront à voler indifféremment dans toutes les directions. Et on ne les verra jamais s'accumuler du côté de la cloison qui fait face à la poupe : ce qui ne manquerait pas d'arriver s'ils devaient s'épuiser à suivre le navire dans sa course rapide.