

Le platonisme de Johannes Kepler*

J.V. Field

Imperial College, Department of Mathematics
London, U.K.

Resum. *El platonisme de Johannes Kepler*

L'article analitza el contingut de dues obres de Kepler, *Mysterium Cosmographicum* i *Harmonice Mundi*, amb el propòsit d'esbrinar la qüestió del platonisme de Kepler, una qüestió que, d'acord amb el punt de vista d'aquest treball, necessita qualificació. És cert que Kepler adopta mètodes de recerca suggerits per Plató en el *Timeu*, i que accepta llurs conseqüències epistemològiques. Però és obvi també que rebutja elements essencials de la física que hi ha exposada en el *Timeu*. L'estudi suggereix que el resultat de totes aquestes anàlisis podria ser que separar el platonisme de Kepler del seu realisme perilla d'esdevenir una tasca impossible.

Abstract. *The Platonism of Johannes Kepler*

This paper goes over the content of Kepler's *Mysterium Cosmographicum* and *Harmonice Mundi* with a view on the question of Kepler's Platonism, which, it is argued here, needs qualification. While Kepler obviously embraces methods of research suggested by Plato's *Timaeus*, and epistemological tents entailed by them, it is also obvious that he rejects essential elements of the physics set forth in *Timaeus*. It is suggested that it turns out to be an impossible task to separate Kepler's platonism from his realism.

Depuis l'Antiquité, l'astronomie est une science mathématique. On pourrait dire qu'en composant les orbites des astres de mouvements circulaires l'astronome essayait, en principe, de mettre en lumière leur simplicité essentielle, une simplicité qui était voilée par la complication des apparences célestes. L'astronome suivrait donc le programme esquissé par Platon dans le *Timée*

* Il existe une bonne traduction française du *Mysterium cosmographicum* (Tübingen, 1596), par Alain Segonds (voir note 12); et une bonne version anglaise, de E.J. Aiton et A.M. Duncan, *Johannes Kepler. The Secret of the Universe*, New York, 1981. Toutes les traductions de passages du *Mysterium* dans mon article suivent la version de Segonds. En revanche, toute autre traduction est par JVF. Il existe une version allemande de *Harmonices mundi libri V* (Linz, 1619), pas très fiable en tous les détails mathématiques: Max Caspar, *Johannes Kepler. Weltharmonik*, Munich, 1939, 1967, 1973; et une version française, de Peyroux, dont le moindre qu'on puisse dire est qu'elle est vivement déconseillée. Une version anglaise est sous presse: E.J. Aiton, A.M. Duncan et J.V. Field, *Johannes Kepler. Five Books of the Harmony of the World* (à paraître dans la série *Transactions of the American Philosophical Society*).

par son exposition de la décomposition du mouvement spirale du Soleil en composantes circulaires (38c *et seqq*). Dans ce sens là, tout astronome, de Claude Ptolémée (fl. AD 129-141) jusqu'à Johannes Kepler (1571-1630), pourrait être réclaté comme platonicien. Mais en réalité on ne devrait s'y appuyer très fort. La physique de Ptolémée, et de la plupart des astronomes jusqu'à la Renaissance, est celle d'Aristote (avec modifications assez légères). Le cercle n'entre pas dans leurs travaux explicitement pour sa simplicité mathématique mais plutôt parce que les astres, étant faits de la cinquième essence, l'éther, ont une tendance naturelle au mouvement éternel circulaire. L'appel à la physique peut être tacite, mais on trouve aussi des cas dans lesquels il est explicité, par exemple le *De revolutionibus orbium coelestium* (Nuremberg, 1543) de Nicolas Copernic (1473-1543). Il faut donc avouer qu'en matière d'astronomie il peut être très difficile à démêler la descendance de Platon de celle de son élève Aristote.

De plus, tout philosophe chrétien — si on peut juger d'après le nombre de citations, surtout sur les frontispices décoratifs — semble accepter le dire du *Livre de la Sagesse de Salomon*, chapitre 11, vers 20, selon lequel Dieu aurait créé le Monde en Nombre, Poids et Mesure. La philosophie de la nature du *Livre de la Sagesse* (qui est classé avec les Apocryphes) est un fatras de lieux communs néoplatoniciens. Le style poétique du fameux aphorisme est d'ailleurs caractéristique du livre. La poésie est quand-même assez apparentée à celle du *Timée*.

Enfin, à la Renaissance on commence à redécouvrir l'oeuvre et les méthodes mathématiques d'Archimède (c. 287-212 AC). Or ces méthodes s'appliquent à la solution, par voie de mathématiques, de problèmes concernant les machines et les mouvements de corps terrestres auxquels on était habitué, auparavant, d'appliquer ou un système mathématique extrêmement simple ou des méthodes qualitatives plutôt que quantitatives. Chez Archimède, et ses émules au seizième et au dix-septième siècle, on trouve donc une pratique qui implique que la science mathématique peut donner la loi à la physique. Cette implication de la supériorité des mathématiques est difficile à carrer avec une philosophie de la nature basée sur les oeuvres d'Aristote, comme l'était la philosophie dite «des Ecoles». Il faut quand-même reconnaître qu'à Padoue au seizième siècle on était, à ce qu'il semble, capable de carrer tout avec tout. Dans cet eclecticisme philosophique les historiens s'évertuent à démêler les Aristotéliens tendance Platon des Platoniciens tendance Aristote¹. Mais il n'est pas clair que cet eclecticisme chez les philosophes avait un analogue très stricte chez les mathématiciens. Par exemple, Galileo Galilei (1564-1642), qui a commencé en mathématicien — il enseignait l'as-

1. Pour l'école de Padoue, voir C.B. Schmitt, *Aristotle and the Renaissance*, Cambridge MA, 1983; *idem*, *The Aristotelian Tradition and Renaissance Universities* (collection d'articles), Londres, 1984; et autres ouvrages du même auteur. Dr Schmitt a dit (communication personnelle, 1985) que l'humanisme subtil et éclairé que les auteurs qu'il étudiait avaient en commun devrait s'appeler «patavinitas».

tronomie à Padoue de 1592 à 1610 — pour se faire plus tard mathématicien et philosophe (à la cour des Médicis à Florence), fait appel plutôt aux méthodes d'Archimède qu'à la philosophie de Platon. En effet, il lui arrive même de ridiculiser des idées platoniques assez importantes. Par exemple, dans l'*Essayeur* (*Il Saggiatore*, Rome, 1623) il demande qu'on lui fasse voir les patentes de nobilité des entités mathématiques privilégiées². Or, la conviction que les entités mathématiques simples, comme des triangles isocèles ou des cercles, jouent un rôle privilégié dans le cosmos, une conviction qu'on pourrait dire philosophico-esthétique, est fondamentale à la philosophie de la nature exposée par Platon. Si Galilée veut se présenter comme un anti-Aristotélicien, il ne faut pas pour cela que l'historien embrasse des dichotomies trop simples (que notre expérience de la guerre froide a peut-être projetées sur la Renaissance) pour le proclamer un disciple de Platon. Galilée sortait d'un milieu intellectuel où on ne lui imposait certainement pas de choix philosophiques qui fussent à ce point nets ou naïfs³.

Quant à Kepler, on peut trancher nettement. Ses idées sur la physique terrestre — qu'il croit néanmoins continue avec la physique céleste — sont Aristotéliciennes, mais font appel à l'expérience, non à l'autorité. Comme la plupart de ses contemporains, Kepler n'a pas peur de rejeter, sans discussion, quelques unes des opinions conventionnelles aristotéliciennes, par exemple, que le froid est une qualité positive⁴. En effet, en copernicien convaincu, comme il l'était depuis sa jeunesse, Kepler ne pouvait que prendre une attitude assez critique envers la physique conventionnelle de son époque, dans laquelle la stabilité de la Terre au centre de l'Univers jouait un rôle de base. Mais, cela dit, la physique de Kepler est assez proche de celle des écoles. Il n'en est pas de même pour sa philosophie fondamentale. Pour cela il est Platonicien, tendance plus

2. G. Galilei, *Il Saggiatore*, section 38, réimpression *Le Opere di Galileo Galilei*, Edizione Nazionale, ed. A. Favaro, Florence, 1890-1909 (deux réimpressions), tom VI, p. 319.
3. La présentation de Galilée comme le représentant idéal du Platonisme de la Renaissance semble dériver en partie d'une lecture un peu trop hâtive des ouvrages d'Alexandre Koyré (1892-1964), par exemple, *Études Galiléennes* (Paris, 1939, 1966). Des études plus récentes ont prouvé que l'annonce de la mort d'Aristote à l'aube du dix-septième siècle a été exagérée, voir la note 1. Les historiens modernes ont tendance à donner au Platonisme un rôle dans la Révolution Scientifique plus restreinte que celui que Koyré lui accordait. Pour un sommaire lucide de l'opinion actuelle, voir A. Rupert Hall, *Henry More: Magic Religion and Experiment*, Oxford, 1990, en particulier les chapitres 2 et 3 (p. 11-57).
Sur l'Aristotélisme de Galilée, voir W.A. Wallace, *Galileo and his sources: the heritage of the Collegio Romano in Galileo's science*, Princeton, 1984; et *idem* (ed.) *Reinterpreting Galileo* (Studies in History and Philosophy of Science no 15), Washington DC, 1986.
Pour le pseudo- ou quasi-Platonisme de Galilée et ses relations avec Kepler, voir, par exemple, S. Drake, «Galileo's "Platonic" cosmogony and Kepler's *Prodiromus*», *Journal for the History of Astronomy*, 4 (1973) 174-191, et J.V. Field, «Cosmology in the work of Kepler and Galileo», dans P. Galluzzi (éd.), *Novità celesti e crisi del sapere* (Supplemento agli Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza, Anno 1983, Fascicolo 2), Florence, 1983, p. 207-215.
4. J. Kepler, *De fundamentis astrologie certioribus*. Prague, 1602, Thesis 19, réimprimé: *Johannes Kepler gesammelte Werke*, ed. M. Caspar et al., Munich, 1938 (KGW) 4, p. 15.

royaliste que le roi. Comme on verra, ses opinions sur le statut cosmologique de la géométrie sont parfois plus radicales que celles de ses maîtres, Platon et Proclus, et frôlent l'hérésie en matière théologique⁵.

Chez beaucoup d'auteurs de l'époque on lit que Dieu est géomètre. C'est Kepler qui va chercher l'Archétype de la Création dans les *Eléments* d'Euclide. Pour le premier Archétype, proposé dans le petit traité *Mysterium cosmographicum* (Tübingen, 1596), Kepler fait appel surtout au treizième livre des *Eléments*, où il s'agit des propriétés des cinq polyèdres réguliers. Mais pour l'Archétype que Kepler considère comme définitif il fait appel aussi au livre d'Euclide sur les polygones (Livre IV) et, surtout, à la classification des grandeurs dans le livre X. Ce second Archétype est décrit dans un in-folio d'environ trois cent pages, *Harmonices mundi libri V* (Linz, 1619). Puisque le traité commence avec la géométrie des figures planes, sa ressemblance au *Timée* est assez frappante, mais Kepler s'explique d'abord sur d'autres influences. Dans le premier paragraphe de l'introduction on avertit les lecteurs que si Proclus aurait laissé un commentaire sur le Livre X des *Eléments*, comme il en a laissé un sur le premier, Kepler n'aurait pas eu à s'imposer la tâche d'écrire l'*Harmonice mundi*⁶. (On notera bien que c'est un sentiment tout à fait dans le style Renaissance de se voir en continuateur des Anciens.) En effet, le Platonisme de Kepler n'est pas quelque chose qu'on doit établir par un choix judicieux de citations. La philosophie platonique se fait voir dans la structure même des œuvres, et semble avoir déterminé le programme de recherche qui les a engendrés.

Non qu'il manque de passages dans les textes de Kepler qu'on pourrait citer pour «prouver», par les méthodes usuelles des historiens, que l'auteur ait beaucoup apprécié la philosophie de Platon. Mais pour Platon, comme d'ailleurs pour la Bible, il manque néanmoins de citations textuelles⁷. Même le nom de Platon n'apparaît que rarement, tandis que Dieu aurait dû être mis dans le «Personenregister» de l'édition moderne des *Oeuvres complètes*. Il arrive quand-même assez souvent que Kepler se déclare sans ambages, par exemple dans une note marginale à une longue citation du *Commentaire* de Proclus sur le premier livre des *Eléments*, au commencement du premier chapitre du quatrième livre de l'*Harmonice mundi*:

5. Voir en bas et les notes 17 et 18. Kepler a été excommunié en 1612, à cause d'opinions censées non conformes à la *Confessio Augustana* sur la relation entre esprit et matière dans la doctrine de l'Eucharistie. Son exclusion le blessait beaucoup, mais malgré tous ses efforts il ne réussit jamais à se faire réadmettre en communion.
6. *Harmonice mundi*, 1619, p. 2; KGW 6, p. 15, l.18 et seqq.
7. Il en va de même pour Copernic, dont le nom est néanmoins cité assez souvent. Les paraphrases keplériennes du texte de Copernic sont justes. Mais ses interprétations sont parfois ahurissantes à un tel point qu'en d'autres circonstances elles auraient été acceptées par des historiens comme preuves convaincantes que Kepler ne connaissait pas l'œuvre de Copernic. Kepler déforme la pensée de Copernic dans le sens de lui donner plus de crédit pour le système héliocentrique que ne lui serait accordé par un historien moderne. En effet, le manuel d'astronomie écrit par Kepler, *Epitome astronomiae copernicanae*, quatre tomes, Linz, 1618-1621, décrit un système planétaire bien différent de celui du *De revolutionibus* de Copernic.

[Cela se trouve] dans le *Timée*, qui est, sans aucune possibilité de doute, une sorte de commentaire sur le premier chapitre de la *Genèse*, autrement dit le premier livre de Moïse, le transformant en philosophie pythagoricienne: comme sera clair à qui le lit avec attention et le compare aux mots de Moïse⁸.

Il faut noter que pour Kepler, dans ce texte comme partout ailleurs, «philosophie pythagoricienne» veut dire «cosmologie héliocentrique». À la Renaissance il était normal de croire que le «feu central» du système planétaire des Pythagoriciens était le Soleil. Il était donc d'usage qu'Aristarque de Samos, qui selon Archimède avait élaboré un système planétaire héliocentrique, fut pris pour un disciple de Pythagore. Il arrive alors que Copernic, Kepler et même Galilée sont parfois appelés «pythagoriciens» dans les textes du dix-septième siècle, ce qui n'implique pas qu'on les croyait adeptes de numérologie, ou de rien d'autre qui relève des doctrines reconnues pour pythagoriciennes, sauf la doctrine de la mobilité de la Terre. On doit noter, aussi, que quiconque veut croire que le *Timée* est un texte pythagoricien au sens Renaissance du mot s'est donc voué à interpréter Platon d'une manière non-littérale. Le *Timée* n'est pas ouvertement copernicien. Kepler passe cette difficulté sous silence, mais en effet il n'était pas insolite, depuis l'Antiquité même, de penser que le *Timée* était un document qui comportait des significations cachées destinées seulement aux adeptes.

Kepler ne cite pas de prédécesseur pour son opinion que le *Timée* soit un commentaire philosophique sur la *Genèse*. Elle n'est pas pourtant nouvelle: on trouve de sentiments semblables chez des philosophes platonisants depuis l'époque hellénistique, par exemple chez le théologien juif hellénisé Philon d'Alexandrie (fl. AD 40). Il est possible que Kepler ait lu Philon, ou quelqu'un de ses confrères, à Tübingen, au cours de ses études théologiques. Dans une note marginale publiée en 1619 on n'est pas forcé de citer ses prédécesseurs. Par contre, on peut constater que Kepler diffère de la plupart de ses contemporains en ayant l'habitude de donner des références assez précises, parfois à la page même, pour des informations ou des opinions qu'il a prises chez autrui. Cette habitude semble lui avoir été inculquée par Michael Maestlin (1550-1631), son professeur d'astronomie à Tübingen, un homme que Kepler estimait beaucoup, et à qui il était redevable de sa première connaissance de l'oeuvre de Copernic.

Cette habitude de Kepler de donner des références, qui est très commode pour le lecteur moderne, dérive peut-être de la tradition (qui est une nécessité pour une preuve mathématique rigoureuse) de citer les théorèmes préalables d'une manière qui permette au lecteur de les vérifier en récupérant les détails de leurs preuves. En effet le style d'exposition de Kepler dans sa maturité a tendance d'assimiler tout raisonnement au style mathématique. Cette

8. In *Timaeo*, qui est citra omnem dubitationis aleam, commentarius quidam in primum caput Geneseos, seu Lib. I Mosis, transformans illum in Philosophiam Pythagorican: ut facile patet attente legenti, et verba ipsa Mosis identidem conferenti. J. Kepler, *Harmonices mundi libri V*, Linz, 1619, Livre IV, Ch. I, p. 117, KGW 6, p. 221.

tendance aurait pu se justifier en faisant appel à l'équivalence formelle entre l'argumentation en mathématiques et en logique, notée par Proclus dans son *Commentaire sur le Timée*⁹. On peut difficilement douter que Kepler, qui lisait le grec, n'ait étudié ce traité de Proclus (*editio princeps*, avec les *Oeuvres* de Platon, 1534), mais je n'en connais pas de citation dans les oeuvres ou dans la correspondance de Kepler. Ce silence, si silence il y a, pourrait s'expliquer, au moins partiellement, par le fait que le fragment du commentaire de Proclus qui nous est parvenu s'arrête au passage sur la formation des âmes humaines (44e), c'est à dire, avant que Platon commence à traiter des mathématiques. Le texte (fragmentaire) de Proclus ne se rapporte donc pas à la matière principale de la cosmologie de Kepler.

Il ne va pas de même pour le commentaire de Proclus sur le premier livre des *Eléments* d'Euclide. On a déjà remarqué que Kepler en fait mention dans son introduction à l'*Harmonice mundi* et le cite dans les premières pages du quatrième livre de cet ouvrage. En effet, la page de titre du quatrième livre porte une version latine d'une citation assez longue du *Commentaire* qui se trouve, légèrement abrégée, en grec, sur la page de titre du premier livre du traité (voir Figure 1). Le sens de ce passage de Proclus est que les mathématiques conduisent à comprendre l'Univers, en montrant les éléments causales qui ont déterminé sa structure et les propriétés de ses parties¹⁰.

Cosmologie et Création

Même aujourd'hui c'est leurs théories cosmologiques ou cosmogoniques qui nous donnent les lumières les plus vives sur les préjugés métaphysiques et esthético-mathématiques des hommes de science. Le manque de données, ou leur plasticité selon le modèle qu'on utilise pour les interpréter, force le cosmologiste à chercher ailleurs des éléments nécessaires à la construction d'une théorie. La situation était assez semblable à l'époque de Kepler, mais à cette époque la philosophie de la nature faisait partie de la philosophie en général et le philosophe n'avait donc pas à déguiser ses préjugés métaphysiques en «principes scientifiques». Kepler croyait qu'on venait d'entrer dans une nouvelle époque pour les théories du cosmos: le système planétaire de Copernic, en expliquant une partie des mouvements apparents des astres par le mouvement de la Terre, donna aux astronomes la possibilité de calculer les distances des planètes en se basant sur des données observationnelles. En simplifiant un peu, on peut dire que le mouvement cyclique avec périodicité d'un an, qui était une composante du mouvement apparent de chaque planète, était reconnu comme la réflexion du mouvement annuel de la Terre. Donc son amplitude angulaire indiquait la grandeur de l'orbite de la Terre vu de l'as-

9. Proclus, *Commentaire sur le Timée*, traduction et notes par A.J. Festugière, 5 tom., Paris, 1966-1969, tom. 2, p. 66-7.

10. Proclus, *Commentaire sur le premier livre des Eléments d'Euclide*, livre I, ed. Friedlein, Leipzig, 1873, 22.17-19 et 22.22-26.

IO. KEPLERI
HARMONICES MUNDI
LIBER I.

DE FIGVRARVM REGVLA-
RIUM, QUÆ PROPORCIONES HAR-
monicas pariunt, ortu, clasibus, or-
dine & differentijs, causâ scientiæ
& Demonstrationis.

PROCLUS DIABOCHEUS
Libro I. Comment. in I. Euclidis.

Πρὸς δὲ τὴν φυσικὴν θεωρίαν (ἡ μαθηματικὴ) τὰ μέγιστα
συμβάλλεται, τὴν τε τῶν λόγων ἰσότητι ἀναφαίνουσα, καὶ τὴν
δεδομμένην τὸ ΠΑΝ, & c: καὶ τὰ ἀπλά καὶ πρῶτα γὰρ σο-
χῆα, καὶ πάντα τῆ συμμετρίας καὶ τῆ ἰσότητι συνεχόμενα διέξα-
σα, δι' ἧν καὶ ὁ πᾶς ἕρως ἐτελειώθη, σχήματα τὰ πρῶτα
ἰκονῆα, κατὰ τὰς ἐαυτῶ μερίδας ὑποδῶ.

Ξάμνη ©.

Cum S. C. M^o. Pri-



vilegio ad aunos XV.

LINCI AUSTRIÆ
Excudebat Johannes Plancus,

ANNO M. DC. XIX.

tre. Donc on pouvait calculer la distance entre l'astre et la Terre, en termes de la grandeur moyenne du rayon de l'orbite de la Terre. C'était la grandeur de l'orbite terrestre qui, pour ainsi dire, servait d'échelle commune au système planétaire. Par contre, dans le système de Ptolémée on pouvait calculer, sur la base d'observations, des éléments pour construire des modèles mathématiques des mouvements célestes, mais il n'y avait pas d'échelle commune, et l'ordre des planètes — Saturne, Jupiter, Mars, Soleil, Venus, Mercure, Lune — était fixée selon la grandeur, en ordre décroissant, de leurs périodes de révolution. Quant aux distances maxima et minima, agogées et perigées, on les calculait en présupmant que les orbites faisaient un système sans vides. Alors, la distance du perigée de Jupiter devrait égaler la distance de l'apogée de Mars. Donc tous les deux systèmes astronomiques, tout en appartenant à la province des mathématiciens, comportaient aussi des hypothèses qui intéressaient les philosophes. Mais le système de Copernic déplaça cet intérêt: pour lui la physique n'entrait pas pour décider des dimensions des orbites planétaires mais pour déterminer leurs révolutions (l'action de révolution étant une expression naturelle de leur forme sphérique)¹¹. En effet, le système copernicien changeait la relation mathématiques-physique en astronomie, non pas en diminuant le rôle du philosophe-physicien, mais en déplaçant les zones d'interaction.

Beaucoup des contemporains de Kepler disputaient du mouvement de la Terre, mais ce qui intéressait Kepler était le fait que le système de Copernic donnait à l'astronome (en mathématicien) le moyen de calculer les dimensions des orbites planétaires. Dans son premier traité de cosmologie, le *Mysterium cosmographicum*, c'est le pouvoir du système de Copernic de fournir des réponses à des questions sur la structure du système que Kepler évoque pour persuader à ses lecteurs de l'accepter¹². En plus, il affirme que nonobstant ce qui semble être une équivalence géométrique entre les théories de Ptolémée et de Copernic, il est certain qu'on pourra un jour décider laquelle des deux théories correspond à la vérité, c'est à dire à la vérité physique du système planétaire. La position philosophique que Kepler adopte envers les théories astronomiques est donc celle que l'on nomme aujourd'hui «réaliste», selon laquelle la théorie mathématique présente un modèle qui permet à l'astronome de se prononcer non seulement sur les apparences astronomiques mais aussi sur les positions physiques des astres dans l'Univers¹³. La

11. La physique de Copernic emprunte des éléments de celle de Nicolas Cusanus (1401-1464). Voir A. Koyré, *From the closed world to the infinite universe*, Baltimore, 1957.

12. *Mysterium cosmographicum*, Tübingen, 1596. Ch.I. KGW 1, p. 18 et seqq, traduction française, Jean Kepler. *Le Secret du Monde*, introduction, traduction et notes d'Alain Segonds, Paris, 1984, p. 38 et seqq.

13. Pour une discussion plus détaillée de ce passage important pour l'histoire de l'astronomie et pour l'histoire des sciences en général, voir N. Jardine, «The Forging of Modern Realism: Clavius and Kepler against the Sceptics», *Studies in History and Philosophy of Science*, 10 (1979) 141-173; et *idem*, *The Birth of History and Philosophy of Science: Kepler's Defence of Tycho against Ursus, with essays on its provenance and significance*, Cambridge, 1984.

position philosophique opposée, selon laquelle une théorie ne fait que reproduire les apparences, sans prétention à une vérité physique, est nommée «instrumentalisme»¹⁴.

En bon chrétien, platonicien et réaliste, Kepler cherchait à décrire non pas un modèle cosmologique qui expliquerait l'état présent de l'Univers, mais plutôt le modèle qui aurait servi au Créateur comme archétype de la Création. La cosmologie de Kepler est donc aussi une cosmogonie. L'Archétype ou modèle cosmologique doit être beau puisque l'Univers a été fait pour ressembler à son Créateur — par une version monotheïste, et sans demiurge, du *Timée* (30). En effet, Kepler fait allusion à ce passage dans le quatrième paragraphe du second chapitre du *Mysterium cosmographicum* où il se demande pourquoi Dieu aurait eu égard à des qualités géométriques:

Oui, pourquoi sinon parce qu'il était absolument nécessaire que le Créateur souverainement parfait réalisât l'oeuvre la plus belle. En effet il n'est pas permis, et il ne l'a jamais été (comme le dit Cicéron, d'après le *Timée* de Platon, dans son *Livre de l'Univers*), que le meilleur des êtres ne produise pas la plus belle des oeuvres¹⁵.

Pour Kepler, comme pour Platon, dans ce contexte cosmologique le mot «beau» implique une simplicité mathématique. Quant à où l'on devrait chercher les éléments du modèle, Kepler s'explique là-dessus dans une lettre adressée à l'astrologue anglais Christopher Heydon (fl. 1576, m. 1623) en Octobre 1605, tout en expliquant aussi qu'il s'agit d'un modèle non seulement cosmologique mais aussi cosmogonique:

Ptolémée n'avait pas reconnu qu'il existât un créateur du monde, donc il ne lui importait pas de penser à l'archétype du Monde, qui est en Géométrie et notamment dans Euclide le philosophe trois fois le plus grand¹⁶.

On trouve dans cette opinion une fusion complète d'idées platoniques et chrétiennes sur la Création.

Dans la lettre à Heydon, Kepler n'a pas à se défendre, mais dans la suite du passage qu'on vient de citer du *Mysterium cosmographicum* on trouve une discussion de la question (en principe une question théologique) de la relation des Idées géométriques à la Pensée Divine. Cette discussion parallèle exacte-

14. Il semble que la plupart des astronomes de la seconde moitié du seizième siècle auraient interprété la théorie de Copernic dans ce sens. Voir R.S. Westman, «The Melanchthon Circle, Rhetoric and the Wittenberg Interpretation of the Copernican Theory», *ISIS*, 66 (1975) 165-193.

15. J. Kepler, tr. Segonds, *Le Secret du Monde* (voir note 12), p. 49, KGW I, p. 23, 1-1 à p. 24, 1.1: Cur enim? nisi quam a Conditore perfectissimo necesse omnino fuit, ut pulcherrimum opus constitueret. *Has enim nec est nec unquam fuit* (ut loquitur ex Timaeo Platonis Cicero in libro de universitate) *quicquam nisi pulcherrimum facere eum, qui esset optimus.*

16. J. Kepler à C. Heydon, Oct 1605, Lettre 357, lignes 164-7, KGW 15, p. 235: Non erat notus Ptolemaeo creator mundi: quare importunum ipsi fuit de Mundi archetypo cogitare, qui est in Geometria et nominatim in Euclide philosopho ter maximo.

ment ce que Kepler en dira en 1608 en écrivant à Joachim Tanckius. On cite la version de la lettre personnelle parce qu'elle est beaucoup plus claire.

Je dirais, presque, qu'il créa ce qu'il pût, et ce qu'il ne pût pas il omit. Vraiment on doit dire ce qu'avance Platon, et d'après lui Cicéron, qu'il est ignoble de penser que Dieu n'eût construit le monde le mieux qu'il ne pût, étant lui-même le mieux et le plus parfait. En cela seul la piété est touchée [? lésée], que la bonté, les lois et la nécessité se voient assignées non à la volonté de Dieu créateur mais à une Idée géométrique qui lui est extérieur. Mais le théologien pense que cette famille de choses géométriques, de laquelle l'Idée du monde est tirée, serait plutôt dans l'essence divine elle-même que dans la matière. Or la pensée peut la concevoir par abstraction de la matière, mais non pas l'abstraire de la pensée divine. Donc elle a été en Dieu en essence depuis l'éternité, elle s'est coulée de l'essence de Dieu dans la matière par l'acte de création¹⁷.

Ce que Kepler écrit à Tanckius se rapportait, en effet, non pas au modèle mathématique du *Mysterium cosmographicum*, mais à celui de son second traité cosmologique, *Harmonice mundi*. Dans ce traité, la concision et l'hardiesse s'augmentant, à ce qu'il semble, avec l'âge, Kepler s'exprime sur la question théologique d'une manière encore plus décidée, et dans une note marginale (assez voyante):

[...] ces causes formelles des choses géométriques ne sont rien d'autre que l'Essence Divine elle-même; parce que quoi qu'il soit qui se trouve en Dieu depuis l'éternité, cela est uni et identifié avec l'essence divine¹⁸.

Ce que Kepler écrit à Heydon en 1605, que l'Archétype du monde est à chercher dans l'oeuvre d'Euclide Trismégiste, comporte aussi des échos du passage du *Commentaire* de Proclus sur le premier livre des *Eléments* que Kepler fera imprimer en 1619 aux pages de titre des livres I et IV de l'*Harmonice mundi*. Ce texte, comme nous avons déjà noté, présente les mathématiques comme la science clé l'Univers. Il reste, en principe, une question épistémologique: qu'est-ce qui nous assure que l'Homme pourra comprendre le modèle mathématique du Cosmos? Il est possible que Kepler s'est posé cette question,

17. J. Kepler à J. Tanckius, 12 mai 1608, lettre 493, lignes 301-311, KGW 16, p. 161: [...] Pene dixissem, illud creavit quod creati potuit, quod non potuit, omisit. Sane fatendum est, quod contendit Plato et ex eo Cicero, nefas esse cogitare, ut Deus condiderit mundum non quam fieri potuit, optimum, ipse optimus et perfectissimus. In hoc solo offendit pietas, quod bonitas leges et necessitatem videt collocari non in Dei creatoris arbitrio, sed extra in Idea geometrica. Atqui cogitat Theologus hanc ipsam rerum geometricarum familiam, ex qua Idea mundi deprompta est, prius in ipsa essentia divina fuisse, quam in materia. Ab materia enim mente potest abstrahi, a mente divina abstrahi cogitatione non potest. Igitur in Deo fuit essentialiter ab aeterno, in materiam ex Dei essentia creando influxit [...].

18. Note marginale à *Harmonices mundi*, 1619, lib. I, prop. 45, KGW 6, p. 55: [...] praesertim cum haec formales rerum Geometricarum rationes nihil sint aliud, quam ipsa Essentia Divina; quia quicquid in Deo est ab aeterno, id una et individua est essentia divina [...].

puisque il lui donne une réponse, caractéristique encore une fois pour la fusion des idées platoniques et chrétiennes, dans la lettre ouverte qu'il a écrite à Galilée après avoir lu son *Sidereus Nuncius* en 1610 (la lettre fut imprimée la même année, avec le titre *Dissertatio cum Nuncio Sidereo*)

La géométrie est une et éternelle, resplendissant dans la Pensée Divine. La participation des hommes en elle est une des causes que l'homme soit l'image de Dieu¹⁹.

La référence explicite est au livre de la Genèse, mais il y a aussi une référence tacite au système épistémologique de Platon, selon lequel ce n'est que par les vérités mathématiques que la science des hommes peut être égale à celle des dieux.

Mysterium cosmographicum

Cette fusion d'idées platoniques et chrétiennes, avec un alliage assez léger d'opinions de Proclus, a été caractéristique de la pensée de Kepler depuis ses débuts intellectuels. Elle est la matière de base de sa première théorie cosmologique, publiée dans le petit traité *Mysterium cosmographicum*. Dans l'introduction, Kepler nous raconte l'histoire de l'origine de sa théorie: Il se demandait pourquoi il y aurait exactement six planètes (ici le lecteur moderne doit se souvenir que le système géocentrique en comportait sept) et pourquoi les distances entre leurs orbites auraient les grandeurs observées (ici on doit se rappeler que le système conventionnel mettait les orbites en contact les uns avec les autres). Un numérologiste aurait noté, comme l'avait fait Georg Joachim Rheticus (1514-1576), que six était le premier des nombres «parfaits»²⁰. Kepler, au contraire croyait que l'Arithmétique était une science secondaire, dérivée de la Géométrie, et que c'était dans cette science-ci, la primaire, que l'on devrait chercher les éléments d'une théorie du Cosmos.

L'idée fondamentale de sa théorie lui est venue pendant qu'il dessinait pour ses élèves la séquence des grandes conjonctions (de Saturne et Jupiter), qui avancent par à peu près un tiers du cercle zodiacal à chaque occasion. Ce faisant, il s'aperçut qu'il esquissait une série de triangles («ou quasi triangles») équilatères, dont les côtés étaient tangentes à un cercle intérieur, plus petit. Décrire un cercle, y inscrire un polygone régulier, y inscrire un cercle qui touche chaque côté du polygone, inscrire dans ce cercle le polygone suivant...? En y repensant Kepler a vu que ce processus pourrait continuer indéfiniment, puis-

19. J. Kepler, *Dissertatio cum Nuncio Sidereo*, Prague, 1610, p. 30, KGW 4, p. 308, II.9-10: «Geometria una et aeterna est, in mente Divina refulgens: cuius consortium hominibus tributum inter causas est, cur homo sit imago Dei».

20. Un nombre est «parfait» quand il est égal à la somme de ses diviseurs intégraux: $6 = 1 + 2 + 3$. Pour la numérologie de Rheticus, voir E. Rosen, *Three Copernican Treatises*, New York, 1971, et J.V. Field, «Kepler's rejection of numerology», in B. Vickers (ed.), *Occult and Scientific Mentalities in the Renaissance*, Cambridge, 1984, p. 273-296, traduction espagnole *Mentalidades ocultas y científicas en el Renacimiento*, Madrid, 1990, p. 205-232.

qu'il n'y avait pas de limite au nombre de polygones réguliers. Sur cela, l'idée lui est venue de chercher non parmi les figures planes mais, puisque le Cosmos était tri-dimensionnelle, parmi les figures solides. Cinq figures spéciales se présentent immédiatement à son esprit: les cinq polyèdres réguliers décrits par Platon dans le *Timée*, et connus sous le nom des «corps cosmiques», c'est à dire le tétraèdre (quatre faces triangulaires), l'octaèdre (huit faces triangulaires), l'icosaèdre (vingt faces triangulaires), le cube (six faces carrées) et le dodécaèdre (douze faces pentagonales)²¹.

Chacune de ces figures solides engendre une proportion: la proportion entre le rayon de la sphère circonscrite (la sphère qui passe par les angles du polyèdre) et le rayon de la sphère inscrite (la sphère qui touche chacune des faces du polyèdre). En effet, comme on voit par les théorèmes du Livre XIII des *Eléments*, les cinq solides réguliers ne produisent que trois proportions, parce que les proportions entre les rayons des sphères pour le cube et l'octaèdre, et pour le dodécaèdre et l'icosaèdre, sont égales.

Kepler cherche à expliquer le nombre des orbites planétaires en mettant un polyèdre dans chacune des cinq intervalles entre les six orbites. Il veut en même temps assurer que le polyèdre intercalé donne la proportion entre les rayons des surfaces sphériques attenantes. Mais, comme on vient de voir, les polyèdres ne donnent que trois proportions. Donc, des considérations mathématiques ne pouvaient pas dicter une location unique pour chaque polyèdre —si par considération mathématique on ne voudrait dire qu'un souci de donner une description numérique des grandeurs des intervalles qui soit la plus proche que possible aux valeurs déduites des observations astronomiques. C'est donc une nécessité logique —qui accorde néanmoins très bien avec son tempérament philosophique— qui force Kepler à recourir à des arguments mathématiques supplémentaires de nature plus métaphysique pour construire et pour défendre sa théorie. Kepler ne nous dit rien des considérations qui l'ont influencé pendant la construction des détails de la théorie, mais on peut vraisemblablement en déduire quelque chose en regardant la stratégie de la défense de la théorie, qui commence au Chapitre III du *Mysterium cosmographicum*.

Les deux premiers chapitres du *Mysterium cosmographicum* concernent la théorie de Copernic et la présentations du modèle cosmologique de Kepler. Selon ce modèle, le nombre des orbites planétaires et les grandeurs des intervalles entre eux se déterminent de la manière qui suit. Si à l'intérieur de l'orbite de Saturne on construit un cube avec ses angles dans la surface sphérique, la sphère inscrite dans ce cube, et le touchant aux centres de ses faces, sera la surface extérieure de l'orbite de Jupiter, et ainsi de suite, l'ordre des polyèdres suivants étant tétraèdre (entre Jupiter et Mars), dodécaèdre (entre Mars et la Terre), icosaèdre (entre la Terre et Venus), octaèdre (entre Venus et Mercure).

21. *Mysterium cosmographicum*, 1596, Proemium, p. 8-10, KGW 1, p. 11-13, traduction française (voir note 12), p. 24-26.

TAVLA III. ORBIVM PLANETARVM DIMENSIONES, ET DISTANTIAS PER QVINQVE
 REGVLARIA CORPORA GEOMETRICA EXHIBENS.
 ILLVSTRIS PRINCIPIS, AC DNO. DNO. FRIDERICO, DVCI WIR-
 TEBURGEO, ET TULLIO, COMITI MONTIS BELGARVM, SAC. CONSECRATA.

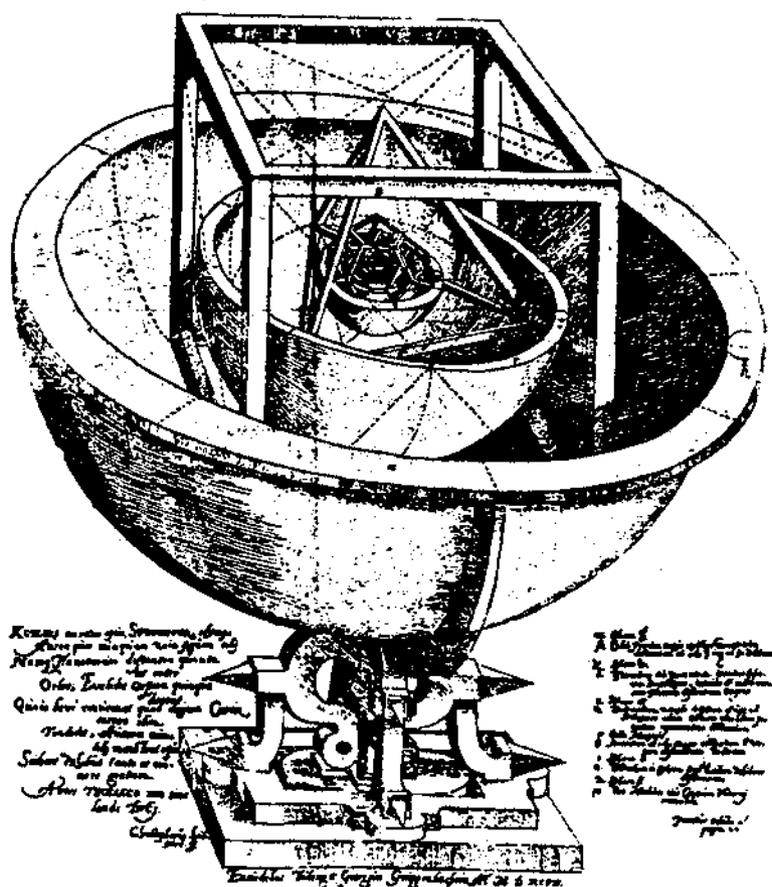


Figure. 2. Orbes planétaires et polyèdres réguliers, planche gravée (1597) illustrant le système cosmologique de Kepler, du *Mysterium cosmographicum*, 1596, Ch. II. Photo Science Museum, Londres (no 314/83).

La planche gravée qui accompagne la présentation de la théorie est en folio (voir la Figure 2).

Kepler passe sous silence le problème de déterminer l'intervalle Mercure-Soleil, mais la suite montre qu'il a bien reconnu que son modèle n'expliquait pas l'épaisseur des orbes planétaires. Cette épaisseur était la différence entre les distances maximum et minimum entre la planète et le Soleil, puisque l'orbe était défini comme étant le volume contenu entre les deux surfaces sphériques, chacune avec son centre dans le Soleil, qui contiendrait complètement la

voie planétaire. Donc, malgré l'impression qu'on pourrait obtenir en regardant la belle figure gravée qui complète la présentation verbale de la théorie (voir Figure 2)²², les orbes n'étaient pas conçus comme de vraies structures solides (et pas non plus les polyèdres!) et ils n'étaient pas destinés à héberger quelque mécanisme d'épicycles qui servirait à construire l'orbite du planète. Le petit cercle qu'on voit sur la planche dans l'orbe de Saturne est donc le produit de l'imagination par trop conventionnelle d'un artiste ou d'un graveur. Ce cercle ne figure pas dans la théorie de Kepler. La non-inclusion des épicycles dans les orbes est mentionnée explicitement dans le cours d'une exposition plus détaillée des mouvements planétaires, au second paragraphe du Chapitre XXII du *Mysterium cosmographicum*²³. Dans le même chapitre Kepler mentionne encore une fois la non-matérialité des orbes, qui a été établie dans son Chapitre XVI. De ce qu'il en dit dans le *Mysterium cosmographicum* il est donc clair que Kepler ne croit pas que les orbes planétaires soient des entités matérielles et qu'il ne croit non plus à l'existence réelle des épicycles. Mais il ne s'explique pas en détail là-dessus. Comme j'ai dit ailleurs, il me paraît possible que le dégoût de Kepler pour la complication des systèmes comportant des épicycles dériverait en partie de sa lecture de l'*Hypotyposis* de Proclus²⁴.

Ayant décrit sa théorie, Kepler se met, dans le troisième chapitre du *Mysterium*, à la défendre, en expliquant chaque élément qui aurait pu avoir l'air d'être arbitraire. Comme on a vu, pour Kepler c'était une des supériorités de la théorie copernicienne sur la ptolémaïque qu'elle comportait moins d'éléments arbitraires. Pour l'archétype polyédrique, il fallait d'abord établir que l'ordre des polyèdres était fixé par des causes naturelles — c'est à dire par des raisons mathématiques. Kepler ne perd pas son temps en préambules. Il commence son chapitre

Que les six orbes de Copernic admettent dans leurs intervalles respectifs ces cinq solides, cela pourrait paraître fortuit et ne découler d'aucune raison, s'il n'y avait entre les solides cet ordre même selon lequel j'ai moi-même intercalé chacun entre les orbes²⁵.

Cet ordre s'établit selon des raisons mathématiques qui prouvent que les solides se divisent en «primaires» et «secondaires». Les critères de division sont mathématiques, par exemple que les trois polyèdres primaires (le tétraèdre, le cube et le dodécaèdre) ont chacun une face particulière (triangle, carré, pentagone) tandis que les secondaires (l'octaèdre et l'icosaèdre) ont tous deux des faces triangulaires. En effet, le tétraèdre a aussi des faces triangulaires, mais la nature du raisonnement s'éclaire quand Kepler ajoute que les primaires ont un angle solide du type le plus simple, formé de trois faces, tandis que les

22. Le livre est *in octavo*, la planche, qui porte la date 1597, est une dépliant, *in folio*.

23. Edition de 1596, p. 77 et *seqq.* KGW 1, p. 75, 1.30 et *seqq.*, traduction française (voir note 12), p. 150, 1.-6 et *seqq.*

24. Voir J.V. Field, *Kepler's Geometrical Cosmology*, Londres et Chicago, 1988, p. 168-169.

25. *Mysterium cosmographicum*, 1596, Ch. III, p. 26, KGW 1, p. 29, 11.4-7, traduction française (voir note 12), p. 37.

secondaires ont des angles formés de quatre et cinq faces respectivement. Par cette combinaison de raisons, et d'autres dans le même style, Kepler construit des catégories fondées sur la simplicité mathématique. Par la suite, au Chapitre IV, les solides primaires se révèlent plus dignes d'être extérieurs — puisque contenir est plus noble que d'être contenu²⁶ et les solides secondaires sont donc assignés à la région intérieure à l'orbe de la Terre. Dans les chapitres suivants, Kepler examine les polyèdres un à un²⁷, détaillant leurs propriétés d'une manière qui permet la construction d'un ordre de perfection mathématique. Par exemple, le cube est le plus parfait de tous parce que l'on peut le générer par le mouvement d'une de ses faces. (On pourrait imaginer un carré horizontal qui s'impose une lévitation verticale jusqu'à atteindre une hauteur égale à la longueur de son côté.) Et tous les angles du cube, plans et solides, sont des angles droits. Et ainsi de suite²⁸.

Si la matière est différente, et l'argumentation beaucoup plus longue, le style du raisonnement de Kepler en construisant cette hiérarchie des polyèdres réguliers est quand-même fort semblable au style dans lequel Platon assigne chaque polyèdre à un élément dans le *Timée* (55c). Il y a même une similitude, curieuse mais à ce qui semble sans signification, dans ce que Kepler comme Platon ne dit rien du dodécaèdre, qui chez l'un et l'autre est laissé prendre la place qui lui reste. Le raisonnement de Kepler paraît moins naturel que celui de Platon. Les analogies de propriétés sont plus physiques chez Platon et plus métaphysiques chez Kepler. Mais il est évident que c'est dans le *Timée* que Kepler a puisé l'inspiration pour le style mathématique de son argumentation.

Après avoir établi cet ordre de préférence entre les polyèdres, Kepler procède à la justification de sa théorie par observation. Il montre, par exemple, et encore dans le style du *Timée*, que chaque polyèdre a des propriétés mathématiques analogues aux propriétés astrologiques (observées) de la planète dans l'orbe de laquelle il est inscrit. Donc le cube ressemble à Saturne, le tétraèdre à Mars, et ainsi de suite²⁹. Dans les chapitres suivants il parle aussi des configurations astrologiques (les aspects) et leurs analogues musicales, les consonances, avant d'examiner en détail l'accord des prédictions de la théorie avec les dimensions des orbites calculées d'après les observations astronomiques (en particulier celles de Copernic).

Dans ces derniers chapitres, où il s'agit de l'accord entre théorie et observation, on peut détecter l'action d'un esprit scientifique qui semble, en quelque sorte, très moderne. Mais il est clair que Kepler se voit en continuateur

26. *Mysterium cosmographicum*, 1596, Ch. IV, p. 28, KGW 1, p. 30, 1.31 *et seqq.*, traduction française (voir note 12), p. 60-61. Kepler semble faire référence à Aristote *Métaphysique* I, i, 1052b15 *et seqq.*

27. Sauf le dodécaèdre — qui ne fait que prendre la place qu'on lui laisse.

28. Pour le cube, *Mysterium cosmographicum*, 1596, Ch. V, KGW 1, p. 31-32, traduction française (voir note 12), p. 60-61.

29. *Mysterium cosmographicum*, Ch. IX, KGW 1, p. 34-36, traduction française (voir note 12), p. 66-68.

de la tradition astronomique de l'Antiquité, et en effet on peut trouver des traits pour ainsi dire «modernes» aussi chez Ptolémée. L'astronomie demandait depuis toujours les mêmes qualités: imagination tri-dimensionnelle pour la construction des modèles, patience pour les calculs très longs, jugement pour contrôler l'accord entre les prédictions de la théorie et les données de l'observation. Il y a eu des historiens qui ont regardé la partie proprement astronomique du *Mysterium cosmographicum* et en ont conclu que Kepler était un moderne pour l'astronomie mais un «mystique» pour la cosmologie³⁰. Il me semble qu'on aurait tort de croire à un Kepler ainsi habité de deux esprits. Les qualités de son astronomie, dont je viens de faire un bilan abrégé, sont aussi celles de sa cosmologie. Ce qui est non-moderne, c'est l'habitude de s'expliquer sur les fondements philosophiques de sa théorie. Quant à la recherche de l'accord entre théorie et observation —qui a mené Kepler très loin, par exemple à la découverte de l'ellipticité de l'orbite de Mars—³¹ c'est la possibilité d'adopter le même critère en cosmologie, grâce à la théorie de Copernic, qui a inspiré Kepler dans ses recherches cosmologiques³².

Harmonice mundi

En tout cas, il semble que pour Kepler il y avait dans la théorie polyédrique deux choses qui clochaient. La première était la relation du modèle avec l'astrologie des aspects et les consonances musicales —des entités qu'on croyait liées. La seconde était le manque d'une loi mathématique pour expliquer les périodes de révolution des planètes autour du Soleil. Kepler s'était proposé dans son traité d'expliquer le nombre des planètes, leurs distances et leurs temps périodiques³³, mais il semble avoir pensé aussi à suivre le programme cosmologique de Ptolémée, qui, dans ses *Harmonica* avait traité de la musique et de l'astrologie en même temps que de l'astronomie. Cette constellation d'intérêts cosmologiques était, en plus, celle qu'on trouvait dans le *quadri-vium* des sciences mathématiques universitaires du Moyen Age: arithmétique, géométrie, musique et astronomie.

Malheureusement pour Kepler, les experts de la théorie de la musique étaient, depuis le seizième siècle, de plus en plus incapables d'expliquer la musique contemporaine. Comme pour l'astronomie, mais d'une façon beaucoup plus frappante, il y avait un désaccord entre théorie et «observation» (où pour les musiciens «observation» veut dire la pratique des compositeurs et des exécutants). Quant à l'astronomie, ce fut Kepler lui-même qui résolut la difficulté en découvrant, après cinq ans de calculs, que la vitesse d'une planète

30. Par exemple, Arthur Koestler, *The Sleepwalkers*, Londres, 1958.

31. J. Kepler, *Astronomia nova*, Heidelberg, 1609, KGW 3.

32. J'ai traité de ce thème assez longuement dans J.V. Field, *Kepler's Geometrical Cosmology*, Londres et Chicago, 1988.

33. *Mysterium cosmographicum*, commencement du troisième paragraphe, KGW 1, p. 9, traduction française (voir note 12), p. 22.

variait régulièrement avec sa distance du Soleil et que les orbites des planètes étaient des ellipses, chacune avec le Soleil dans l'un de ses foyers³⁴. Quant à la musique, Kepler a choisi de se fier au système le plus réputé de son temps, celui élaboré par Gioseffo Zarlino (1517-1590) dans ses *Istitutioni harmoniche* (Venise, 1558), qui se base sur le système des *Harmonica* de Ptolémée (*editio princeps*, en version latine, 1562). Le désaccord croissant entre théorie et pratique en musique ne se résolut que pendant la première moitié du dix-huitième siècle, avec les oeuvres théoriques de Jean-Philippe Rameau (1683-1764). La théorie de la musique de Kepler n'a eu aucune influence historique, et n'est remarquable que pour ses bases géométriques. Tout autre théorie de la musique avait eu des fondements en arithmétique.

De ces deux problèmes laissés sans solution dans le *Mysterium cosmographicum*, l'historien de l'astronomie technique s'intéresse naturellement plutôt à la loi période-distance: Kepler en a découverte la bonne en 1618 (voir plus bas) et elle a été d'une grande importance pour le travail de Newton (1642-1727) sur la gravitation universelle. On sait que Kepler n'a jamais perdu de vue son intention de trouver cette loi qui lui manquait, mais on n'en trouve pas la trace dans les papiers qui nous sont parvenus. Il est possible qu'il ne s'agissait, en effet, que de quelques petits calculs, vite abandonnés mais toujours repris dès qu'une nouvelle formulation possible se présentait. Le succès semble être venu accidentellement, non pas à la suite d'une longue série d'investigations qui devraient enfin aboutir à une vérité, comme les calculs qui ont mené Kepler à l'ellipticité des orbites. La relation cherchée était que le cube du rayon moyen de l'orbe planétaire était proportionnel au carré du temps périodique. Dans le dernier livre de l'*Harmonice mundi*, Livre V, Kepler raconte l'histoire de sa découverte. Cette loi s'est suggérée à son esprit le 8 mars 1618, mais quand il l'avait soumise à des vérifications numériques il l'a crue fautive. Elle lui est quand-même revenue le 15 mai, et les calculs l'ont confirmée, et si bien qu'au début Kepler pensait avoir fait une faute de *petitio principii*³⁵. La loi période-distance est importante pour l'élaboration des conséquences astronomiques de l'Archétype dans le dernier chapitre de l'*Harmonice mundi* (et pour les historiens positivistes elle représente, bien sûr, le seul élément intéressant du traité), mais pour ce qui nous concerne ici le plus important est de noter que cette loi a été découverte au dernier moment, quand le livre était déjà en train d'être imprimé. Donc elle n'a pas eu d'influence sur le développement de la théorie architectonique exposée dans le reste de l'ouvrage.

Kepler mettait beaucoup de prix à sa loi période-distance (après l'avoir trouvée) et l'on ne peut pas douter qu'il ne mettait dès ses débuts quelques

34. Ces deux résultats, les deux premiers des «Lois de Kepler», sont énoncés, sans réclame, dans J. Kepler *Astronomia nova*, Heidelberg, 1609, réimpression KGW 3. La littérature secondaire sur ce traité est énorme et pour la plupart pas beaucoup plus facile à lire que le texte de Kepler lui-même. Une esquisse assez convaincante des calculs est donné par Alexandre Koyré dans sa *Révolution astronomique*, Paris, 1961.

35. *Harmonice mundi*, 1619, livre V, Ch. III, p. 180, KGW 6, p. 302, l. 14 et seqq.

efforts à trouver une telle loi, puisqu' elle devrait faire partie intégrante du modèle cosmogonique. Néanmoins, il n'en parle pas dans la correspondance assez volumineuse qui nous est parvenue. En revanche, on trouve dans ces lettres beaucoup de traces du mécontentement du jeune auteur envers les défaillances de l'archétype polyédrique en matière de musique et d'astrologie. Dès 1599 il s'est décidé de chercher l'explication des proportions de base de la musique (proportions entre les longueurs des cordes vibrantes) et d'astrologie (en les grandeurs des arcs qui correspondent à des «aspects») dans les propriétés des figures planes. En août il écrit à Maestlin qu'il va écrire un traité avec le titre *De harmonia mundi*³⁶. En décembre il écrit à Herwart von Hohenburg (1522-1611), un ami à la cour de Munich, avec lequel Kepler avait l'habitude de parler musique, qu'il a dressé le plan d'une petite dissertation cosmographique qui portera le titre *De harmonice mundi* et aura cinq divisions

1. Géométrique, sur les figures constructibles
2. Arithmétique, sur les proportions solides
3. Musicale, sur les causes des harmonies
4. Astrologique, sur les causes des aspects
5. Astronomique, sur les causes des mouvements périodiques³⁷.

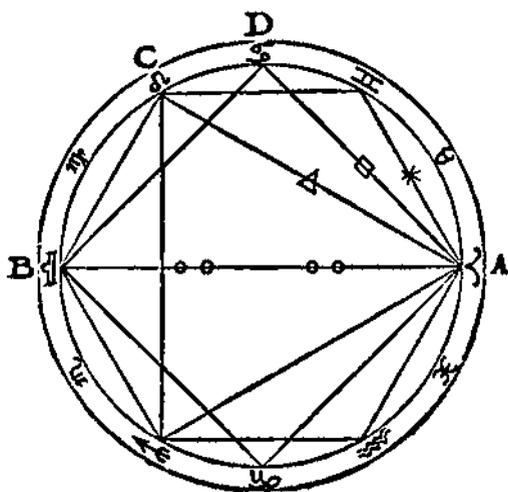
Ce plan ressemble très fort au plan de l'*Harmonice mundi*, publiée vingt ans après, qui comprend cinq livres, les deux premiers sur la géométrie des figures planes constructibles, le troisième sur la musique (avec quelques préliminaires arithmétiques), le quatrième sur l'astrologie des aspects, le cinquième sur l'astronomie (les vitesses des planètes et leurs périodes). Ce qui a le plus changé entre le plan de 1599 et le traité achevé en 1618 est la longueur du texte: la petite dissertation qui se dividerait en chapitres est devenue un *in folio* de cinq livres et d'environ trois cents pages en total.

La correspondance de Kepler nous montre que ses idées sur les matières de son traité cosmologique n'ont pas été tout à fait constantes pendant les dix-neuf années qui se sont écoulées (pleines d'autres ouvrages, notamment d'optique et d'astronomie). Par exemple, il a changé d'avis sur le nombre d'aspects qu'il fallait admettre en astrologie³⁸. Or Ptolémée avait proposé une relation très simple entre aspects et consonances musicales: chaque aspect correspond à une consonance, comme si l'on pourrait imaginer le zodiaque déroulé pour prendre la forme d'une corde d'un instrument de musique. Le système de Ptolémée se voit dans notre Figure 3. La Figure 4 montre des zodiaques déroulés dans une lettre que Kepler a écrit à Herwart von Hohenburg le 30 août 1599. On peut voir que Kepler a déjà commencé à modifier le nombre d'aspects. En revanche, il continue d'accepter le système de consonances décrit par Ptolémée

36. J. Kepler à M. Maestlin, 29 août 1599, KGW 14, p. 46, lettre 132, ligne 136 *et seqq.*

37. J. Kepler à Herwart von Hohenburg, 14 décembre 1599, lettre 148, ligne 11 *et seqq.*, KGW 14, p. 100.

38. Voir J.V. Field, «A Lutheran Astrologer: Johannes Kepler», *Archive for History of Exact Sciences*, 31(3) (1984) 189-272.



- Diapason seu dupla ratio tripliciter
respondet: Vel { Totius circuli ad dimidium
ABC ad AC, népe 8 ad 4.
ACB ad AD, sex ad tria.
- Diapente seu sesquialtera, item tri-
pliciter: Vel { Totius circuli, seu 12. 8
DAB, idest, 9 ad 6
AB, idest, 6 ad AC, idest 4.
- Diateffaron seu sesquitercia, item
tripliciter: Vel { Totius circuli ad ABCD,
seu 12 ad 4 in ABD.
ABC ad AB, idest 8 ad 6.
AC ad AD, 4 ad 3.
- Diapason & Diapente, item tripli-
citer, Bisdiapason uero dupliciter
Tonus semel.

Figure 3. Aspects astrologiques et consonances musicales selon le système de Ptolémée, de Claude Ptolémée, *Harmonica*, tr. Antonio Gogava, Venise, 1562, p. 144. Photo British Library, Londres.

(légèrement modifié par Zarlino, comme on a déjà noté). Malheureusement, la correspondance qui nous est parvenue, riche comme elle est, semble ne pas fournir des informations qui nous permettraient de savoir si la séparation que Kepler a opérée entre son explication des consonances et celle des aspects est antérieure ou postérieure au changement du nombre des aspects³⁹. Les explications sont toutes géométriques.

Quant à leur philosophie fondamentale, toutes les explications sont équivalentes. Il suffira donc, pour ce qui nous concerne ici, d'examiner les explications

39. Kepler fait appel à des observations météorologiques pour confirmer l'existence des nouveaux aspects, voir l'article cité dans la note 38.

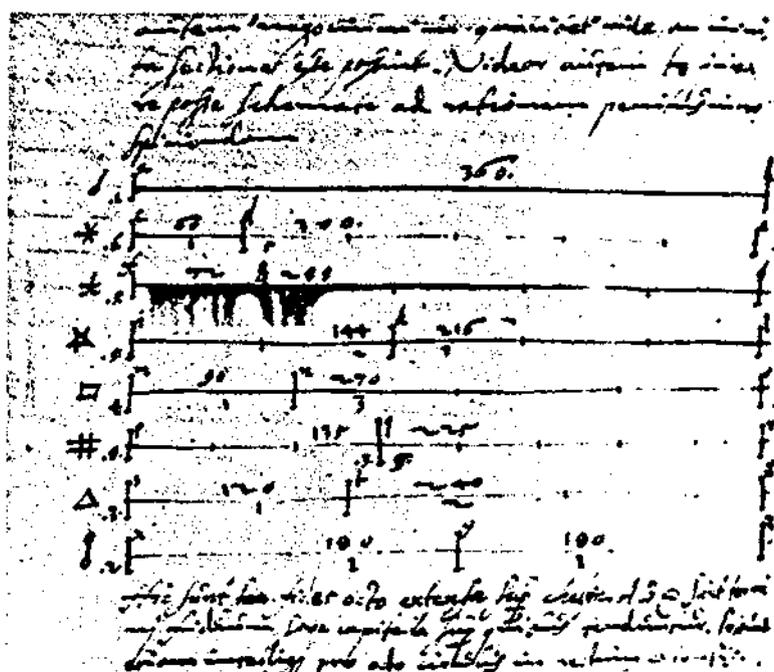


Figure 4. Aspects astrologiques et consonances musicales, d'une lettre écrite par Kepler a Herwart von Hohenburg (30 mai 1599).

Aspects ptolémaïques	AB, conjonction (0° , corde non divisée)
	CDE, sextile (60° , proportion 1:5)
	MNO, quadrature (90° , proportion 1:3)
	STU, trine (120° , proportion 1:2)
	XYZ, opposition (180° , proportion 1:1)
Aspects nouveaux	FGH, quintile (72° , proportion 1:4)
	IKL, biquintile (144° , proportion 2:3)
	PQR, sesquiquadrature (135° , proportion 3:5)

Photo Staatsbibliothek, Munich.

dans les formes définitives qu'elles ont assumées dans l'*Harmonice mundi*. Comme nous l'avons déjà noté, les deux premiers livres du traité sont géométriques. Mais leur géométrie se veut applicable. Kepler construit des hiérarchies de polygones qui serviront à donner des rôles différents (jusqu'à un rôle nul) à chaque classe de polygones dans le contexte de l'Archétype du monde. Dans le premier livre, la classification des polygones est selon le nombre d'opérations géométriques qui sont nécessaires pour construire la figure dans le cercle. Par exemple, l'hexagone est entre les figures les plus nobles puisque sa côté, étant égale au rayon du cercle (la mesure commune), peut être construite immédiatement. Dans le second livre, la classification s'opère selon la «sociabilité» des polygones constructibles —les non-constructibles ayant été exclus de toute considération selon la classi-

fication du premier livre. La «sociabilité» se mesure par le nombre de tessellations ou de polyèdres auxquels le polygone en question peut contribuer.

Dans le livre III, les divisions du cercle opérées par des polygones des différentes classes de constructibilité deviennent des divisions d'une corde et produisent les consonances, classifiées par leurs polygones correspondants pour faire une hiérarchie semblable à celle de Ptolémée. Dans le livre IV, les divisions du cercle opérées par les angles des polygones des différentes classes de sociabilité deviennent des divisions du Zodiaque par des planètes qui sont en aspect l'une avec l'autre (voir Figure 5). Les aspects sont classés —depuis le plus fort au plus faible— selon les classes de leurs polygones «centraux» (l'influence des polygones «circonférentiels» est censée subsidiaire).

Dans le livre V, les proportions arithmétiques réperées par l'inscription de polygones dans le cercle dans le livre III, c'est à dire les proportions qu'on dit «musicales», sont à leur tour réperées entre les mouvements des planètes. La recherche des proportions est systématique et scrupuleuse. Chaque possibilité est évaluée par des calculs. Kepler trouve les proportions musicales entre les vitesses maxima et minima des planètes —les vitesses à perihelie et à aphelie, évaluées en termes de vitesse angulaire vue du Soleil, c'est à dire, pour un Copernicien, des vraies vitesses dans l'espace. En effet, les proportions musicales qu'il trouve sont à peu près assez nombreuses pour permettre la construction de deux gammes, chacune d'une octave entière, l'une de «cantus durus» et l'autre de «cantus mollis» (des termes qui, à cette époque ne correspondent pas encore à des gammes «majeure» et «mineure»). Il ne manque qu'une note à chaque gamme, et Kepler — toujours l'honnête homme — indique les lacunes avec le mot «vacat» (voir Figure 6). Les lacunes sont comblées quand on construit un clavier complet des tons qui correspond à la range des vitesses pour chaque planète (voir Figure 7).

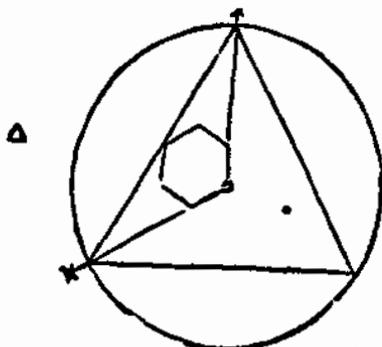
Ici il faut noter qu'en cette matière de l'occurrence de proportions musicales («résonances») dans le système solaire, Einstein avait tort de dire «Raffiniert ist der Herr Gott aber böshaft ist er nicht» («Le Seigneur Dieu a un esprit sophistiqué mais il n'est pas malicieux» [[N.B. sophistiqué n'est peut-être pas le mot juste, mais «raffiniert» est légèrement péjoratif, ce qui élimine «subtil», à ce que je pense...]]). Tout déraisonnable que cela puisse paraître, les résonances existent. Le phénomène que Kepler a détecté est confirmé par des observations impeccables des astronomes du vingtième siècle, et ces astronomes n'en ont trouvé que des explications à demi satisfaisantes⁴⁰. On constate, aussi, que la théorie de Kepler s'accorde avec les valeurs observées (ou déduites d'observations) avec une erreur de moins de 1%. Kepler évalue les erreurs en termes du désaccord entre les deux notes musicales, ce qui lui donne une erreur proportionnelle, dans le style moderne. Il semble avoir été le premier à traiter des erreurs proportionnelles⁴¹.

40. Voir J.V. Field, op. cit. en note 24, p. 149-50 et 228.

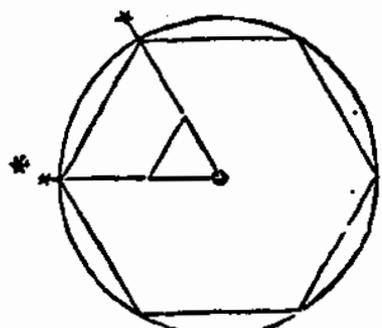
41. Pour l'accord théorie-observation, voir J.V. Field, «Kepler's cosmological theories: their agreement with observation», *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 23 (1983) 556-568.

146 DE CONFIGURATIONIBUS

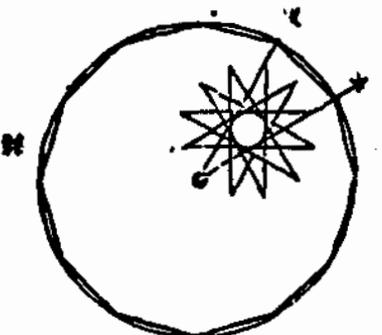
CAP. V. *facit propinquitatem non identitatis, sed aequipollentiam. Primum eorum figura*



differentia, ut jam modo dictum, reducat in congruentiam perfectionem.



*numen proportionis: ut inus hic est Dodecagonum, habens latus ineffabile. Verum per se
litas nec precipuum est ad Efficaciam argumentum, nec in figura precipua huc est cir-*



*pende absoluta: adeoq; etiam cum Triangulo & Hexagono hanc figuram publicam
facit contendere, propter hanc perfationem ineffabilitatis suae, ponderisum ab
modum*

*principalis, in congruentia plano tradunt mutua operas: coeunt n. & inter se variè & cum alijs, ut quadrato. Prae-
cellunt quidem hic Triangula & Hexagona, quia etiam secum ipsa singula
species congruunt praecellit Triangulo Hexagono, quia perfectissimam obtinet
in plano congruentiam, soli sc. ternis
angulis: praecellunt ambo Dodecagonum, quia etiam in solido congruunt illi cum
figuris alijs, quod nō potest Dodecagonum
At vicissim praecellit reliquis Dodecago-
num effabile: ea re, cum eorū area pat
medialis & sic immobilitas: qua creatū*

*Sic etiam Triangulum praecellit rursus
Hexagono, eo quod secum ipsa Tri-
gonica species in solido congruit variè,
gignitq; tria corpora regularia: Hexa-
gonum in autem cum figuris alijs congru-
it. Ita perfatio inter se diversarū pro-
prietatū ponderis, Congruentia, qua
primum & praecipuum elementum est
efficacia, penam huc ream propinquitatem
ad aequilibrium perducitur. In scibili-
tate primas tenet Sexangulum, cujus
latus effabile secundum Triangulum, occupat
enim eandem cum Tetragoni gradum,
habens latus effabile potestū, vltimi*

*cum ferentiali, consideratur: sed tertium
in centrali minus praecipuum. Quia si quid
potest, Triangulum pauli reddit efficaciter
Sextili, quoniam Triangulum format angulum
Hexagoni in centro, pauli minus utriusq;
efficaciam Semisextili, quem metus angulum
Stella Dodecagonica in centro. Est tunc
ceteris sequentibus mobilis scientia Sem-
sextili, quia latus centralis figura, in latus
sabilis mobilissima est species. Dimin-
nū, & in eorū sub divisione dupli. per
prioris tūc, adeo ut cum foris sui, Latere
circumferentialis figura, rebusq; ef-
fabile formes, quod est nota perfectioris
facit contendere, propter hanc perfationem ineffabilitatis suae, ponderisum ab
modum*

Figure 5. Les aspects astrologiques trine, sextile et semisextile, de Johannes Kepler, *Harmonice mundi*, 1619, Livre IV, Ch. V. Photo Science Museum, Londres (no 1320/83).

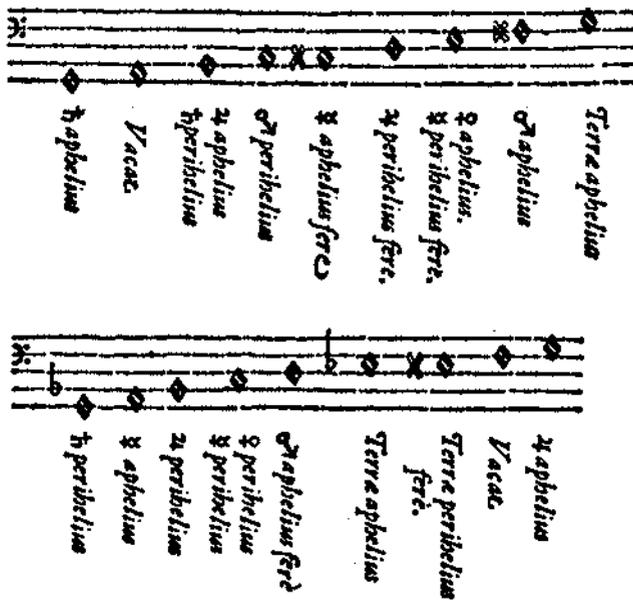


Figure 6. Les gammes formées par les proportions entre vitesses planétaires, en haut gamme en *cantus durus*, en bas gamme en *cantus mollis*, de Johannes Kepler, *Harmonice mundi*, 1619. Livre V. Ch. V. Photo Science Museum, Londres (no 523/82).

Les polyèdres réguliers, dont la construction a été détaillée au Livre II, continuaient à servir, comme dans le *Mysterium cosmographicum*, à déterminer le nombre des planètes et, avec une nuance d'approximation, les distances entre leurs orbites. Les rayons intérieurs et extérieurs des orbites sont maintenant les distances Soleil-planète aux instants de périhélie et d'aphélie dans l'ellipse orbitale (ce qui fait que le rayon moyen de l'orbite est l'axe majeur de l'ellipse). Kepler constate que les observations de Tycho Brahe (1546-1601) qui lui ont donné des orbites planétaires d'une exactitude qu'il jugeait (avec raison) sans pareille, ne lui ont pas permis d'améliorer l'accord théorie-observation pour l'archétype polyédrique, qui, en 1619, n'était qu'une partie subalterne de l'archétype «harmonique».

L'archétype harmonique, en fixant les proportions des vitesses, expliquait l'épaisseur de chaque orbite — puisque la Loi des Aires, que Kepler avait énoncée en 1609, établissait une relation entre vitesse et distance Soleil-planète⁴². Ce qui manquait, jusqu'au 15 mai 1618, était une explication des temps périodiques. La Troisième Loi — que la proportion entre le cube du rayon moyen et le carré

42. La Loi des Aires peut se formuler: Quand une planète tourne autour du Soleil, la ligne qui joint la planète au Soleil balaye des aires égales en temps égaux.



Figure 7. Les claviers de tons formés par les vitesses de chaque planète, de Johannes Kepler, *Harmonice mundi*, 1619, Livre V, Ch. VI, p. 207. Photo Science Museum, Londres (no 524/82).

du temps périodique est le même pour chaque orbite planétaire— ne donne pas, effectivement, une explication architectonique des temps périodiques. Elle ne fait que permettre de les calculer d'après les rayons. Mais le traité était en train d'être imprimé et Kepler semble avoir employé son temps à faire des révisions dans le texte du Livre V plutôt qu'à chercher une explication de cette proportion sesquialtère entre rayons et périodes. En tout cas, il semble ne pas avoir trouvé d'explication qui lui semblait satisfaisante. Et, à ce que je sache, il ne dit nulle part que la Troisième Loi peut dispenser les polyèdres réguliers du devoir de déterminer, en gros, les dimensions des orbes, ni que l'harmonie peut dicter le nombre des planètes. Les cinq solides que les anciens disaient «cosmiques» restent cosmiques pour Kepler. L'argumentation mathématique de l'*Harmonice mundi* est d'une complexité qui le lie à Euclide et, pour l'astronomie, à Ptolémée, plutôt qu'à Platon. Mais le plan de l'ouvrage, qui commence en examinant les entités mathématiques les plus simples et déduit de leurs propriétés les propriétés physiques de l'Univers observé par les astronomes et les philosophes, ce plan est visiblement dérivé du programme philosophique du *Timée*.

Platonisme et Réalisme

Prouver que Kepler était platonicien, selon les critères de ses contemporains et des nôtres, est très facile. S'assurer des limites de son Platonisme, qui dans certaines directions semblent floues ou inexistantes, est un exercice qui demande un peu plus d'application. Il est quand-même clair que Kepler accepte sans ambages les méthodes de recherche scientifiques prônées et pratiquées par Platon dans le *Timée*, et qu'il accepte aussi, en grande partie, sinon totalement, la théorie épistémologique que ces méthodes sousentendent. Il est également clair, en regardant aux rares occasions où Kepler se mêle à des investigations de la physique proprement parlant, qu'il n'accepte pas des éléments importants de la physique exprimée (ouvertement) dans le *Timée*.

Par exemple, Kepler rejette l'atomisme de Platon. Il le rejette, expressément, dans la coda à la proposition XXV du Livre II de l'*Harmonice mundi*, où il explique que les anciens croyaient que les cinq polyèdres réguliers devraient être associés de quelque façon avec les corps du monde mais n'étaient pas d'accord en leur choix de la mode de cette association. La vraie théorie — et notez qu'il s'agit chez Kepler d'une seule vraie théorie — est celle que Kepler a proposée dans son *Mysterium cosmographicum*, qui, selon Kepler, a aussi été celle des Pythagoriciens⁴³. Et quand, dans sa petite brochure sur la neige, *De nive sexangula* (Prague, 1611)⁴⁴, Kepler cherchait une explication de la forme hexagonale des flocons, il ne réfère même pas aux atomes-polyèdres du *Timée*. Une raison n'est pas difficile à deviner: depuis l'Antiquité, l'atomisme s'associe à l'athéisme. Kepler préfère donc interpréter le *Timée* d'une manière non-littérale pour l'atomisme comme pour le système planétaire. Quant à l'atomisme, les philosophes du dix-septième siècle seraient, à ce qu'il semble, d'accord avec Kepler. L'atomisme connut un grand essor à cette époque, mais personne, que je sache, n'avait témoigné d'intérêt pour les atomes polyédriques de Platon. Il est possible que ce phénomène s'explique, au moins partiellement, par des changements d'avis sur la nature et le nombre des «éléments» en chimie/alchimie. Peut-être devrait-on chercher la vraie descendance de la théorie de Platon dans la théorie de la matière de René Descartes (1596-1650), qui décrit la matière comme un assemblage de particules rigides de formes différentes. Mais chez Descartes les formes des quasi-atomes ne sont pas toutes des figures simples et le contexte est celui d'une physique d'inspiration fortement aristotélicienne.

Il n'y avait pas un système de physique «platonicien» qu'on pourrait opposer à la physique des écoles. C'est seulement en la science de l'optique qu'on trouve une tradition qui se veut platonisante, mais qu'on caractériserait plutôt de néoplatonicienne puisqu'elle semble dériver de l'oeuvre de Plotin (v. 204-270). Cette tradition est celle de l'émanation de *species*, une théorie qui prend la lumière pour l'élément maître de l'Univers et l'expression visible de la nature du Createur Géomètre. On peut trouver dans l'oeuvre optique de Kepler quelques tournures qui l'associent avec cette tradition, dite «la métaphysique de la lumière»⁴⁵. Mais il ne s'y réfère pas explicitement dans ses ouvrages optiques. Là il me semble qu'il s'agit plutôt du «réalisme» de Kepler, auquel on a déjà fait allusion.

La chose est si bien convenue, entre philosophes, qu'on a tendance à oublier que la partie de la *perspectiva* (la science complète de la vue) qu'on appelle «l'optique géométrique» n'est en réalité qu'un modèle mathématique. Rayon égale ligne droite et l'on substitue la droite au rayon, sans arrière-pensée. Cela

43. *Harmonice mundi*, 1619, lib. II, p. 58-60, KGW 6, p. 80-82.

44. Réimpression KGW 4, traduction française, *Johannes Kepler. L'étrenne ou la neige sexangulaire*. tr. R. Halleux. Paris. 1975.

45. Voir D.C. Lindberg, «The Genesis of Kepler's Theory of Light: Light Metaphysics from Plotinus to Kepler», *Osiris* (2ème série) 2 (1986) 5-42.

évitait aux émules de l'*Optique* d'Euclide d'avoir à se troubler sur la question de décider si la vue consistait en l'émission de rayons visuels ou en réception de lumière. La question semblait, paraît-il, impossible à résoudre par la voie des mathématiques. Mais, en effet, ce fut précisément par voie de mathématiques que Kepler arriva à la solution, publiée dans ses *Ad Vitellionem paralipomena quibus astronomiae pars optica traditur* (Francfort, 1604)⁴⁶. La raison principale qui explique cette réussite est la fusion complète que Kepler opérait entre modèle mathématique et réalité physique: si loin que la lumière puisse pénétrer, la géométrie l'accompagne. Elles sont stoppées toutes deux par la paroi opaque de la rétine. Donc la rétine doit être la partie sensitive de l'oeil et l'oeil fonctionne par la réception de lumière extérieure.

Dans cet argument — que j'ai retracé en détail ailleurs⁴⁷ — il est impossible de démêler la partie du Platonisme de celle du réalisme. En Platonicien, Kepler croit que les vérités mathématiques ont priorité dans les sciences. Dans un cas douteux on est donc voué à prendre la géométrie pour guide⁴⁸. Le cas échéant, elle vous conduit au résultat que la lumière peint sur la rétine une image renversée du monde extérieur. Kepler a eu des devanciers dans cette découverte, mais ils ont tous répugné à l'accepter⁴⁹. Mais, en réalité, Kepler croit que l'optique géométrique décrit la vérité physique de la voie suivie par la lumière — comme l'orbite qu'il est en train de calculer pour la planète Mars décrira la vraie trajectoire de Mars autour du Soleil. La géométrie n'est pas seulement un guide sûr, elle est un guide tyrannique, puisqu'elle s'unit à la physique. Donc Kepler accepte l'image renversée, et refoule à d'autres le problème d'expliquer pourquoi nous voyons le monde sens dessus dessous⁵⁰.

La formulation que je viens de présenter commence avec le Platonisme. Il est pourtant clair qu'on pourrait commencer avec le réalisme. Il n'y a pas de logique qui semble capable de donner priorité à l'une de ces deux constellations d'idées philosophiques plutôt qu'à l'autre. L'analyse historique se révèle également incompétente. Le réalisme, dans le sens dans lequel on emploie le mot ici, est une invention de notre temps. On a tout lieu de croire que Kepler ne s'est jamais posé les questions auxquelles on veut le faire répondre ici. Dès qu'on connaît sa pensée, c'est à dire à partir de la période de genèse du *Mysterium cosmographicum*, on le voit et platonicien et réaliste. En principe, les deux philosophies de la science sont distinctes. Mais le cas de Kepler, qui est

46. Réimpression KGW 2, traduction française, par C. Chevalley, *Les fondements de l'optique moderne: Paralipomènes à Vitellion (1604)*, Paris, 1980.

47. J.V. Field, «Two mathematical inventions in Kepler's *Ad Vitellionem paralipomena*», *Studies in History and Philosophy of Science*, 17 (1986) 249-268.

48. Pour une décision contraire, l'utilisation de la science de la vue, et notamment la structure supposée de l'oeil, pour prouver un théorème d'optique géométrique, voir J.V. Field, «Piero della Francesca's treatment of edge distortion», *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes*, 49 (1986) 66-90 et planche 21.

49. Voir l'article cité dans la note 47.

50. Le défi est accepté par exemple par Descartes, dans son *Optique*, Leiden, 1637.

à bon droit reconnu comme un des plus éminents héros de la Révolution Scientifique, suggère —à ce qu'il me semble, en historien de science— qu'on pourrait se demander si le réalisme, qui a joué un rôle tellement important dans la Révolution Scientifique des seizième et dix-septième siècles, ne serait peut-être qu'une version locale (d'époque et de géographie) de ce qu'on reconnaîtrait ailleurs pour une variante de Platonisme. La parole est à vous, mesdames et messieurs historiens de la philosophie.