



HAL
open science

Faire système du monde. Défis et apories d'une cosmologie copernicienne dans l'œuvre de Galilée

Philippe Hamou

► **To cite this version:**

Philippe Hamou. Faire système du monde. Défis et apories d'une cosmologie copernicienne dans l'œuvre de Galilée. *Les études philosophiques*, 2018, 182, pp.227-250. 10.3917/leph.182.0227. hal-02322560

HAL Id: hal-02322560

<https://hal.parisnanterre.fr/hal-02322560>

Submitted on 21 Oct 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

FAIRE SYSTÈME DU MONDE. DÉFIS ET APORIES D'UNE COSMOLOGIE COPERNICIENNE DANS L'ŒUVRE DE GALILÉE

Galilée attachait une importance toute particulière à présenter son œuvre copernicienne comme relevant, non pas tant des seules mathématiques ou de l'astronomie, mais de la « philosophie ». La dédicace au Grand-Duc de Toscane du *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* s'ouvre par cette variation sur un *topos* de Plutarque : ~~si~~ le philosophe s'élève au-dessus du commun des hommes autant que l'homme s'élève au-dessus des bêtes, ~~et~~ s'il le fait, c'est précisément par sa capacité à lever son regard vers le ciel et contempler l'ordre du monde¹ :

Car la philosophie est la nourriture des meilleurs [...]. En portant haut les regards, on se distingue ; on les élève en les fixant sur le grand livre de la nature, dont la philosophie fait son objet. Ce qu'on peut y lire est toujours beau et bien proportionné, accordé à la toute-puissance de l'artisan souverain. Mais son art éclate mieux en certains objets plus aisés et plus dignes d'étude. La constitution de l'univers pourrait venir en premier dans l'appréhension de la nature : comme elle contient toute choses, sa grandeur dépasse tout ; comme elle règle et maintient toutes choses, sa noblesse doit également dépasser tout (OG, VII, p. 27, trad. fr. p. 40).

La contribution du savant florentin à la « révolution astronomique »² des temps modernes ne peut être bien comprise si l'on ne voit que Galilée se

1. Nous citons ici le *Dialogue* dans la traduction de R. Fréreau et F. De Gandt, Galilée, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, Paris Seuil, 1992. Nous ferons précéder la pagination de la traduction par celle du volume VII des *Opere di Galileo Galilei*, A. Favaro (éd.) Florence Barbera, 20 vol. 1890-1909 [ci-après, OG].

2. Cette « révolution astronomique », selon l'expression éponyme d'un ouvrage d'Alexandre Koyré (*The Astronomical Revolution*, Paris, Hermann, 1973), est généralement associée à la triade Copernic, Kepler et Newton. Le premier visualise le nouveau système du monde ; le second en dégage les lois ; le troisième les justifie en en proposant une interprétation causale et dynamique. Dans ce schéma, il n'est pas aisé d'assigner une place à Galilée. Il ne fit pas vraiment œuvre d'astronomie mathématique et prédictive : contrairement à Kepler, il n'est jamais entré dans le détail des « théories » planétaires ; sa présentation du système copernicien est simplifiée à outrance ; la découverte képlérienne de la trajectoire elliptique des planètes passée sous silence. Si Galilée est le premier à avoir tenté de conjoindre astronomie et science

donna pour tâche propre de clarifier, de porter à l'expression, cette part de philosophie qui était sous-jacente à l'astronomie copernicienne. Entendons *philosophie* ici en son sens ancien et classique, comme la science vouée à l'élu- cidation des principes – et donc, s'agissant de la théorie du ciel, des premiers principes cosmologiques, touchant la nature et l'ordonnement des corps de l'univers.

Si les grands commentateurs classiques de Galilée – à commencer par Ernst Cassirer et Alexandre Koyré – n'ont pas manqué de souligner cette dimension essentielle de l'apport galiléen, ils insistèrent surtout sur le fait que Galilée rendit possible la science moderne en *détruisant* à sa racine même le cadre cosmologique des Anciens³. Mobilisant l'argumentaire rationnel et les expériences télescopiques, notamment dans la première journée du *Dialogue*, il montrait l'inanité de la distinction classique des deux régions, sublunaire et supra-lunaire, distinction qui est au cœur de la cosmologie aristotélicienne. Ces deux espaces se voyaient désormais unifiés, obéissant aux mêmes lois. Galilée rendait ainsi possible et pensable « l'espace » dont la physique moderne avait besoin. Homogène, indifférencié, dépourvu de tout repère posé *a priori*, tels que le haut, le bas, la droite et de la gauche, de centre et de périphérie, c'est un cadre universel pour tous les phénomènes, dont en outre plus rien n'invite à penser qu'il doit être nécessairement fini. Cette réforme philosophique du concept d'espace est présentée, tant par Cassirer que par Koyré, comme un changement crucial pour la naissance de la science moderne. C'est seulement dans l'espace homogène et illimité de l'astronomie galiléenne que la mathématisation de la nature peut se faire, et que peuvent prendre sens les concepts de mouvement, d'inertie et de force dont ~~use~~ la mécanique classique. C'est aussi à partir de ce nouveau concept d'espace que la nature peut être pensée à la manière kantienne, non plus comme un système global concret où chaque chose aurait sa place assignée, son lieu naturel, mais comme un ensemble de phénomènes soumis aux lois de la raison.

Il est notable que dans cette description saisissante, l'apport de Galilée au discours cosmologique apparaît essentiellement négatif et destructeur. Dans l'espace de la science moderne, les corps, les astres, sont liés les uns aux

du mouvement, les historiens des sciences n'ont pas manqué de signaler l'échec de cette première tentative de synthèse : resté attaché à l'idée selon laquelle le mouvement circulaire se conserve naturellement, Galilée n'a pas su poser la question dynamique *a quo moventur planetæ* ? – par quoi sont mues les planètes ? – question centrale dans le processus qui conduisit de l'astronomie copernicienne à une véritable physique céleste (voir en particulier, Koyré, *Études galiléennes*, Paris Hermann, 1939).

3. Voir notamment Ernst Cassirer, *Le Problème de la connaissance dans la philosophie et la science des temps modernes* [*Das Erkenntnisproblem*, Berlin, 1906], vol. I, trad. fr. R. Fréreux, Paris, Cerf, 2004, pp. 309-310 « Perfection ne signifie plus maintenant que conformité générale et univoque à la loi ». Koyré, « Galilée et la Révolution scientifique », in *Études d'histoire de la pensée scientifique*, Paris, Gallimard, 1973, p. 197, souligne l'importance de Galilée pour le remplacement du concept ancien de cosmos par celui d'Univers, « c'est-à-dire un ensemble ouvert et indéfiniment étendu de l'Être, uni par l'identité fondamentale des lois qui le gouvernent ».

autres par le biais de leurs interactions physiques, mais leur distribution dans l'univers, leur « ordre », est désormais sans rapport nécessaire avec l'espace qui les accueille. Cet ordre est devenu contingent : il n'est plus dérivable ou déductible de la structure générale de l'univers. Celle-ci est, pour ainsi dire, devenue neutre au regard de ce qu'elle accueille. Pour cette raison, l'on a parfois suggéré qu'il y eut dans les temps modernes, entre l'époque de Galilée et le XIX^e siècle, une *éclipse de la cosmologie*⁴. Le XX^e siècle, avec la relativité générale, renouerait pour partie avec une idée fondamentale de la cosmologie ancienne, précisément en ce que de nouveau la distribution des corps dans l'espace se trouverait structurellement liée à la forme spatio-temporelle de l'univers. Mais entre les Anciens et nous, il y aurait donc une période, ouverte par Galilée, au cours de laquelle la cosmologie (le discours sur l'ordre et la structure de l'univers) s'exténuerait et perdrait sa place rectrice ou principielle dans l'ordre des savoirs scientifiques.

Aussi suggestive soit-elle, cette reconstruction rationnelle de la contribution galiléenne partage avec les lectures récurrentes moins subtiles qu'on trouve dans l'histoire des sciences hagiographiques le même défaut de méthode qui consiste à comprendre un auteur, presque exclusivement à partir des effets théoriques de sa pensée. On se place ainsi, pour lire Galilée, dans une situation postkantienne, où la nature se présente à nous d'abord comme une totalité « légale » plutôt qu'une totalité ordonnée, et l'on cherche à comprendre comment Galilée a rendu possible cela. Si une telle entreprise est légitime, l'on est en droit de se demander dans quelle mesure elle nous éclaire sur la manière dont Galilée lui-même se représentait les choses, comprenait le sens de sa contribution « cosmologique ». J'ai défendu ailleurs⁵ l'idée qu'il est nécessaire d'appliquer à l'histoire des sciences la démarche de l'histoire compréhensive – qu'il faut en l'occurrence revenir aux textes, aux contextes, et aux intentions des acteurs, pour tenter de comprendre les savants comme ils se comprenaient eux-mêmes, ou au moins comme leurs contemporains immédiats les comprenaient. Dans le cas présent, je suis convaincu qu'un retour « compréhensif » à l'état naissant du « moment galiléen » peut être riche d'instructions, y compris pour une meilleure intelligence de ce qu'il signifia sur le long terme, de ses séquelles historico-philosophiques.

Il convient ~~tout~~ d'abord de ~~bien~~ comprendre que le choix entre les deux « grands systèmes du monde » dont il est question dans le *Dialogue* de 1632 ne se présentait pas pour Galilée comme le choix entre deux options théoriques, ou deux visions du monde également disponibles, entre lesquelles l'on pouvait décider indifféremment. La prégnance culturelle du système ancien, dérivé de la cosmologie d'Aristote, était telle que l'option copernicienne ne

4. C'est la thèse de Jacques Merleau-Ponty et Bruno Morando dans *Les Trois Étapes de la cosmologie*. Voir aussi l'intéressante recension de Guy Picolet, in *Revue d'histoire des sciences*, t. XXVI, n° 3, 1973. pp. 275-276.

5. Philippe Hamou, « Représentations épistémiques et histoire des sciences », in A.-L. Rey (dir.), *Méthode et histoire. Quelle histoire font les historiens des sciences et des techniques ?*, Paris, Classique Garnier, 2013.

pouvait émerger qu'au prix de ce que Galilée lui-même appelle une « réforme des cerveaux ». En somme, il fallait apprendre à voir et penser autrement, et ceci justifie que l'essentiel du travail cosmologique de Galilée, notamment dans le *Dialogue* de 1632 consista en une *pars destruens*⁶. Comme on le sait, dans la première journée du *Dialogue*, l'un après l'autre, les principes ~~aristotéliens~~ qui régissent la construction théorique du *Traité du ciel* d'Aristote sont passés en revue et sévèrement critiqués, au point que Simplicio, le champion d'Aristote, se voit souvent réduit au silence, déclarant amèrement « *contra negantes principia non est disputandum* »⁷. Cette destruction systématique n'est pas sans comporter des risques parce que, dans sa radicalité, elle menace non seulement les principes premiers de la cosmologie aristotélienne, mais aussi, comme nous l'avons suggéré plus haut, l'idée même d'une *cosmologie*, d'un ordre cosmique qui serait recteur et principiel. Pourtant, nous voulons le montrer ici, Galilée est resté attaché à l'idéal cosmologique. Il prend au sérieux l'idée ancienne selon laquelle la tâche du philosophe consiste à contempler la vraie constitution de l'univers et en manifester l'ordre et l'harmonie. En d'autres termes, il n'a pas renoncé au projet de constituer une *cosmologie copernicienne positive*.

Un premier signe qui en témoigne est la concession ou plutôt le contrat d'accord minimal sur lequel s'engage le débat entre le copernicien Salviati et l'Aristotélien Simplicio au tout début du *Dialogue* :

[Salviati] J'accorde que le Monde est un corps doté de toutes les dimensions et donc parfait ; de ce fait, il faut qu'il soit très bien ordonné, qu'autrement dit ses parties soient disposées en un ordre souverain et parfait (OG, VII, p. 43, trad. fr. p. 55).

Cette concession (contrairement à d'autres faites par Salviati dans la suite du *Dialogue*) n'est pas ironique, car la recherche de « l'ordre le meilleur et le plus achevé » reste à l'évidence pour les protagonistes du dialogue l'objet et la norme fondamentale de l'enquête. Galilée, avec Copernic lui-même, attache un prix particulier à l'idée selon laquelle le système copernicien vaut parce qu'il est incomparablement mieux ordonné, plus simple, plus économe ou plus rationnel que celui des Anciens. Cependant il y a là un paradoxe, une aporie. Comment est-il encore possible d'invoquer l'ordre ou l'harmonie du cosmos lorsqu'il apparaît que la pleine justification de Copernic réclame une destruction systématique des principes *physiques* et *épistémologiques* qui président à l'idée même d'un cosmos ordonné. D'une part, s'il n'existe plus dans l'espace cosmique de repères fixes : ni haut, ni bas absolus, ni directions privilégiées, ni limites assignables au monde par le moyen desquels nous

6. C'est Maurice Clavelin (*La Philosophie Naturelle de Galilée*, Paris, Albin Michel, 1996) qui a le mieux montré que la première journée du *Dialogue* est construite comme une patiente lecture et déconstruction terme à terme du *De Caelo* d'Aristote.

7. « Contre ceux qui nient les principes, il ne faut pas entrer en dispute », OG, VII, p. 58, trad. fr. p. 68.

pourrions donner à chaque chose sa place, l'idée même de centre et de périphérie n'ont plus réellement de sens. Or cette conclusion, il faut en être bien conscient, affecte tout autant « l'héliocentrisme » d'un Copernic que le « géocentrisme » d'un Ptolémée. D'autre part, il n'est plus permis de penser que l'esprit humain soit capable d'imposer une norme *a priori* à l'ordre de la nature. Ce qui lui apparaît simple ou particulièrement harmonieux et économe (par exemple dans le système copernicien) ne l'est peut-être qu'au regard de sa perspective étroite et limitée. Contre une forme d'anthropocentrisme épistémique, implicite dans l'aristotélisme, selon lequel les sens et l'entendement humain sont appropriés à la nature, et que celle-ci est faite sinon pour les hommes, du moins pour être comprise d'eux, Galilée n'a cessé dans le *Dialogue* et ailleurs de nous prévenir. Il dénonce la croyance que la nature serait nécessairement conforme aux cerveaux humains, et qu'il faudrait « limiter ce que la nature peut faire et sait faire en le mesurant aux capacités humaines » [OG, VII, p. 126-127, trad. fr. p. 127]. Ainsi, si l'univers est suprêmement ordonné, il n'est pas certain que nous disposions des capacités cognitives ou mathématiques pour le comprendre. Appliqué à la question cosmologique de l'ordonnement des astres, ce pessimisme épistémologique n'est nulle part mieux exprimé que dans ce passage fameux d'une lettre à Gallenzone Gallenzoni du 16 juillet 1611 :

S'il était échu à un homme d'organiser et d'ordonner à sa guise selon les proportions parfaites les différences entre les principaux mouvements des sphères célestes, je crois qu'il les aurait établis en se fondant sur les proportions du premier type, les plus rationnelles ; mais Dieu au contraire, sans se soucier des symétries que nous comprenons, les a ordonnées en se servant de proportions non seulement incommensurables et irrationnelles, mais totalement inaccessibles à notre intelligence (OG, XI, p. 149-150, ~~p.~~ ; trad. fr. in Maurice Clavelin, *La Philosophie naturelle de Galilée*, p. 451).

Que l'ordre du cosmos, dont Galilée ne doute pas, puisse néanmoins tout simplement ne pas être accessible à l'intelligence humaine est sans doute l'état de fait épistémique essentiel, celui à partir duquel doit se poser la question cosmologique. Or c'est, me semble-t-il, une prémisse que Galilée ne partage ni avec les aristotéliens, ni, et cela est plus paradoxal, avec ses compagnons coperniciens, Copernic lui-même, et surtout Kepler, dont les conceptions cosmologiques apparaissent, de ce fait même, aux antipodes de celles de Galilée.

Astronomie et cosmologie : le partage antique et sa réinterprétation képlérienne

Pour mieux situer Galilée dans le débat cosmologique de son temps, il nous faut brièvement rappeler la manière dont s'articulent traditionnellement astronomie et cosmologie. Dans le schéma aristotélien des sciences tiré des considérations de *Physique* II et du chapitre I. 13 des *Seconds analytiques*, ces

deux disciplines offrent un exemple privilégié du rapport entre l'approche physique et l'approche mathématique d'un même objet. Le physicien du ciel et l'astronome considèrent les mêmes objets (les astres, leur figure et mouvements), mais tandis que l'astronome considère ce qui est (le fait, *to hoti*), autrement dit les données de l'observation, et s'attache dans ses raisonnements à montrer comment elles peuvent être déduites de certaines causes supposées, le physicien considère pour sa part directement les premiers principes physiques et les causes (le « pourquoi », *to dioti*), les établissant à partir de considérations dialectiques qui n'empruntent que peu, ou pas du tout, à l'observation. Ainsi dans le *Traité du Ciel* les principes généraux et l'ordre du cosmos sont établis par le recours à des considérations physiques et logiques, telles que la nature des éléments et celle du changement, la nature nécessairement tridimensionnelle de toute chose corporelle, le statut méréologique du fini et de l'infini. Aristote en déduit que l'univers est un corps sphérique parfait, plein et fini, doté d'un centre et d'une périphérie. L'ordre y est préservé par le repos ou par le mouvement circulaire uniforme. L'espace élémental est polarisé par des lieux naturels. L'élément terrestre a son lieu naturel au centre de l'univers.

Dans toutes ces démonstrations, les observations de l'astronome ne sont pas ou peu sollicitées⁸. L'astronomie n'est pas conçue comme une science qui pourrait venir concurrencer la physique ou la cosmologie sur son propre terrain. Les deux disciplines, tout en partageant un même domaine d'études (le Ciel), sont dans un clair rapport hiérarchique, et accomplissent des tâches distinctes et complémentaires. Ce partage des tâches a été bien décrit dans ce passage souvent cité de Posidonius, rapporté par Geminus de Rhodes⁹ :

le physicien s'attachera à la cause et portera son attention sur la puissance qui produit l'effet qu'il étudie, tandis que l'astronome tirera ses preuves des circonstances extérieures qui accompagnent ce même effet ; il n'est point né capable de contempler la cause, de dire, par exemple, quelle cause produit la forme sphérique de la Terre et des astres...

Dans ce contexte traditionnel, l'on ne peut envisager que deux manières pour l'astronome de contribuer à la connaissance scientifique du ciel. D'une part l'astronome peut venir *confirmer* l'ordre et la constitution du monde établis a priori par le physicien en l'exposant par une autre voie (à la lumière de

8. P. Pellegrin, dénonçant le contresens qui consiste à tenir le ~~traité du ciel d'Aristote~~ pour une contribution à l'astronomie, estime que l'astronomie (la science mathématique) ne peut jouer dans la théorie physique rien de plus qu'un rôle subsidiaire (« an appended role »). Cf. « The argument for the sphericity of the universe in *Aristotle's De Caelo*: Astronomy and physics », in A. Bowen & C. Wildberg (dir.), *New Perspectives on Aristotle's De Caelo*, Leiden/Boston, Brill, 2009, p. 166.

9. Il s'agit d'un passage dans lequel Geminus résume les *Météorologiques* de Posidonius, eux-mêmes connus à travers une citation d'Alexandre d'Aphrodise rapportée par Simplicius dans son *Commentaire sur la Physique d'Aristote* (*In Phys.* 291.21- 292.31). Le passage est traduit dans Duhem, *Sauver les phénomènes*, p.***.

ce qui est, soit donc des observations). Par exemple, si le physicien explique la sphéricité de la Terre par des raisons *a priori*, en considérant comment elle a pu (ou aurait pu) être engendrée par les mouvements naturels convergents, et le tassement des parties terrestres vers le centre de l'univers (cf. *De Caelo*, 297 a), l'astronome pour sa part est en mesure de *confirmer* cette sphéricité par des raisons empiriques, par exemple en considérant la forme de l'ombre de la terre sur la lune lors des éclipses. D'autre part, l'astronomie peut aussi *rectifier* marginalement l'ordre des mouvements célestes établi par le physicien, en proposant des hypothèses auxiliaires, destinées à « sauver les phénomènes », c'est-à-dire réduire l'écart qui peut exister entre l'ordre posé par le physicien (comme par exemple la circularité et l'uniformité du mouvement des astres) et les irrégularités constatées par l'observation. C'est dans cette seconde tâche qu'il faut situer essentiellement les contributions mathématiques de Ptolémée, lorsqu'il mobilise excentriques et épicycles dans ses théories planétaires. Ainsi l'orbite solaire est-elle légèrement excentrée pour faire droit à l'irrégularité des saisons, et les planètes se meuvent sur des épicycles, pour rendre raison des mouvements apparents de rétrogradation. Ces ajustements se font sans renoncer à la circularité et l'uniformité des mouvements.

Il est à noter que Galilée connaissait parfaitement ce partage traditionnel des tâches, qu'il s'attache à exposer pédagogiquement dans ses « Considérations sur l'opinion copernicienne » distinguant deux sortes de « suppositions » qu'on trouve chez les astronomes¹⁰ :

Certaines sont premières et concernent ce qui est vrai dans la nature de manière absolue, et d'autres sont secondes et ont été imaginées pour rendre raison des apparences dans les mouvements des astres, apparences qui ne se montrent pas tout à fait en accord avec les suppositions vraies et premières. Ainsi Ptolémée, avant de s'attacher à satisfaire les apparences, énonce des suppositions, non pas en tant qu'astronome pur, mais bien purement comme philosophe, et ces suppositions, il les emprunte précisément aux philosophes eux-mêmes : il admet ainsi que les mouvements célestes sont tous circulaires et réguliers, c'est-à-dire uniformes ; que le ciel a une forme sphérique ; que la Terre est au centre de la sphère céleste, et qu'elle est également sphérique et immobile, etc.

Galilée souligne ici très justement le fait que dans *L'Almageste* de Ptolémée l'astronomie géocentrique était d'emblée intégrée à l'édifice cosmologique aristotélicien sans que celui-ci ne fût en aucune façon mis à l'épreuve de l'observation. De fait, c'est bien la théorie des éléments et celle des lieux naturels, rappelée dans les pages liminaires, et non pas l'observation, ni à plus forte raison l'analyse mathématique, qui rendent pour Ptolémée le géocentrisme nécessaire et vrai.

10. OG, V, p. 35** ; trad. fr. dans Galilée, *Lettre à Christine de Lorraine et autres écrits coperniciens*, Ph. Hamou et M. Spranzi (dir.), Paris LGE, Le Livre de Poche, 2004, p. [ci après, *Écrits coperniciens*].

Au regard de cette représentation traditionnelle du partage des tâches, comment fallait-il interpréter l'apport copernicien ? À cette question, l'on pouvait au début du XVII^e siècle apporter deux réponses opposées : l'une – qu'on trouve exprimée fortement chez Kepler – fait de Copernic un pur *astronome* dont la tâche propre fut de montrer, ou de « visualiser » le *to hoti*, l'état factuel du système planétaire, sans véritablement entrer dans la question cosmologique des raisons de l'ordre. L'autre réponse, celle de Galilée, consiste à voir en Copernic un « astronome-philosophe », un véritable contemplateur de la nature, dont la contribution porte sur les suppositions cosmologiques premières, celles qui fondent l'ordre général de la nature. L'originalité méthodologique de Galilée en cette affaire tient à ce que l'observateur-mathématicien a désormais autorité pour empiéter sur le territoire du philosophe-physicien. La juste compréhension de *ce qui est* nous donne autorité pour parler des *causes*.

Dans sa *Discussion avec le messager céleste*, Kepler propose une remarquable esquisse d'histoire philosophique de la science astronomique, distribuant dans le temps les tâches de l'invention et de la justification, et accordant à chacun un éloge proportionné à ses mérites¹¹ :

Sur mon propre terrain aussi, il faudra regarder comme des prodiges Pythagore, Platon et Euclide, pour avoir conclu guidés par la supériorité de la raison qu'il ne pouvait en être autrement que si Dieu avait disposé le monde sur le modèle des cinq solides réguliers, bien qu'ils se soient trompés sur la manière <dont s'est réalisé l'arrangement> ; au contraire une louange commune reviendra à Copernic qui en utilisant son intelligence non commune, a pourtant décrit l'univers comme s'il l'avait embrassé du regard et a seulement porté à la lumière « ce qui est » ; Kepler arrivera loin derrière les anciens, lui qui, à partir de la saisie visuelle que donne le système de Copernic, s'est élevé en quelque sorte depuis ce qui est jusqu'aux causes elles-mêmes et jusqu'au « pourquoi » que Platon, tant de siècles auparavant, avait trouvé a priori et déductivement et il a montré que dans le système copernicien du monde se trouve imprimé le principe rationnel des cinq solides platoniciens.

Dans cette histoire, on le voit, la première place revient aux spéculateurs *a priori*. Kepler reconnaît avec la tradition aristotélicienne, l'identification de la science véritable à la démonstration par les causes ou le *pourquoi*. L'exposé du *to hoti*, le fait, n'a pas dans ce schéma une vertu pour établir directement une vérité scientifique mais intervient seulement pour confirmer ou pour corriger l'établissement rationnel des causes. Ainsi la confirmation factuelle reste-t-elle subordonnée à la découverte primitive des principes imprimés dans la création. La hiérarchie des mérites dans la science astronomique coïncide avec l'identification de tâches chronologiquement distinctes : ce qui vient

11. Kepler, *Dissertatio cum nuncio sidereo*, éd. et trad. fr. I. Pantin, Paris, Les Belles Lettres, 1993, pp. 25-26. Pour une présentation plus détaillée de ces thèses nous renvoyons le lecteur à notre ouvrage, *La Mutation du visible*, vol. I, Villeneuve d'Ascq, Septentrion, 1999, chap. VI.

en premier lieu est ce qui est au plus près de l'intelligence créatrice¹², c'est la découverte des causes par un pur effort de l'esprit. Ainsi Platon témoigne d'un esprit presque divin lorsque dans le *Timée*, par la seule considération de ce qui *doit être*, il anticipe sur ce que des générations d'astronomes observant l'univers ne pourront que laborieusement établir : la limitation du nombre des planètes à six. Ensuite seulement viennent des tâches dont l'accomplissement est moins méritoire, l'établissement (ou la rectification) des faits – la substitution copernicienne de l'héliocentrisme au géocentrisme en est un aspect – et finalement la réévaluation des causes par les faits – tâche dont Kepler lui-même s'acquitte en montrant (dans le *Mysterium cosmographicum*) comment le nombre et la disposition des planètes dans le système copernicien est déductible *a priori* de la disposition des sphères selon les cinq solides réguliers platoniciens. Dans cette histoire axiologique de la science astronomique, il est assez remarquable que le mérite de Copernic se trouve fortement relativisé devant celui des Anciens et peut-être même devant celui de Kepler. Copernic met en lumière « ce qui est », offrant ainsi une « saisie visuelle » (*ocularis intuitus*) du monde, mais il ne contribue pas directement à la connaissance du *pourquoi*. Bien qu'il puisse sembler étrange que la contribution de Copernic qui ne repose pas sur des observations nouvelles, mais presque exclusivement sur le calcul, soit assignée ainsi à la pure factualité, Kepler comprend l'intelligence mathématique de Copernic comme une sorte de vision substitutive. L'effort de Copernic consiste à déployer sinon une visibilité effective du moins un nouveau repérage, une nouvelle cartographie du visible. Copernic nous apprend seulement à « voir » différemment. Il n'apprend pas à comprendre mieux les « causes » de la Création, et peut même inviter les astronomes à se désintéresser d'une telle recherche au bénéfice d'un conventionnalisme mathématique dont on trouve l'expression caractéristique chez Osiander.

Galilée et l'approche dialectique de la cosmologie copernicienne

En contraste frontal avec cette lecture képlérienne, Galilée, dans ses *Considérations sur l'opinion copernicienne*, insiste sur le fait que Copernic ne s'est pas contenté d'être astronome, sans rechercher une raison d'être pour son système. Comme astronome/mathématicien, explique Galilée, Copernic était parfaitement capable de faire les calculs requis pour les tâches de prédiction en se contentant de l'autre système. S'il est passé à l'héliocentrisme c'est en raison d'une insatisfaction non pas mathématique mais bien philosophique : le système géocentrique pris dans sa globalité ne répondait pas à une exigence d'ordre, de cohérence, de symétrie qu'il ressentait comme nécessaire.

12. Kepler, *Dissertatio (ibid.)* : « Certainement ceux qui conçoivent par l'esprit les causes des choses avant que ces choses ne se révèlent aux sens sont plus semblables à l'Architecte que ceux qui après avoir vu, réfléchissent sur les causes ».

L'on connaît le passage fameux de la Lettre à Paul III, où Copernic dénonce la « monstruosité » du système défendu par les disciples de Ptolémée : chacun de ses membres pris à part est peut-être bien proportionné, mais le corps formé par leur conjonction est disjoint, les épicycles des planètes empiètent les uns sur les autres, les cieus sont animés de mouvements contraires, les principes de continuité, d'uniformité et d'harmonie ne sont pas respectés¹³. L'héliocentrisme est meilleur à tous ces égards, il ne sauve pas seulement les phénomènes, il en manifeste la beauté et l'ordre.

Galilée conçoit donc sa tâche copernicienne comme un approfondissement de l'entreprise « philosophique » esquissée par Copernic dans la Lettre à Paul III et le premier livre du *De Revolutionibus*. L'on peut dire que cet approfondissement détermine trois ambitions distinctes illustrées particulièrement dans le *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*. La première consiste pour le savant florentin à mettre ses pas strictement dans ceux de Copernic en comparant les mérites du géocentrisme et de l'héliocentrisme au regard de la même exigence d'économie, de symétrie, de cohérence *internes* mise en avant par Copernic lui-même¹⁴. La seconde consiste à répondre aux objections physiques traditionnelles élevées contre le mouvement de la Terre en montrant que ce dernier est parfaitement conciliable avec les phénomènes ordinaires de la gravité et du mouvement des projectiles, et qu'il est même corroboré par des mouvements terrestres spécifiques (les marées). La troisième ambition est de montrer que le système copernicien est non pas seulement celui qui a la meilleure économie interne, la meilleure *coherentia*, mais aussi celui qui est le plus conforme à un ensemble de principes dégagés de la considération de ce qui est nécessaire au maintien d'un *ordre cosmique*. C'est là l'ambition proprement cosmologique de Galilée, et c'est sans doute celle qui a reçu à ce jour le moins d'attention des commentateurs.

Je ne dirai ici que peu de choses de la première ambition et quasi rien de la seconde. Elles ont été l'une et l'autre amplement étudiées. Je rappellerai seulement au sujet de la *cohérence* interne du système copernicien, l'usage que Galilée a pu faire de certaines observations télescopiques, et de leur prise en charge par la mesure : les phases de Vénus, le calcul des périodes et éclipses des satellites de Jupiter, l'observation du changement du sens d'incurvation au fil de l'année du mouvement des taches solaires. Dans ces trois cas, Galilée

13. « Il leur arrive ce qui arriverait à qui prendrait de divers côtés des mains, des pieds, une tête et d'autres membres, fort bien représentés en eux-mêmes, sans doute, mais non point si on les rapporte à un même corps, puisqu'ils ne vont pas ensemble : c'est un monstre que l'on formerait ainsi bien plutôt qu'un homme. » N. Copernic, *De revolutionibus orbium coelestium*, édition critique, traduction et notes M.P. Lerner, A.P. Segonds et J.-P. Verdet, Paris, Les Belles Lettres, 2015, préface de l'auteur, vol. II, p. 6.

14. Chez Copernic, l'exemple princeps de ce type d'argumentation est l'explication de la rétrogradation des planètes : ce qui est expliqué pour chaque planète par un mécanisme spécifique et dissocié des autres devient un effet général du mouvement orbital terrestre (de l'observateur), c'est le seul mouvement de la terre autour du soleil qui explique toutes ensembles les rétrogradations de toutes les planètes. Et cela permet en outre d'expliquer le fait remarquable laissé sans cause dans le système copernicien d'une stricte corrélation entre la position du soleil et celle de la planète sur son épicycle.

montre que les changements observés au télescope s'expliquent beaucoup plus simplement et sans introduction de mouvement *ad hoc*, lorsqu'on suppose qu'ils découlent du mouvement orbital de la terre et des planètes autour du Soleil. S'agissant de Vénus par exemple, le télescope non seulement conforte l'argumentation systématique en montrant que la série complète des phases s'accorde parfaitement avec une trajectoire héliocentrique de la planète, mais, en supprimant des effets d'irradiation adventice, vient aussi corriger une objection qui avait été adressée à Copernic – à savoir qu'on ne constate pas à l'œil nu de différences de magnitude importantes dans l'apparence de la planète, contrairement à ce que laisserait prévoir la théorie héliocentrique.

L'intérêt épistémologique de ce type d'argument est grand car il révèle la capacité du système copernicien à prédire non pas seulement les faits connus à l'époque de sa conception, mais aussi ceux qui étaient encore inconnus alors, et que l'on doit notamment aux progrès des techniques d'observation. L'on se trouve typiquement devant ce que, à la suite de William Whewell, l'on a appelé la « consilience » des inductions¹⁵ : l'aptitude d'une hypothèse à expliquer ou prédire des données nouvelles, différentes de celles en vue de quoi elle a d'abord été formée, crée en sa faveur une grande présomption. Pour Imre Lakatos et Élie Zahar, cette vertu singulière du système copernicien fut la véritable raison pour laquelle il devait rationnellement l'emporter sur son concurrent¹⁶.

Quoi qu'il en soit, ce qui est en jeu de manière générale dans cette reprise de l'argumentaire copernicien est une forme de « cohérentisme », que Galilée exprime ainsi¹⁷ :

Qui ne sait que toutes les vérités dans la nature s'accordent entre elles avec la plus grande harmonie, alors qu'il existe une dissonance aiguë entre les positions fausses et les effets vrais ? Se peut-il que la mobilité de la Terre et la stabilité du Soleil concordent de toutes les façons possibles avec la disposition de tous les autres corps de l'Univers et avec un bon millier de phénomènes minutieusement observés par nous-mêmes et nos prédécesseurs, et que cette position soit fausse, tandis que l'hypothèse de la stabilité de la Terre et de la mobilité du Soleil, qui, elle, est réputée vraie, ne pourrait en aucune façon s'accorder avec les autres vérités ?

Cet énoncé remarquable repose implicitement sur l'idée qu'une description adéquate d'un objet ou d'un mouvement céleste devrait idéalement comporter aussi celle des relations qu'il entretient avec le reste du monde en vertu de la connexion universelle des vérités. Ainsi les propositions vraies, parce qu'elles décrivent un état de choses réel, inscrit dans le tout de la nature

15. *Novum Organum renovatum* [1858], in *Collected Works of William Whewell*, réimpr. Londres, Thoemmes, 2001, vol. VI, p. 101.

16. I. Lakatos & É. Zahar, « Pourquoi le programme de recherche de Copernic a-t-il supplanté celui de Ptolémée ? », in Imre Lakatos, *Histoire et Méthodologie des sciences*, Paris, Puf, 1994 (texte original in I. Lakatos, *The Methodology of Scientific Research Programmes*, 1978).

17. Considérations sur l'opinion copernicienne, OG, V, p. 35*, *Écrits coperniciens*, p. *

par un nombre indéfini de liens de causalité et de contiguïté, sont connectées à une infinité d'autres propositions vraies, dans les champs les plus divers de la science et de l'expérience, tandis qu'il y a une forme d'isolement épistémique des propositions fausses, qu'aucune expérience ni aucune conséquence rationnelle ne vient conforter. La cohérence, l'économie, la simplicité, l'organicités intervient donc ici comme des *signes* de la vérité, tandis que l'isolement et l'atomicité des hypothèses trahissent leur fausseté.

Le critère de la cohérence et de l'économie interne, s'il a une puissance de conviction particulièrement forte chez les astronomes et les mathématiciens, n'est pourtant pas le critère ultime de la vérité physique selon Galilée, qui défend une conception « réaliste » de la physique. Celle-ci ne peut pas se contenter d'élaborer des conjectures pour sauver les phénomènes de manière élégante, pas plus qu'elle ne peut se satisfaire d'un recours sceptique à la *potentia absoluta* de Dieu. Elle doit s'attacher, autant qu'il est en elle, à prouver par des démonstrations nécessaires et des expériences sensibles que ses hypothèses sont réalisées dans la nature. Pour comprendre l'insuffisance des arguments pro-coperniciens tirés de la simplicité des voies, de l'économie et de la cohérence, il n'est que de rappeler ce que Galilée écrivait dans la Seconde journée après qu'il eut présenté ce type d'arguments avec beaucoup de verve : « il suffirait d'une seule expérience ou démonstration concluante en faveur du contraire pour renverser ces arguments probables et cent mille autres » [OG, VII, p. 148, trad. p. 147].

Il faut reconnaître que lorsque, en lisant le *Dialogue*, on part en quête des principes galiléens, ceux à partir desquels on pourrait construire une authentique « cosmologie copernicienne », on ne peut manquer de ressentir une certaine frustration. Ces principes existent, ils sont même assez aisément énonçables, mais ils ne se voient jamais exposés de façon systématique comme pourrait l'être un corps d'axiomes à partir desquels serait inférée la vérité du nouveau système du monde. On les trouve plutôt suggérés au fil du *Dialogue*, énoncés sans ordre véritable, ou n'apparaissant qu'implicitement, comme la seule alternative plausible compte tenu de la destruction des principes opposés.

Cette approche est sans doute déconcertante mais elle peut aisément s'expliquer. D'une part Galilée écrit dans un contexte prohibitif. Depuis 1616, l'Église lui a officiellement notifié l'interdiction de défendre ou d'enseigner le système copernicien par quelque moyen. Si, à l'époque où il rédige le *Dialogue*, il croit (à tort) que les conditions d'une expression plus libres sont réunies, il ne peut néanmoins adopter dans l'exposé de ses vues une démarche trop directe. En outre, Galilée est sans doute conscient que la nouvelle cosmologie copernicienne dont il entend avancer les cartes comporte de forts éléments d'hétérodoxie¹⁸ – et cela, indépendamment de la

18. Nous nous rangeons ici à l'appréciation de Massimo Bucciantini (*Contro Galileo Alle origine dell'Affaire*, Florence, 1995), selon lequel c'est la « cosmologie » exprimée dans la Lettre à Ingoli et le *Dialogue*, et particulièrement l'abandon de l'Univers anthropocentrique et finaliste des Anciens, qui constituent la véritable « hétérodoxie de Galilée ».

question de l'incompatibilité du mouvement de la terre avec certains textes scripturaires. En particulier, nous allons y revenir, Galilée laisse ouverte la possibilité que l'univers soit tel que l'avait décrit Giordano Bruno, infini, et susceptible d'accueillir une pluralité de mondes habités, donc sans privilège particulier pour l'ordre terrestre de la Création¹⁹.

C'est donc certainement en partie pour des raisons de prudence que Galilée n'avance que de manière très implicite et détournée les principes cosmologiques sur lesquels repose sa vision du monde copernicienne. Mais on peut estimer que ce mode d'exposition trouve aussi pour lui une justification de principe²⁰. Digne héritier d'une tradition renaissante qui attribuait une valeur réellement heuristique à la dialectique, Galilée choisit d'écrire un *dialogue* dans lequel les thèses des protagonistes coperniciens ne sont pas avancées de manière dogmatique, mais soumises à la discussion, « éprouvées²¹ » dans leur capacité de résistance aux objections. Il témoigne aussi qu'il est resté fidèle à l'ancienne idée aristotélicienne selon laquelle les premiers principes d'une science ne sont pas prouvés, mais sont ceux sur lesquels les plus sages parmi les savants parviennent à s'entendre au terme d'un processus dialectique. Le débat cosmologique est un débat qui porte sur les principes, et puisque ceux-ci ne peuvent être démontrés, il faut les *établir* autrement, en conduisant ceux qui tentent vainement de les réfuter à prendre conscience de leur force²², à se rendre silencieusement à leur évidence, au terme de ce qui ne constitue rien moins qu'une « conversion rationnelle²³ ».

Principes cosmologiques et règles heuristiques

La mise au jour, ou « l'éduction » dialectique des principes de la cosmologie nouvelle, quoiqu'elle ne puisse faire l'objet d'une démonstration, requiert ce qu'on pourra désigner comme une « heuristique », un ensemble de règles méthodologiques pour la découverte de ces principes, sur lesquelles

19. Sur l'épineuse question des influences brunniennes sur l'œuvre de Galilée, voir notamment Jean Seidengart, « Bruno et Galilée face à l'infinité cosmique et à la relativité », *Anabases*, 15, 2012, pp. 145-162.

20. Nous avons, Marta Spranzi et moi-même, développé ce point dans notre introduction aux *Écrits coperniciens* (2009), pp. 116-123.

21. Voir par exemple ce propos suggestif de Sagredo et sa référence à la balance de l'essayeur : « Mais Aristote n'est pas là pour parler ; je vous dis, moi, que si Aristote était là, ou bien nous arriverions à le persuader, ou bien il faudrait qu'il démonte nos raisonnements et nous persuade en en présentant de meilleurs [...]. Mais écoutons les autres raisons en faveur de son [Salviati] opinion, avant de les mettre à l'épreuve, de les affiner et de les peser dans la balance de l'essayeur » [OG, VII, p.* trad. fr. p.*]

22. On rappellera, en guise d'exemple suggestif et célèbre, la manière dont Aristote dans le livre gamma de la *Métaphysique* propose de manifester la vérité du principe de contradiction. Celui-ci ne peut pas se *démontrer* sans pétition de principe, en revanche il se révèle impossible à réfuter, et c'est ce qui permet de l'établir.

23. Sur cette expression, voir M. Clavelin « Le Dialogue ou la conversion rationnelle : à propos de la première journée », dans P. Galluzzi (dir.), *Novità celesti e crisi del sapere*, Florence, Giunti Barbera, 1984, pp. 17-29.

les protagonistes du *Dialogue* doivent pouvoir s'entendre préalablement à la discussion. La juste formulation de ces règles est, pour cette raison, une partie intégrante et essentielle du *Dialogue*. J'énoncerai ici sans autre forme de procès quatre de ces *regulae philosophandi* qui me paraissent particulièrement saillantes au regard du projet cosmologique :

(a) *Règle d'empiricité*. La nature de l'ordre cosmique ne peut faire l'objet d'une détermination *a priori*. Comme toutes les autres vérités sur la nature elle est soumise à la juridiction de l'expérience. Cette règle est souvent rappelée à Simplicio par ses interlocuteurs, et ils ont de bonnes raisons dialectiques de le faire car Simplicio, lui-même, fut le premier à l'introduire dans le *Dialogue*²⁴.

(b) *Règle d'analogie*. La nature est homogène dans toutes ses productions, ce qui signifie qu'on peut appliquer un principe d'analogie du connu à l'inconnu. Les corps célestes analogues doivent avoir, toutes choses égales par ailleurs, des comportements analogues.

(c) *Règle de localité*. Si le principe d'analogie permet d'étendre nos conceptions du connu à l'inconnu, une règle réciproque de limitation et de localité vise au contraire à restreindre un élargissement abusif de nos concepts cosmologiques. En particulier les notions dont on se sert pour caractériser la disposition et les relations des corps de l'univers, celles de centre, de périphérie, de direction, de perfection de proportion, etc., si elles ne sont pas en elles-mêmes illégitimes, sont des notions relationnelles, dont la signification est déterminée par un certain contexte local. On ne peut pas, en règle générale, en faire un usage indifférencié.

(d) *Règle de stabilité*. Cette règle dérive du postulat cosmologique initial, celui sur lequel, comme nous l'avons vu, un accord de principe est scellé au début du *Dialogue* entre Salviati et Simplicio : l'univers est un tout « parfait », réellement « ordonné ». Si tel est bien le cas, les mouvements qui se produisent *naturellement* dans l'univers ne doivent pas être de nature à altérer l'ordre.

Sans vouloir prétendre en aucune façon à l'exhaustivité, je m'attacherai dans les exemples qui suivent à montrer comment, sur la base de tels principes régulateurs ou heuristiques, Galilée parvient à suggérer à son lecteur un ensemble de thèses cosmologiques originales. Je m'appuierai ici non seulement sur le texte de la première journée du *Dialogue*, mais aussi sur celui de la Lettre à Ingoli de 1624, qui, sur les questions cosmologiques, est souvent plus explicite.

24. Voir Simplicio « Malgré sa grande pénétration d'esprit, Aristote ne promettait pas plus qu'il ne convient : il a jugé dans sa philosophie, que les expériences sensibles devaient l'emporter sur tout raisonnement fabriqué par l'esprit humain » [OG, VII, p. 57, trad. p. 67]. La règle revient ensuite plusieurs fois sous la bouche de Salviati, par ex p. 147^f, et Galilée y reviendra aussi dans sa lettre à Liceti du 15 septembre 1640 : « Un bon moyen d'atteindre la vérité c'est de préférer l'expérience à n'importe quel raisonnement [...] et c'est là un principe qu'Aristote plaçait très haut » [OG, XVIII, p. 247].

1. La règle d'analogie et l'unification du ciel et de la terre

Galilée s'attache dans la *Première Journée* à reprendre et préciser l'ensemble de l'argumentaire télescopique développé depuis le *Sidereus Nuncius* contre la distinction cosmologique classique des deux mondes – l'un, le monde céleste, constitué d'une substance incorruptible et animé de mouvements uniformes et circulaires ; l'autre, soumis à la génération et à la corruption, caractérisé par un état naturel de repos, et perturbé par des mouvements violents... L'observation télescopique des reliefs de la lune a révélé que celle-ci n'a pas la parfaite sphéricité ni l'inaltérabilité prétendues des astres. Les taches solaires, observées indirectement avec un hélioscope, et dont Galilée montre qu'elles affectent réellement la surface du soleil, naissant, se transformant et disparaissant au fil du temps, prouvent également que des phénomènes de genèse et de corruption caractéristiques du monde élémental se produisent dans les cieux. Si les astres se voient ainsi « abaissés » au niveau de la Terre, la Terre est réciproquement élevée à la hauteur des astres. Galilée s'emploie à le montrer dès le *Sidereus Nuncius* en proposant une interprétation correcte d'un phénomène connu, mais jusqu'alors mal compris, celui de la lumière cendrée, qui en certaines périodes de l'année, nimbe la partie obscure de la Lune. Cette lumière pale révèle que la nuit lunaire est elle-même éclairée par un « clair de Terre », et qu'ainsi vue de la Lune, la terre brille d'une lumière empruntée, tout comme brillent à notre vue la Lune et les autres astres opaques que sont les planètes. Ainsi la terre est-elle comme une Lune, et la Lune comme une Terre. Cette double analogie donnait alors matière à un premier raisonnement probable en faveur de l'opinion copernicienne²⁵.

si la nature de la Terre est très similaire à celle des corps mobiles, tandis que l'essence du Soleil en est très différente, ne sera-t-il pas infiniment plus probable, toutes choses égales par ailleurs, que ce soit la Terre, et non le Soleil, qui imite par le mouvement ses autres six compagnons.

Si le principe d'analogie fonctionne d'abord de manière interne au système solaire, le télescope donne également des arguments pour l'étendre au-delà du soleil jusqu'à la « sphère » des fixes. En réduisant l'effet d'irradiation, il rétablit la véritable grandeur apparente des étoiles et permet de rendre beaucoup plus plausible l'idée que Galilée a constamment défendue, selon laquelle les étoiles fixes sont elles-mêmes des « soleils », situés à une immense distance, doués d'une lumière propre et immobiles. Autour de ces soleils, il devient possible d'imaginer, comme l'avait fait Bruno, d'autres systèmes planétaires, d'autres « mondes ». Ainsi, par le jeu d'un principe d'analogie savamment élaboré, on circule d'un astre à un autre, d'abord au sein du système solaire, puis au sein de l'univers tout entier. La nature agissant toujours et partout de la même façon, il s'agit de faire tomber la singularité de la

25. ~~OG, III, p.* trad. fr. par Isabelle Pantin dans~~ *Sidereus Nuncius, Le Messager des étoiles*, Paris, Le Seuil, 1992, p.*

Terre, puis celle du système solaire lui-même sous l'universalité de la nature cosmique. Les découvertes télescopiques et le raisonnement analogique *cosmologisent* pour ainsi dire la vérité copernicienne. Dans cet univers nouveau, chaque étoile, tel le soleil, sera réellement fixe en son lieu, douée de lumière propre, tandis que les planètes et leurs satellites auront, tout comme la Terre et la Lune un mouvement de révolution et une nature opaque et réfléchissante. Galilée, dans sa Lettre à Ingoli, expose les choses en montrant bien l'usage du principe régulateur d'uniformité et d'analogie des productions naturelles, principe sur lequel les Aristotéliens eux-mêmes pensaient pouvoir s'appuyer dans leur réfutation de Copernic²⁶ :

Vous dites la chose suivante : Copernic attribue le mouvement à toutes les parties lumineuses de l'Univers, c'est-à-dire aux planètes, et il le dénie au Soleil, le corps le plus lumineux de tous, tout en l'attribuant à la Terre qui est un corps opaque et dense ; mais la nature, judicieuse dans toutes ses œuvres, ne fait pas de telles choses. Remettez en ordre cet argument, Monsieur Ingoli, et dites plutôt : Copernic attribue le repos à toutes les parties lumineuses de l'Univers, qui sont les étoiles fixes et le Soleil, et il rend mobiles toutes les parties opaques et obscures que sont les planètes et la Terre, celle-ci étant faite comme celles-là ; et ainsi devait agir la nature qui est judicieuse dans toutes ses œuvres.

2. La règle de limitation et la forme de l'univers

Ce nouvel Univers a-t-il une forme déterminée ? Les anciens l'imaginaient semblable à une voûte sphérique à la surface de laquelle se trouvaient fixées les étoiles. La révolution quotidienne entraînant solidairement l'ensemble des étoiles fixes le suggérait fortement. Mais dès lors qu'il devenait possible, avec Copernic d'envisager que cette révolution de la sphère céleste est une simple illusion due au mouvement diurne de la terre, la question de l'existence même de cette sphère limitant le monde se pose²⁷. Copernic et, à sa suite, Kepler n'avaient pas renoncé à l'imaginer, en en augmentant cependant considérablement la taille. Galilée entend les choses autrement. Ses observations télescopiques, en dévoilant que les étoiles ne sont pas fixées à égale distance du soleil mais s'étendent très vraisemblablement dans la « profondeur » du ciel²⁸, contribuent à suggérer que l'univers dans lequel

26. OG, *p.* ; *Écrits coperniciens*, p. *

27. Sur la destruction du monde des sphères, voir en particulier M.-P. Lerner, *Le Monde des sphères*, 2 vol. Paris Les Belles Lettres, et Jean Seidengart, *Dieu, l'univers et la sphère infinie*, Paris, Albin Michel, 2006.

28. « Mais puisqu'on en aperçoit d'autres innombrables avec le télescope, qui sont beaucoup plus petites même que celles de la sixième grandeur, et puisque nous pouvons raisonnablement croire qu'il y en a encore beaucoup d'autres que les télescopes construits à ce jour ne nous permettent pas d'observer, et puisque encore rien n'interdit de croire qu'elles soient égales et même, pour certaines, plus grandes que le Soleil, à quelles immenses profondeurs, je vous en laisse juger, pourrions-nous affirmer sans exagération qu'elles doivent être placées ? Les [étoiles] fixes, Signor Ingoli, je l'ai prouvé ailleurs, brillent de leur propre lumière, de sorte qu'elles ont pleinement titre à être appelées des Soleils et considérées comme tels » [Lettre à Ingoli, OG, *Écrits coperniciens, p. *].

se trouve plongé le monde copernicien est, sinon infini, du moins d'une immensité telle qu'il n'y a plus de sens à s'interroger sur ce qui en constitue le centre ou la périphérie, et partant la figure.

Salviati reconnaît certes au début du *Dialogue* que l'univers est un corps parfait puisqu'il est doté de trois dimensions, et qu'en ce sens il répond bien au concept de corps, mais il n'en tire aucune conclusion sur sa forme. L'idée selon laquelle la sphère étant la forme parfaite, l'ordre de l'univers imposerait la forme sphérique à la fois aux astres, et à l'univers lui-même est fermement récusée : la notion de perfection d'une forme est toujours relative aux fins qu'on assigne à l'objet qu'on considère, elle ne dépend pas de quelque critère de simplicité mathématique ou esthétique. Comme Galilée l'expliquait déjà à Gallenzoni en 1611, bonne pour faire des rotules, la sphère est inapte pour les briques :

Que la forme sphérique soit plus ou moins parfaite que les autres, on ne peut l'affirmer me semble-t-il de façon absolue, mais seulement relative, pour un corps qui doit pouvoir tourner de tous côtés, par exemple, la forme sphérique est la plus parfaite, et c'est pourquoi la nature a fait les yeux et les têtes de fémurs parfaitement sphériques, inversement pour un corps appelé à rester stable une telle forme serait plus que tout autre imparfaite²⁹.

On voit bien comment le principe régulateur de localité et de limitation fonctionne ici pour limiter un usage absolu de normes cosmologiques prétendues, telles celle de « perfection ». Un raisonnement tout à fait analogue est mené sur l'idée de « proportion », dont les adversaires de Copernic voudraient pouvoir faire un usage normatif afin de récuser « l'immensité » de l'univers copernicien³⁰ :

Même en supposant que l'Univers soit fini et limité, quelle raison auriez-vous de dire que la sphère des étoiles n'a pas de proportion avec le grand orbe de la Terre, sinon qu'elle le contient trop de fois, puisque son diamètre comprend 14 000 fois celui du cercle de révolution de la Terre ? Si cet argument a quelque valeur, disproportionnées seront toutes les choses qui, tout en appartenant au même genre, sont l'une plus grande que l'autre autant de fois que vous le voulez et plus encore. Et comme dans la mer il y a des poissons si petits qu'une baleine peut en contenir beaucoup plus que 14 000, et comme un éléphant peut contenir beaucoup plus de fourmis encore, alors aussi bien les baleines que les éléphants seront des animaux « disproportionnés » ; et par là, si l'on vous suit, ne pourront pas même exister, la nature n'admettant pas de telles disproportions... (Lettre à Ingoli, OG^{*}).

Ici encore la distinction du proportionné et du disproportionnée, comme celle du parfait et de l'imparfait, est relative aux usages humains mais n'a pas

29. Lettre de Galilée à Gallenzoni Galenzoni (trad. Clavelin, 1611), *Galilée copernicien*, pp. 173-174. On notera à la fin de ce passage l'allusion tacite au fait que la forme sphérique de la terre est un *indice* de sa vocation au mouvement circulaire.

30. L'immense espace que les coperniciens sont conduit à supposer entre la sphère de saturne et les premières étoiles fixes, paraît « hors de proportion » et partant impossible à intégrer à un discours sur les fins de Dieu. Voir *Dialogue* *

de sens physique, et ne constitue pas une norme ou une limite de ce que la nature peut faire ou doit faire. Elle réside, écrit Galilée dans « l'imagination des hommes plutôt que dans la nature elle-même ». On soulignera ici l'imbrication des arguments cosmologiques. C'est parce que le ciel et la terre appartiennent au même *genre* d'êtres (en vertu de l'unification « analogique » des régions cosmiques) – tout comme en un sens la fourmi et l'éléphant, et de manière générale l'ensemble des êtres *physiques* – que la normativité fondée sur un usage absolutisé des concepts de proportion ou de disproportion se voit disqualifiée.

3. La règle de stabilité et la naturalité des mouvements circulaires

Compte tenu du postulat initial selon lequel l'univers est un tout ordonné, l'une des toutes premières questions soulevées dans le *Dialogue*, porte sur le genre des mouvements susceptibles de respecter la règle de stabilité, autrement dit capables de « maintenir » l'ordre, et partant d'être considérés comme naturels.

D'emblée Salviati répond en affirmant que seuls les mouvements circulaires en sont capables, parce que faisant toujours retour sur eux-mêmes, leurs parties se recouvrant exactement, dans chaque moment successif, « laissent tout le reste de l'espace à l'intérieur et à l'extérieur, libre pour d'autres mouvements, sans y introduire aucun désordre ». En outre le mouvement circulaire est le seul mouvement qui puisse être uniforme, et partant susceptible de se perpétuer éternellement :

Le mouvement s'accélère en effet quand le mobile s'approche du terme pour lequel il a de l'inclination, il se ralentit quand il répugne à quitter ce terme et à s'en éloigner ; or dans le mouvement circulaire, le mobile quitte toujours son terme naturel en même temps qu'il va toujours vers lui (OG, VII, p. 56, trad. p. 66).

Le mouvement rectiligne³¹ en revanche est incapable de tout cela. Salviati l'avait expliqué un peu plus haut,

pour une raison bien simple et évidente : ce qui se meut en ligne droite change de lieu ; en continuant son mouvement il s'éloigne de plus en plus du point de

31. On peut noter que si le mouvement rectiligne se voit ainsi dénié une fonction cosmologique, Galilée s'est plu à imaginer une « fable » *cosmogonique* dans lequel il a toute sa place : « On pourrait aller, répondrais-je, jusqu'à conter en une fable que cela est arrivé pour le chaos primitif, où des matières indistinctes erraient dans la confusion et le désordre parmi les corps bien ordonnés, ils conviennent pour produire un ordre à partir d'une mauvaise disposition des corps, mais une fois atteinte cette distribution et disposition meilleure, il ne peut plus leur rester d'inclination naturelle à se mouvoir encore d'un mouvement rectiligne: car le seul résultat serait alors d'écarter les corps de leur lieu propre et naturel, autrement dit de créer le désordre. Nous pouvons donc dire que le mouvement rectiligne sert à transporter les matériaux pour bâtir l'édifice, mais une fois construit, ou il reste immobile, ou s'il se meut c'est uniquement en cercle » (OG, VII, ~~trad. fr. p. 44~~). Galilée aime cette spéculation, inventée en un temps où il se trompait encore sur la loi de la chute des corps, sans doute parce qu'elle lui permet de penser qu'il existe un lien entre la distribution des corps dans l'univers et une loi universelle. Il la conserve donc dans le *Dialogue*, alors même, qu'il a sans doute dû prendre conscience qu'il ne pouvait plus lui donner une formulation mathématique exacte.

départ et de tous les lieux par lesquels il passe successivement ; si ce mouvement lui convient par nature, c'est donc qu'il n'était pas au commencement en son lieu naturel et que les parties du monde n'étaient pas disposées dans un ordre parfait ; or nous avons supposé qu'elles étaient parfaitement en ordre [...] par conséquent elles ne peuvent se mouvoir d'un mouvement rectiligne (OG, VII, p. 43, trad. fr., p. 55).

Galilée, on le voit bien dans ces deux passages, procède en mobilisant une stratégie éristique très caractéristique. Un certain nombre de thèses aristotéliennes sont concédées ici sans discussion – le postulat d'un parfait ordonnancement de l'univers, l'idée selon laquelle tout mouvement est polarisé par un « terme » naturel, pour lequel le mobile a de « l'inclination », et c'est sur la base de ces éléments accordés, qu'il est montré que le mouvement rectiligne ne peut convenir par nature aux corps célestes, et partant que la Terre, contrairement à ce qu'Aristote en dit (dans *De Caelo*, II, 14), n'est pas portée par un mouvement naturel rectiligne vers le centre de l'univers.

L'argument peut surprendre dans la mesure où Aristote ne parle du mouvement naturel de la terre que de manière contrefactuelle, pour affirmer en réalité que la Terre n'est jamais actuellement mue. On peut dire simplement que la Terre, si elle devait être hors de son lieu, rejoindrait naturellement le centre de l'univers en ligne droite, tout comme tendent à le faire chacune de ses parties lorsqu'elles sont séparées d'elle. Mais le but assez subtil poursuivi par Salviati est de montrer que l'immobilité et la centralité de la Terre ne sont pas réellement démontrées chez Aristote, pas même par ce contrefactuel. Elles constituent chez lui *une pétition de principe*. Pour prouver que l'élément terrestre tend naturellement vers le centre de l'univers, Aristote entendait en effet s'appuyer sur la théorie des mouvements contraires : comme nous voyons l'élément igné (le léger) s'élever vers la périphérie de l'univers, l'on peut arguer de la « contrariété » qui existe entre les éléments terrestres et ignés et entre leurs mouvements naturels de descente et d'élévation, pour affirmer que c'est à l'opposé de la périphérie du monde, vers le centre de l'univers que les parties terrestres se dirigent lorsqu'elles retournent à la terre³². Salviati a beau jeu de montrer que rien ne garantit que le feu en s'élevant, s'approche réellement de la périphérie de l'univers plutôt qu'il ne s'en éloigne, sauf à supposer précisément ce qui est en question, à savoir que la terre depuis laquelle il s'élève est située au centre de l'univers³³.

32. *De Caelo*, I, 14 296b25-297a9

33. Comme l'explique Salviati (OG, VII, p. *) : « Cette circonférence est-elle celle du monde ou concentrique à cette dernière, on ne peut l'affirmer sans avoir d'abord supposé que le centre de la terre dont on voit s'éloigner les corps légers est identique au centre du monde, ce qui revient à dire que le globe terrestre est situé au centre du monde ; or c'est cela que nous mettons en doute et qu'Aristote prétend prouver. Ne direz-vous pas que c'est un paralogisme manifeste ? »

C'est avec des arguments similaires que Galilée, dans sa lettre à Ingoli, avait marqué la supériorité cosmologique du système copernicien, au regard des contraintes théoriques imposées par l'idée de « mouvement naturel » et par les exigences de conservation de l'ordre :

En argumentant des parties au tout, vous soutenez avec Aristote que puisqu'on voit que les parties de la Terre se meuvent naturellement en ligne droite vers le bas, on peut en déduire que telle est la tendance naturelle de la Terre tout entière, c'est-à-dire que sa tendance est de désirer le centre et, l'ayant atteint, de s'y arrêter. Pour ma part en inférant de façon beaucoup plus pertinente du comportement du tout celui des parties, je dirai que si le globe terrestre a une tendance naturelle à tourner en 24 heures autour de son centre et s'il tourne effectivement ainsi, telle doit être aussi la tendance de ses parties, et j'en conclurai donc que, par nature, ces parties sont appelées à faire le tour du centre de la Terre en 24 heures, et que cela est pour elles une action innée, propre et très naturelle, à laquelle s'ajoute, quoiqu'accidentellement, cette autre qui fait que les parties que quelque mouvement violent a séparées de leur tout descendent. Et mes arguments sont en cela supérieurs aux vôtres et à ceux d'Aristote, que vous attribuez comme mouvement naturel à la Terre un mouvement qu'elle n'a jamais eu ni n'aura jamais de toute éternité, c'est-à-dire le mouvement en ligne droite vers le centre ; tandis que moi, je lui attribue ainsi qu'à toutes ses parties un mouvement naturel qui est très parfait, qui leur convient, et qu'elles effectuent perpétuellement (OG,* *Écrits coperniciens*, p.*).

De nouveau, ce passage est remarquable par le témoignage qu'il nous donne de la manière dont Galilée concevait le raisonnement cosmologique. Bien que la conclusion copernicienne soit subversive, le raisonnement qui l'établit s'insère assez fidèlement dans le genre dialectique qui fut celui du *Traité du ciel* aristotélicien. De manière frappante, il en conserve aussi la conceptualité, préservant l'idée d'un mouvement naturel et inné, d'une tendance naturelle des corps à rejoindre certains lieux auxquels ils sont naturellement attachés, et restant fidèle au même principe heuristique : l'idéal de conservation de l'ordre cosmique doit guider les choix théoriques. C'est sur ces bases consensuelles que Galilée entend faire valoir la supériorité du système copernicien. Ce système est préférable pour des raisons à la fois logiques – le raisonnement des parties au tout n'étant pas aussi certain que celui qui conclut du tout aux parties, et épistémiques – il satisfait mieux aux exigences heuristiques de stabilité et de localité. Cependant la notion même de lieu naturel n'est pas rejetée mais subordonnée au principe de limitation : il apparaît désormais que le monde copernicien, s'il n'a plus de centre unique, comporte autant de « lieux naturels » pour les corps terrestres qu'il existe de globes dans l'univers, que ceux-ci soient fixes comme les étoiles ou mobiles comme les planètes. Lorsqu'un mouvement violent les en sépare, chacune des parties de ces globes est naturellement conduite – par cette inclination naturelle qu'on nomme « gravité » – à rejoindre ou réintégrer ce tout dont elles partagent et conservent de manière indélébile le mouvement circulaire naturel.

Conclusion

Ces quelques exemples, permettent déjà d'esquisser un certain nombre de thèses caractéristiques de cette nouvelle cosmologie copernicienne dont Galilée entend avancer les cartes :

a. Le nouvel univers promu par Galilée est, sinon infini, du moins sans limites assignables. Il n'a ni « haut », ni bas absolu, ni centre ni périphérie, mais autant de lieux inférieurs et supérieurs qu'il existe de corps célestes.

b. Cet univers est « ordonné » et stable. Galilée n'envisage pas qu'il puisse être soumis à un processus d'engendrement ou de corruption, ni même qu'il puisse être en expansion ou en translation.

c. La distribution des étoiles dans l'univers, si elle semble à nos intelligences limitées avoir été faite au hasard, n'en obéit pas moins à un plan divin, un plan de la nature.

d. Parmi les corps célestes certains sont immobiles et lumineux (les étoiles, les soleils), d'autres sont animés de mouvements de révolution autour des précédents, et opaques (les planètes et les satellites).

e. Les mouvements circulaires s'imposent dans le ciel, non pour des raisons esthétiques, comme on l'a parfois dit³⁴, mais parce qu'ils sont les seuls à se présenter comme des mouvements conservateurs de l'ordre. Les sphères de l'univers qu'elles soient fixes ou en révolution autour d'un centre peuvent en outre toutes très aisément se mouvoir sur leur axe, sur le modèle du soleil ou de la terre³⁵. En revanche, le mouvement erratique des comètes semble devoir les exclure du rang des phénomènes célestes³⁶.

f. Les corps célestes, dont il n'y a pas lieu de présumer qu'ils soient d'une substance spéciale, distincte de celles qu'on rencontre sur Terre, constituent pour les parties matérielles qui les avoisinent et « conspirent » à en former la sphère autant de centres de gravité.

g. Dans l'univers galiléen, les mouvements qui s'effectuent autour d'un centre de gravité sur des surfaces concentriques, c'est-à-dire qui ne s'approchent ni ne s'éloignent dudit centre, ont la propriété de se conserver

34. Dans un article fameux (« Galileo as a critic of the arts: Aesthetic attitude and scientific thought », *Isis*, vol. 47, n° 1, 1956, pp. 3–15), Erwin Panofsky, a mis en avant cette thèse « externaliste » pour expliquer le privilège du cercle et le rejet galiléen des ellipses, présentées comme des figures typiques de l'art « baroque » à la manière du Tasse. On peut estimer que cette explication n'offre qu'un ingrédient très marginal pour l'explication des choix cosmologiques galiléens.

35. Galilée soutient depuis ses travaux de jeunesse (voir le manuscrit *De Motu antiquiora*, OG, I, p. 373) que le mouvement de rotation d'une sphère sur elle-même est un mouvement neutre, ni naturel ni violent, il ne requiert pour se conserver aucune dépense de force, aucun *impetus* nouveau, et la moindre force est susceptible de le déclencher. Sur ces travaux, voir en particulier M. Clavelin, *Cosmologie et science du mouvement*, 2016.

36. L'idée (fausse) que les comètes sont des phénomènes qui se produisent dans l'atmosphère terrestre et non dans les cieux constitue la thèse centrale de *l'Essayeur* (1623). Les commentateurs qui évoquent cette « erreur » mémorable de Galilée ont rarement mis l'accent sur le fait qu'elle constitue une conséquence directe et nécessaire de ses principes cosmologiques.

naturellement, car il n'y aura aucune raison pour qu'ils s'accroissent ou diminuent.³⁷ La question *a quo moventur planetae* ?, qu'est-ce qui meut les planètes, n'a donc pas à être posée³⁸. Dès lors qu'il est admis qu'elles ont reçu à la création une impulsion première à se mouvoir en cercle, elles conserveront ce mouvement perpétuellement.

Ces thèses, Galilée ne les avance pas comme un corps d'axiomes susceptibles d'être découverts a priori et à partir desquels il s'agirait de « déduire » la vérité du système copernicien. Tout au contraire, c'est ce dernier qui se présente à nous comme un « fait » premier, un *to hoti*, dont il faut prudemment dégager les causes, les *réquisits* cosmologiques. Ceci nous permet peut-être de mieux comprendre de quelle manière intervient ici ce que nous avons appelé le principe d'empiricité. Il ne s'agit aucunement d'un sensualisme, mais il indique plutôt l'absolue subordination de la théorie aux « faits » – que ceux-ci soient prodigués par l'évidence sensible du télescope, ou *par la raison elle-même*, lorsqu'elle s'attache à mettre les phénomènes perçus en cohérence les uns avec les autres. Cette approche méthodologique met Galilée à distance tant de Kepler que de ses contemporains aristotéliens. La tâche du philosophe ne peut pas se définir comme celle de « l'anticipateur rationnel » capable d'adopter le point de vue de Dieu en examinant comment les harmonies mathématiques que nous comprenons se sont instanciées dans les corps célestes. Elle ne doit pas consister non plus à décrire l'univers comme s'il avait été fait pour l'homme, et pour être compris des hommes. Le monde est ordonné mais il n'est peut-être pas en notre pouvoir de comprendre cet ordre. Tout ce que nous pouvons faire est de tenter d'aborder celui-ci avec les moyens humbles que nous fournissent l'expérience et les possibilités limitées que nous avons d'étendre celle-ci par l'instrumentation, et de l'extrapoler par un usage réglé de l'analogie. La théorie cosmologique reste en tout état de cause immanente à « ce qui est ». Elle organise les faits en s'appuyant seulement sur les maximes d'ordres : la nature ne travaille pas à bâtons rompus,

37. Ce principe de conservation, associé à un principe de relativité, permet de récuser l'objection classique selon laquelle ce mouvement devrait se trahir en perturbant la chute des corps ou le mouvement des projectiles : « que la Terre se meuve ou qu'elle soit immobile, on ne pourra y percevoir aucune différence imaginable » (*Écrits coperniciens*, p. *).

38. Galilée ne développe pas dans la Lettre à Ingoli ni dans le *Dialogue* les suggestions « héliomotrices » données dans les Lettres coperniciennes (notamment la lettre à Christine de Lorraine) pour appuyer une interprétation « concordiste » du miracle de Josué : le mouvement de rotation du Soleil sur son propre axe serait selon cette vue la source causale du double mouvement des planètes, et il suffirait donc que Dieu arrête ce mouvement de rotation axiale pour que la terre elle-même s'immobilise et que le jour se prolonge. On peut se demander dans quelle mesure Galilée prenait au sérieux cette suggestion. Il n'a jamais tenté de lui donner corps scientifiquement ; et l'on peut présumer que son évocation dans les Lettres relève simplement de l'argumentation *ad hominem*, Galilée se pliant là au jeu artificiel d'une interprétation non figurative du texte biblique. Il est difficile de croire néanmoins que Galilée ait pu avancer une telle interprétation de la Bible sans y trouver au moins une mesure de vraisemblance physique, et l'on peut noter que, comme l'explication newtonienne par la gravitation universelle, c'est une explication du mouvement des planètes qui est *distinctivement* héliocentrique (à la différence des explications par le mouvement des sphères ou par des « anges tracteurs » attachés aux astres qui pourraient valoir dans tout système du monde, hélio- ou géo-centrique).

elle est partout analogue à elle-même, partout stable. Ce qui nous est présenté comme décisive n'est pas la conformité à une certaine idée *a priori* de ce que doit être un ordre harmonieux, mais le respect des conditions les plus générales au terme desquelles pourra se maintenir la disposition actuelle des corps, celle qui se présente ici et maintenant à notre expérience. Ces conditions elles-mêmes pourront apparaître, à un regard rétrospectif, comme trop fortes. Ainsi la règle de stabilité fut-elle certainement ce qui conduisit Galilée à refuser les ellipses képlériennes, exclure les comètes du cœur des astres, et négliger la question dynamique des causes du mouvement planétaire.

Philippe HAMOU

Université Paris-Nanterre / IRePh
phamou@parisnanterre.fr