

Direction des bibliothèques

AVIS

Ce document a été numérisé par la Division de la gestion des documents et des archives de l'Université de Montréal.

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

This document was digitized by the Records Management & Archives Division of Université de Montréal.

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal

**Épistémologie du concept d'harmonie dans les recherches scientifiques de
Kepler**

par
Céline Riverin

Département de philosophie
Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de maîtrise
en philosophie
option recherche

Août, 2007

© Céline Riverin, 2007



Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

**Épistémologie du concept d'harmonie dans les recherches scientifiques de
Kepler**

présenté par :
Céline Riverin

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

.....
président-rapporteur

.....
directeur de recherche

.....
membre du jury

Résumé

Ce mémoire propose une étude épistémologique de la notion d'harmonie telle qu'on la retrouve dans les écrits scientifiques du mathématicien et astronome Johannes Kepler (1571-1630). L'objectif principal est de comprendre la conception harmonique du monde en tant que justification *a priori* des modèles théoriques et d'en éclairer le rôle au cœur du processus même de génération d'hypothèses explicatives. Cette étude se penche d'abord sur les fondements mathématiques et philosophiques de la théorie musicale chez Kepler, puis sur son projet cosmographique, afin d'avoir les outils pour mieux comprendre l'application de la notion d'harmonie aux mouvements célestes. L'harmonie est ensuite abordée selon la théorie de la connaissance sous-jacente aux recherches scientifiques de Kepler. Enfin, le rôle de l'harmonie au cœur de la dynamique entre théorie et données empiriques est examiné via la notion d'abduction, qui fournit des outils prometteurs pour interpréter la genèse rationnelle et évaluer la vérification empirique des hypothèses képlériennes.

Mots clefs :

Philosophie; épistémologie; astronomie; harmonie; abduction; Kepler

Abstract

In this master's thesis, an epistemological study of the notion of harmony, as found in scientific papers written by mathematician and astronomer Johannes Kepler (1571-1630), is presented. The main objective is to understand the harmonic conception of the world as an *a priori* justification of theoretical models and clarify its role at the very heart of the generative process for explanatory hypotheses. This study first considers mathematical and philosophical foundations of Kepler's musical theory, secondly his cosmographic project, following which tools are then derived to better understand the application of harmony to celestial movements. Harmony is then discussed in relation with the theory of knowledge as transpiring in Kepler's scientific research. Finally, the role of harmony in the dynamics between theory and empirical data is examined through the notion of abduction, which provides promising tools to interpret the rational genesis and evaluate empirical testing of Kepler's hypotheses.

Keywords:

Philosophy; epistemology; astronomy; harmony; abduction; Kepler

Table des matières

Résumé	iii
Abstract.....	iv
Tables des matières	v
Liste des figures	vii
Remerciements.....	ix
Introduction.....	1
Chapitre I	
<i>Musica humana</i> : fondements mathématiques et philosophiques.....	6
I.1. Le problème de la consonance.....	7
I.2. La critique des systèmes pythagoricien, ptoléméen et zarlinien	10
I.3. L'innovation de Kepler : de l'arithmétique à la géométrie	13
I.4. La démonstration des figures harmoniques	16
I.5. Les proportions harmoniques appliquées au domaine musical	21
Chapitre II	
Le projet d'une cosmographie copernicienne.....	25
II.1. L'analogie de la sphère trinitaire et l'héliocentrisme	27
II.2. Cosmographie vs astronomie	31
II.3. L'ordre du monde comme reflet du projet architectonique divin.....	33
II.4. Les réalités mathématiques comme archétypes : les cinq polyèdres réguliers	36
II.5. Le modèle du <i>Mysterium Cosmographicum</i> mis à l'épreuve par les données expérimentales.....	40

Chapitre III

<i>Musica mundana</i> : vers une compréhension harmonique du monde.....	44
III.1. <i>Musica humana</i> et <i>musica mundana</i>	45
III.2. La recherche des ratios harmoniques.....	47
III.3. Le chœur des planètes.....	51
III.4. La découverte de la troisième loi.....	53
III.5. Cosmos géométrique vs cosmos harmonique.....	56

Chapitre IV

L'harmonie comme activité de l'âme.....	59
IV.1. Les idées archétypales innées	60
IV.2. Harmonies sensibles et intelligibles	62
IV.3. Le processus de reconnaissance des harmonies intelligibles.....	64
IV.4. Théologie et cosmographie.....	65
IV.5. L'assurance d'une connaissance vraie des régularités mathématiques	67

Chapitre V

Abduction, harmonie et rationalité scientifique.....	71
V.1. Le statut des <i>explanantia</i>	72
V.2. Abduction et voie anagogique.....	76
V.3. Variantes de l'abduction peircienne	78
V.4. L'harmonie comme réseau conceptuel	83
V.5. Le pouvoir des <i>explananda</i>	84

Conclusion	87
------------------	----

Bibliographie	91
---------------------	----

Liste des figures

Figure 1 : Les consonances et leurs proportions.....	9
Figure 2 : Les cinq polyèdres réguliers	36
Figure 3 : Planche III du <i>Mysterium Cosmographicum</i>	37
Figure 4 : Table des vitesses angulaires.....	49
Figure 5 : Les motifs musicaux des planètes.....	52

À mes parents.

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier chaleureusement mon directeur de recherche, le professeur Yvon Gauthier, pour sa disponibilité, son ouverture et ses judicieux commentaires tout au long de mes études de maîtrise en philosophie.

Je remercie également les professeurs du Département de philosophie qui ont dirigé les séminaires enrichissants auxquels j'ai eu la chance de participer, ainsi que mes collègues étudiants qui ont su les rendre vivants. Non seulement ma réflexion philosophique s'en est trouvée fortement stimulée, mais ces belles rencontres ont ensoleillé tous ces moments passés au *Stone Castle*. Merci aussi à Jocelyne Doyon, responsable des dossiers étudiants, pour avoir fait preuve de tant d'efficacité et d'humanité.

Sur une touche plus personnelle, je voudrais exprimer ma vive reconnaissance envers ma famille, qui m'a offert un soutien inestimable pendant la réalisation de ce projet de maîtrise.

Cette recherche a bénéficié du précieux soutien financier du Fonds québécois de la recherche sur la société et la culture (FQRSC).

Introduction

Johannes Kepler (1571-1630) fut un astronome original et l'un des principaux artisans de la révolution scientifique inaugurant la science moderne. Il est aujourd'hui un auteur particulièrement éclairant sur le plan épistémologique, puisque ses écrits contiennent précisément toutes les étapes de sa démarche et fournissent une voie privilégiée pour accéder à la méthodologie d'un des plus grands scientifiques de cette époque transitoire. La distinction, fréquente en philosophie des sciences, entre le contexte de *découverte* (volet descriptif) et le contexte de *justification* (volet normatif)¹ semble ne pas s'appliquer dans le cas de Kepler, du moins si on se fie à la lettre de son texte. Cela le distingue par exemple de son contemporain Galilée (1564-1642), qui a exposé ses idées dans des dialogues où chacun des trois personnages participe au débat en soutenant un point de vue particulier – il y en a trois : celui de l'autorité aristotélicienne, celui de Galilée et celui du sens commun² – de façon à ce que le lecteur, s'identifiant au troisième personnage, soit convaincu de la force du système galiléen. Dans ses ouvrages, Kepler utilise plutôt une rhétorique où, s'adressant directement au lecteur à la deuxième personne du singulier, il se montre sous l'angle d'un scientifique honnête et tenace. Il expose de façon détaillée toutes les étapes de ses recherches : ses intuitions, ses essais, sa méthode, ses réussites, mais aussi ses erreurs et ses déceptions. Cette façon d'inclure le lecteur dans son aventure scientifique a pour objectif de faire comprendre à ce dernier l'ampleur des problématiques et surtout la pertinence des réponses képlériennes :

Cette évocation de mes diverses tentatives peut sans doute balloter çà et là ton assentiment, Lecteur, avec inquiétude comme sur une houle marine, mais c'est afin que, fatigué par les vagues, tu te rendes d'autant plus volontiers aux explications proposées dans le présent petit ouvrage, comme à un port sûr.³

Il s'agit donc, pour Kepler, de convaincre le lecteur (contexte de justification) en lui montrant ses étapes de recherche (contexte de découverte). Le fait qu'il n'ait pas jugé

¹ Cette distinction a été défendue notamment par Hans Reichenbach. Cf. H. Reichenbach, *Experience and Prediction; an Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*. Chicago : The University of Chicago Press, 1938, 410 p.

² Cf. Galilée, *Discours et démonstrations mathématiques concernant deux sciences nouvelles*, trad. M. Clavelin. Paris : A. Colin, 1970, p. 247.

³ Kepler, *Le secret du monde*, trad. A. Segonds. Paris : Gallimard, 1984, Ancienne préface, p. 32.

nécessaire de reconstruire rationnellement ses découvertes scientifiques pour mieux les démontrer au public est un indice en faveur de la thèse selon laquelle la distinction popularisée par Reichenbach ne s'applique pas aux recherches scientifiques de Kepler⁴. Par conséquent, nous pouvons lire ses textes en prenant pour acquis qu'ils sont sensiblement le reflet de sa démarche rationnelle, et non pas des œuvres visant uniquement à défendre un système donné, dont on passerait sous silence le processus de découverte puisqu'il sortirait du cadre justificatif.

Une lecture attentive des textes scientifiques de Kepler nous apprend que l'héritage qu'il nous a laissé dépasse largement le cadre des trois lois célèbres du mouvement céleste que les scientifiques ont retenues – les fameuses « lois de Kepler » – et qui en ont fait l'un des fondateurs de l'astronomie moderne. Son premier ouvrage, le *Mysterium Cosmographicum*⁵, contient déjà un large éventail de présupposés métaphysiques, philosophiques et théologiques, lesquels le guideront tout au long de ses recherches en astronomie. Ces fondements, comme nous le verrons, s'inscrivent dans le projet de Kepler en ce qui concerne le monde sidéral : rechercher les causes véritables de la disposition et du mouvement des planètes, de sorte qu'elles puissent non seulement rendre compte des observations, mais aussi expliquer pourquoi il en va ainsi et pas autrement. Pour ce faire, l'élaboration d'un système justifié *a priori* s'avère indispensable pour que les éléments observés dans le ciel puissent devenir des conséquences nécessaires du modèle.

C'est dans son œuvre intitulée *Harmonice Mundi*⁶ que Kepler considère avoir obtenu un tel système dans sa forme la plus achevée⁷. La clef de sa réussite réside dans l'application des notions tirées de la théorie harmonique aux mouvements célestes. Certes, l'idée d'un monde harmonieux n'est pas en soi une innovation :

Remontant à Pythagore, reprise par Platon comme par Aristote, longuement traitée par Boèce, s'intégrant dans les idées de la Renaissance depuis Marsile Ficin, faisant

⁴ Nous sommes ici en accord avec A. Lugg : « [...] in Kepler's case, discovery, pursuit, and justification all coincided. » (A. Lugg, "The Process of Discovery", *Philosophy of Science*, Vol. 52 (1985), No. 4, p. 218.

⁵ Tübingen, 1596; seconde éd., Frankfurt, 1621.

⁶ Linz, 1619.

⁷ « *Certainly for Kepler this book was his mind's favorite child.* » M. Caspar, *Kepler*. Trad. C. D. Hellman, New York : Abelard Schuman, 1959, p. 288. Notons que cet ouvrage constitue, encore aujourd'hui, la biographie de référence pour ceux qui étudient Kepler.

l'objet de méditations poétiques et de représentations allégoriques, l'harmonie du monde est un des thèmes les plus constants dans l'éloge de l'œuvre du monde.⁸

Que ce soit chez les pythagoriciens, dans le *Timée* de Platon⁹ ou dans le *Traité du ciel* d'Aristote¹⁰, l'idée d'une harmonie cosmique semble avoir été un principe important pour discuter de l'ordre du monde. Au Moyen Âge, l'harmonie du monde exprime la beauté divine et rend grâce à son Créateur :

*The music of the spheres was a very popular concept in the Middle Ages and remained so in Kepler's time. According to this concept, God has arranged the planets in a pleasingly harmonious pattern so that the heavens could sing his praises. Obviously, this belief was based on, or at least was strengthened by, the words of the Psalmist : "The heavens proclaim the glory of God."*¹¹

Enfin, certains penseurs de la Renaissance conçoivent l'harmonie comme une partie intégrante de la nature, pouvant régir tant les phénomènes célestes que les phénomènes terrestres¹².

Toutefois, Kepler se distingue de la tradition par son développement très poussé de cette notion d'harmonie. Comme le note Max Caspar :

*At this time, toward the end of the Renaissance, moderate arrangement and harmony were still chiefly in operation as determinant characteristics of the beautiful. Now he [sc. Kepler] did not want to stop at general words and views; he wanted to be serious about the complete carrying out of this principle, pointing out its validity and objective realization in all details.*¹³

Kepler se fonde sur cette notion d'harmonie et en développe systématiquement les multiples aspects pour en tirer un édifice conceptuel solidement argumenté pouvant expliquer les phénomènes astronomiques (comme les positions ou les vitesses des planètes) en tant que *musica mundana*. En cours de route, il innove également en proposant un renouvellement des fondements de la théorie musicale (*musica humana*). Une telle

⁸ F. Halryn, *La structure poétique du monde : Copernic, Kepler*. Paris : Seuil, 1987, p. 248.

⁹ Cf. Platon, *Timée*, 36b et suiv.

¹⁰ Cf. Aristote, *Du ciel*, 290b.

¹¹ J. Kozhamthadam, *The Discovery of Kepler's Laws : The Interaction of Science, Philosophy, and Religion*. Notre Dame et Londres : University of Notre Dame Press, 1994, p. 75.

¹² Pour une analyse de la notion d'harmonie à la Renaissance, voir D. Koenigsberger, *Renaissance Man and Creative Thinking : A History of Concepts of Harmony. 1400-1700*. Atlantic Highlands : Humanities Press, 1979, 282 p.

¹³ M. Caspar, *Kepler*, p. 268.

entreprise scientifique aboutit en fin de compte à une des plus belles trouvailles de Kepler : la troisième loi, celle qui énonce la relation mathématique entre les périodes de révolution des planètes et leurs distances moyennes au Soleil. Cela illustre à quel point la notion d'harmonie a pu se montrer féconde dans l'entreprise scientifique de Kepler.

Ce mémoire propose une étude épistémologique de cette notion d'harmonie, telle que développée par Kepler dans ses écrits scientifiques. L'œuvre majeure à l'étude sera l'*Harmonice Mundi*, qui expose l'essentiel de ses recherches harmoniques. Pour comprendre les questions initiales auxquelles la notion d'harmonie apporte une piste de solution, nous puiserons fréquemment dans le *Mysterium Cosmographicum*, que Kepler réédite vingt-cinq ans plus tard en le considérant comme une introduction à son *Harmonice Mundi*. À l'occasion, lorsque les propos pourront nous éclairer quant au statut des hypothèses astronomiques, nous ferons aussi référence à d'autres textes scientifiques comme l'*Astronomia Nova*, qui contient les deux premières des trois lois de Kepler. Enfin, quelques extraits de la correspondance personnelle de Kepler seront utilisés lorsqu'ils mettront en évidence des convictions théologiques ou métaphysiques ayant joué un rôle important dans ses recherches en astronomie.

L'objectif principal de notre recherche est double. Tout d'abord, nous voudrions comprendre et évaluer comment la conception harmonique du monde permet à Kepler de justifier *a priori* les éléments du système qui en découle. En ce sens, une bonne partie de notre recherche consiste à analyser le système exposé dans l'*Harmonice Mundi* et à en souligner les fondements mathématiques, philosophiques et théologiques. Mais ce faisant – et c'est là notre second objectif – ce travail de recherche s'intéresse également à la question de la dynamique propre à l'itinéraire rationnel de Kepler. Pour ce faire, nous aimerions éclairer le rôle de l'harmonie au cœur du processus même de génération d'hypothèses explicatives, selon la perspective d'une logique de la découverte. En fin de compte, ces deux objectifs peuvent se regrouper en un seul, celui de comprendre le rôle de l'harmonie au sein de la dialectique entre le système théorique (*explanans*) et les phénomènes célestes dont il doit rendre compte (*explananda*).

Nous débuterons notre enquête par une analyse de la position képlérienne concernant la théorie musicale, en mettant en lumière le caractère novateur de son approche géométrique. À cette étape, l'harmonie concernera uniquement le monde sonore (chant,

instruments de musique). Notre premier chapitre s'en tiendra donc aux fondements de la *musica humana*, dont les principaux éléments sont exposés dans le troisième livre de l'*Harmonice Mundi*.

Avant de passer à l'harmonie cosmique, nous devons d'abord éclairer les questions initiales de Kepler qui ont guidé ses recherches en astronomie. Notre deuxième chapitre s'intéressera donc au projet cosmographique de Kepler, tel qu'exposé dans son premier ouvrage, le *Mysterium Cosmographicum*. Nous aborderons aussi le système géométrique, fondé sur les polyèdres réguliers, qui y est proposé pour rendre compte de l'ordre du monde. Ce sera également l'occasion de mettre en lumière les principaux présupposés métaphysiques qui sous-tendent ce système.

Nous serons alors en mesure de mieux comprendre, dans notre troisième chapitre, comment Kepler applique sa théorie de l'harmonie musicale au monde céleste pour répondre aux questions initiales de son projet cosmographique. Cette étude de la *musica mundana* telle qu'exposée au cinquième livre de l'*Harmonice Mundi* abordera également la troisième loi de Kepler, qui se trouve énoncée parmi les recherches sur l'harmonie cosmique.

Dans notre quatrième chapitre, la notion d'harmonie sera abordée selon la théorie de la connaissance sous-jacente aux recherches scientifiques de Kepler. Nous verrons que l'astronome envisage l'ordre harmonique du monde comme étant intimement relié à sa connaissance par l'âme humaine. Nous nous intéresserons donc à l'harmonie en tant qu'activité de l'âme qui reconnaît, dans le monde, les proportions archétypales mathématiques.

Enfin, notre cinquième chapitre s'intéressera plus directement au rôle de l'harmonie dans la dynamique rationnelle de Kepler. Nous nous pencherons alors sur le statut particulier du système harmonique képlérien par rapport aux vérifications empiriques. Pour ce faire, nous aurons recours à la notion d'abduction, qui fournit des outils prometteurs pour interpréter la genèse rationnelle et évaluer la vérification empirique des hypothèses képlériennes.

Chapitre I

Musica humana : fondements mathématiques et philosophiques

L'essentiel de la théorie musicale proposée par Kepler est exposé dans le troisième livre de l'*Harmonice Mundi*¹⁴, intitulé « De l'origine des proportions harmoniques et de la nature et des différences des choses relatives au Chant ». Dans ces pages, Kepler revient sur les positions des anciens (Pythagore, Platon, Ptolémée) et de ses contemporains (comme Zarlino ou Vincenzo Galilei) au sujet de la théorie de la musique. Bien qu'il reprenne certains éléments traditionnels, c'est plutôt par le biais d'une critique de ces derniers que l'astronome pose les assises de sa propre explication causale des harmonies.

En préface de ce troisième livre, Kepler nous avertit que la « nature des choses » aurait plutôt prescrit de commencer d'abord par les harmonies « les plus élevées en dignité »¹⁵, soit celles du mouvement planétaire, pour ensuite s'intéresser à celles qui sont exprimées par les aspects astrologiques observés depuis la Terre, à l'œuvre au sein de la Nature sublunaire, et enfin terminer par la musique humaine, où « la Pensée humaine imite le Créateur par un instinct naturel »¹⁶. Mais comment faire comprendre au lecteur les proportions célestes sans passer d'abord par les harmonies concrètes, « les plus universellement connues »¹⁷, accessibles aux oreilles de tous? Nous aurons l'occasion de revenir en profondeur sur cette correspondance entre harmonies musicales (sonores) et harmonies du mouvement céleste, notamment dans le troisième chapitre du présent mémoire; pour l'instant, il est suffisant de noter que, pour Kepler, les intervalles harmoniques se retrouvent aussi bien dans l'art musical que dans la trajectoire des planètes. Il convient alors de les étudier en premier lieu lorsqu'ils sont « non abstraits, mais concrets avec le son »¹⁸, afin d'acquérir les outils pour ensuite les comprendre lorsqu'ils

¹⁴ Linz, 1619. L'édition latine employée est celle de l'*Opera Omnia*. Vols. 1-8 éd. par C. Frisch. Frankfurt & Erlangae, Heyder und Zimmer, 1858-1870, V, pp. 75-334. Pour les références francophones, nous employons, comme traduction de base, celle de Jean Peyroux. *L'harmonie du monde*. Paris : A. Blanchard, 1977, 425 p.

¹⁵ G. Simon, *Kepler astronome astrologue*. Paris : Gallimard, p. 165.

¹⁶ « mens humana [...] instinctu naturali Creatorem imitetur ». *Opera Omnia*, V, p. 128; *L'harmonie du monde*, III, p. 84.

¹⁷ G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 165.

¹⁸ « non abstractis, sed cum sono concretis ». *Opera Omnia*, V, p. 134; *L'harmonie du monde*, III, p. 93.

« produisent leur grâce, non seulement dans les sons et dans le chant humain, mais encore dans les autres choses manquant de son »¹⁹.

L'objectif de ce premier chapitre est de présenter la théorie musicale képlérienne eu égard à ses fondements, non seulement mathématiques, mais philosophiques. Nous débiterons (1) en mettant au jour la controverse dans laquelle baignait la théorie musicale à l'époque où Kepler écrivit l'*Harmonice Mundi*, avant de (2) cibler ses critiques de Pythagore, Ptolémée et Zarlino pour mieux (3) comprendre le caractère novateur de sa solution. Nous présenterons ensuite cette dernière en étudiant (4) les fondements géométriques élaborés dans les deux premiers livres de l'*Harmonice Mundi* ainsi que (5) leur application au domaine musical, telle qu'élaborée dans le troisième livre du même ouvrage.

I.1. Le problème de la consonance

Pourquoi certains intervalles musicaux sont-ils universellement reconnus comme étant agréables à l'oreille (consonances), tandis que d'autres provoquent plutôt un désagrément (dissonances)? Kepler aborde cette question dès son premier ouvrage, quoique de façon très sommaire, dans le douzième chapitre du *Mysterium Cosmographicum*²⁰. L'astronome cherche alors à mettre au jour une correspondance bi-univoque entre les distances angulaires parfaites (aspects) des planètes le long du trajet zodiacal et les accords engendrés par les sons consonants d'une corde quelconque que l'on ferait vibrer : cette correspondance se ramène ultimement à l'ensemble des cinq solides platoniciens, pierre de touche de son système copernicien²¹. À l'époque de la rédaction de ce chapitre, l'objectif de Kepler n'est pas de trouver une explication causale des harmonies musicales, ni d'affirmer que le zodiaque serait lui-même musical; il s'agit plutôt de convaincre le lecteur qu'un système fondé sur les solides platoniciens est valable pour rendre compte de l'ordre du

¹⁹ « non tantum in sonis inque cantu humano, sed etiam in aliis rebus sono carentibus suam pariunt gratiam.» *Idem*.

²⁰ Tübingen, 1596; seconde éd., Frankfurt, 1621. Les références en latin sont tirées de *Opera Omnia*, I, p. 1-214. Pour la traduction française, nous employons celle de Alain Segonds, publiée sous le titre *Le secret du monde*. Paris : Gallimard, 1984, 294 p.

²¹ Nous reviendrons sur ce système dans notre deuxième chapitre, entièrement consacré au projet cosmographique développé dans le *Mysterium Cosmographicum*.

monde, puisque l'on pourrait en voir également la trace dans le domaine musical, lequel demeure ici pour lui uniquement un « exemple éloigné »²² des recherches principales, cosmographiques. Quant au lien établi entre harmonies musicales et solides platoniciens, Kepler reconnaît qu'il n'est pas suffisamment démontré: « Mais étant donné que nous ignorons les causes de cette parenté [*sc.* entre les solides platoniciens et les accords], il est difficile de faire correspondre un accord à chaque corps »²³. La seconde édition²⁴ du *Mysterium Cosmographicum*, vingt-cinq ans plus tard, pallie cette lacune : les nouvelles annotations du chapitre XII renvoient fréquemment à son *Harmonice Mundi*, qui selon Kepler apporte enfin les vraies explications causales des consonances, des aspects et de leur relation de parenté. Cependant, il semble que quelques années seulement après la première édition du *Mysterium Cosmographicum*, Kepler approfondissait ses recherches sur l'harmonie musicale et qu'il s'engageait déjà vers une voie où cette analyse musicale prenait davantage d'importance pour comprendre les régularités observées dans les aspects astrologiques. Comme le remarque J.V. Field:

*[...] in a letter to Herwart von Hohenburg, written in May 1599, Kepler rejects the published explanation of Aspects and suggests an alternative which does not refer to the Platonic solids, but instead derives Aspects from musical ratios among the arcs into which the circle of the Zodiac is divided by bodies that are at Aspect to one another.*²⁵

Autrement dit, la compréhension des *ratios* (raisons, proportions) qui provoquent des consonances perd son simple statut d'exemple pour devenir une étape heuristique²⁶ nécessaire dans la discussion des aspects astrologiques.

En ce qui concerne l'étude de ces ratios, à l'époque de Kepler elle est sujette à de nombreuses controverses²⁷. L'héritage pythagoricien, toujours en vigueur à l'époque

²² Kepler, *Le secret du monde*, XII, p. 101.

²³ *Ibid.*, XII, p. 102.

²⁴ Bien des thèses originales auront été abandonnées par l'astronome, qui entre-temps aura formulé ses lois dynamiques du mouvement céleste. Toutefois, une lecture attentive de l'ouvrage nous montre également à quel point Kepler tenait à y rester fidèle, du moins quant aux *a priori*. Sa décision de republier l'ouvrage, malgré son apparente contradiction avec les lois proposées dans l'*Astronomia Nova* par exemple, est déjà un indice de l'attachement pour son modèle original, fondé sur les solides platoniciens. Nous aborderons le sujet plus en détail dans notre deuxième chapitre.

²⁵ J.V. Field, *Kepler's Geometrical Cosmology*. Chicago : University of Chicago Press, 1988, pp. 114-115.

²⁶ Nous reviendrons sur les liens heuristique et ontologique entre *musica humana* et *musica mundana* dans notre troisième chapitre, section 1.

précédant l'âge moderne, ramenait toutes les consonances à des rapports numériques bien précis, qui une fois traduits en longueurs sur le monocorde permettaient d'obtenir les quatre consonances reconnues : unisson, quarte, quinte et octave. Or avec le développement du chant grégorien et de la polyphonie, au Moyen Âge et à la Renaissance, des intervalles comme la tierce ou la sixte aspiraient à être reconnus également comme consonances, ce que ne permettait pas le système pythagoricien (figure 1).

	<i>Consonances pythagoriciennes</i>				<i>Nouvelles consonances (XVI^{ème} s.)</i>			
<i>Proportion</i>	1 : 1	1 : 2	3 : 4	2 : 3	4 : 5	5 : 6	3 : 5	5 : 8
<i>Intervalle</i>	unisson	octave	quarte	quinte	tierce majeure	tierce mineure	sixte majeure	sixte mineure

Figure 1. Les consonances et leurs proportions

De plus, la nécessité de tempérer les instruments à sons fixes (par exemple, l'orgue) en atténuant certains intervalles purs pour satisfaire l'oreille fait naître de nombreux doutes au sujet d'un traitement purement arithmétique des consonances. Nous pouvons bel et bien parler d'une *crise de l'expression arithmétique* :

S'il est ainsi possible de parler d'une crise de l'expression arithmétique, c'est d'abord parce que les gammes complètes produites sur la base des seules spéculations arithmétiques ne satisfont pas aux exigences musicales concrètes. [...] il apparaît que la musique relève de deux instances différentes – la raison, puisque la gamme est d'abord produite selon des proportions numériques, et la sensibilité, car cette gamme doit satisfaire aux exigences d'une musique désormais pourvue d'un accompagnement.²⁸

C'est donc dire qu'un décalage s'impose progressivement entre la musique telle qu'elle est vécue par l'oreille (musique pratique) et la théorie mathématique qui la sous-tend (musique théorique). Pour sauvegarder une explication arithmétique des consonances, il devenait impératif de rendre compte de cette différence. Deux options étaient principalement

²⁷ Pour une description détaillée du débat, voir H.F. Cohen, *Quantifying Music : The Science of Music at the First Stage of the Scientific Revolution, 1580-1650*. Dordrecht : D. Reidel Publishing Company, 1984, 308 p. Voir aussi le premier chapitre de A. Charrak, *Musique et philosophie à l'âge classique*. Paris : Presses universitaires de France, 1998, 125 p.

²⁸ A. Charrak, *Musique et philosophie à l'âge classique*, p. 15.

envisageables : douter du jugement de l'oreille, ou alors proposer une théorie arithmétique renouvelée. Voyons maintenant comment Kepler a réagi face à ce problème et aux solutions proposées pour réconcilier musique théorique et musique pratique²⁹.

I.2. La critique des systèmes pythagoricien, ptoléméen et zarlinien

En préface du troisième livre de *l'Harmonice Mundi*, Kepler fait remonter la recherche causale des intervalles consonants jusqu'à Pythagore. En effet, au VI^{ème} siècle av. J.C., Pythagore et ses disciples avaient noté que les intervalles musicaux nous semblaient agréables ou non selon qu'ils respectaient ou non des régularités mathématiques, mesurées notamment au moyen du monocorde. Par exemple, en divisant la corde en deux parties de longueur égale (proportion ou ratio de 1:1), on obtient l'unisson; alors qu'en faisant vibrer d'abord une de ces deux parties égales, puis la corde entière (proportion 1:2), on produit une octave. Ces intervalles, auxquels il faut ajouter la quarte (3:4) et la quinte (2:3), forment le groupe des consonances dites pythagoriciennes, qui étaient les seules reconnues comme agréables à l'oreille par les Grecs.

Ce système d'explication des harmonies comme proportions trouve son principe dans les nombres, plus précisément dans les quatre premiers entiers, à partir desquels tous les autres intervalles peuvent être obtenus soit en posant des ratios entre ces entiers, ou bien en les multipliant entre eux, ce qui revient à additionner les intervalles sur le monocorde. Cette dernière propriété mathématique se vérifie au niveau même des consonances pythagoriciennes, en ce que l'octave (1/2) par exemple, qui peut s'obtenir sur le monocorde par la succession d'une quarte et d'une quinte, est bien le produit de leurs ratios ($3/4 \times 2/3 = 6/12 = 1/2$).

Kepler est d'accord avec les pythagoriciens à l'effet que l'explication des consonances doit tenir compte des proportions mathématiques impliquées. Cependant, il critique vivement la confiance aveugle et absolue qui a été mise dans ce système

²⁹ La distinction entre *musica theorica* ou *speculativa* et *musica practica* ou *activa* daterait de l'Antiquité tardive (Aristides Quintilianus). Pour l'étude de cette division, voir M. Dickreiter, *Der Musiktheoretiker Johannes Kepler*. Berne : A. Francke AG Verlag Bern, 1973, pp. 49-61. Une traduction anglaise de ce passage se trouve dans Paolo Gozza (ed.), *Number to sound : The Musical Way to the Scientific Revolution*. Boston : Kluwer Academic Publishers, 2000, pp. 173-188.

arithmétique *a priori* (musique théorique), au détriment de ce que la musique pratique nous enseigne :

En effet, les Pythagoriciens s'adonnèrent à cette forme de philosophie par les Nombres de sorte qu'ils ne se tinrent plus dorénavant au jugement des oreilles < *ut jam ne aurium quidem iudicio starent* >, des indications desquelles pourtant ils étaient parvenus au début à cette philosophie; mais il déterminèrent à partir de leurs nombres seuls ce qui serait bien Proportionné, mal Proportionné, ce qui [serait] consonant, dissonant, faisant violence à l'instinct naturel de l'ouïe < *vim facientes instinctui naturali auditus* >. Et cette science de l'Harmonie a subsisté par [ces] tyrans [...].³⁰

Cette critique était déjà exprimée, bien qu'implicitement, dans le chapitre XII du *Mysterium Cosmographicum* : « D'ailleurs c'est l'oreille qui indique combien il se rencontre de sons ainsi définis. »³¹ Nous pouvons assurément voir là l'expression de la priorité qu'il accorde aux évidences empiriques³² : dans ce cas-ci, la donnée serait le son entendu, et l'instrument de mesure, l'oreille (qui se trouve charmée ou non charmée). Mais ce témoignage de l'oreille n'a pour but que de nous introduire aux causes mathématiques des harmonies; et ultimement, les harmonies sont indépendantes du témoignage auditif³³.

Kepler utilise, entre autres, le même argument pour critiquer Ptolémée³⁴. Ce dernier a tout de même le mérite d'avoir, « le premier, il y a mille cinq cents ans, [soutenu] le sens de l'audition contre la Philosophie Pythagoricienne »³⁵ en reconnaissant d'autres intervalles consonants (comme le ton ou le ton mineur, ce dernier correspondant au demi-ton actuel) et en étudiant les proportions des tierces et des sixtes; mais il refusa, en dernier lieu, de reconnaître ces dernières comme des consonances, « ce qui est très abhorré par les oreilles

³⁰ *L'harmonie du monde*, III, p. 91.

³¹ *Le secret du monde*, XII, p. 101.

³² Voir, par exemple, D.P. Walker, "Kepler's Celestial Music", *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes*, Vol. XXX (1967), pp. 228-250. Cette forme d'empirisme sera encore plus évidente dans les recherches sur l'harmonie céleste. Nous reviendrons fréquemment sur l'importance des *explananda*, et leur statut sera abordé dans le cinquième chapitre de ce mémoire, consacré au raisonnement abductif.

³³ Notre quatrième chapitre se penchera notamment sur la question du siège des harmonies.

³⁴ L'appendice de l'*Harmonice Mundi* est consacrée entièrement à une critique de l'*Harmonica* de Ptolémée. Pour une discussion plus approfondie, voir B. Stephenson, "The Reconstruction of Ptolemy's Harmonics", septième chap. de l'ouvrage *The Music of the Heavens : Kepler's Harmonic Astronomy*. Princeton : Princeton University Press, 1994, pp. 98-117.

³⁵ *L'harmonie du monde*, III, p. 91.

de tous les hommes et par la pratique de chanter »³⁶. Une autre objection concerne le penchant pythagoricien de Ptolémée pour la « contemplation des nombres abstraits »³⁷; une théorie purement numérolgique (discrète) de la consonance n'est pas appropriée puisqu'elle doit expliquer des intervalles, lesquels relèvent de la quantité continue.

À l'époque de Kepler, il y a toutefois une théorie musicale qui inclut véritablement les tierces et les sixtes parmi les consonances: il s'agit du système élaboré par Gioseffo Zarlino (1517-1590). Ce dernier expose une théorie où l'on construit les intervalles non pas à partir des quatre mais plutôt des six premiers nombres entiers (théorie du *senario*). Le *senario* semble tout à fait indiqué pour être le principe des harmonies, puisqu'il est le premier des nombres parfaits, en ce qu'il est égal à la somme de ses facteurs ($6=1 \times 2 \times 3=1+2+3$)³⁸. Cette théorie a le mérite de pouvoir expliquer trois des quatre nouveaux intervalles (tierce majeure, tierce mineure et sixte majeure, correspondant respectivement aux ratios 4:5, 5:6 et 3:5). Quant à la proportion problématique de la sixte mineure (5:8), elle trouve sa place grâce à une distinction aristotélicienne : le 8 fait aussi partie du *senario*, mais uniquement de façon potentielle ($8=2 \times 4$) et non actuelle.

Kepler ne mentionne qu'une seule fois le nom de Zarlino dans son *Harmonice Mundi*. Nous pouvons toutefois remarquer que le système de Zarlino ressemble, pour l'essentiel, à celui des pythagoriciens : certains vont jusqu'à dire que l'unique changement concerne le nombre de consonances valides, tandis que le système philosophique sous-jacent demeure le même, si ce n'est que la tétrade est remplacée par le sénaire³⁹. Il est également très près de celui de Ptolémée. Et de fait, Kepler semble fréquemment parler plutôt du système de Zarlino que de celui de Ptolémée lorsqu'il cite ce dernier⁴⁰.

Dans la réédition du *Mysterium cosmographicum*, Kepler reconnaît que le *senario* semble bien gouverner le monde; mais il rompt avec la tradition en refusant de voir là une explication causale satisfaisante :

³⁶ *Idem.*

³⁷ *Idem.*

³⁸ Cf. Euclide, *Éléments*, VII, 22 : « *Perfectus numerus est, qui suis ipsius partibus est aequalis.* » Nous pouvons relever d'autres perfections du nombre 6 pour Zarlino : 6 planètes, 6 directions, 6 surfaces du cube, 6 jours de création, etc. Voir H. F. Cohen, *Quantifying Music*, pp. 5-6.

³⁹ Voir, par exemple, B. Van Wymeersch, "La musique comme reflet de l'harmonie du monde : L'exemple de Platon et de Zarlino", *Revue Philosophique de Louvain*, Vol. 97 (1999), no. 2, p. 306.

⁴⁰ Nous sommes ici en accord avec J.V. Field, *Geometrical Cosmology*, p. 117.

J'ai donc eu raison de répudier les qualités du sénaire / considéré en soi-même, pour ne pas les mettre au rang de cause du nombre six des cieux; j'ai donc eu raison de considérer que certaines causes évidentes devaient précéder, d'où résulterait spontanément le nombre six des cieux.⁴¹

Ainsi, pour Kepler, si le *senario* a un rôle à jouer dans le monde, ce n'est qu'en tant que cause intermédiaire, subordonnée à d'autres principes qui, eux, ne peuvent se ramener aux qualités propres du nombre 6. La critique de Kepler concerne encore une fois le fossé entre un rapport de nombres (discrets) et le caractère continu de l'objet d'étude, que ce soit l'espace dans lequel se meuvent les corps célestes ou la vibration d'une corde. Par conséquent, la recherche harmonique devra être effectuée à l'intérieur de la géométrie plutôt que de l'arithmétique.

I.3. L'innovation de Kepler : de l'arithmétique à la géométrie

Déjà dans son premier ouvrage, Kepler note l'insuccès d'une recherche purement arithmétique – et par le fait même, discrète – des régularités pouvant expliquer la disposition précise des orbites⁴². Il se tourne alors avec succès vers une explication géométrique. Kepler propose donc une approche pythagoricienne renouvelée : les mathématiques permettent de saisir l'ordre du monde, mais il faut bâtir un système (*explanans*) géométrique plutôt qu'arithmétique, en vertu de la continuité de l'espace dans lequel les phénomènes (*explananda*) ont lieu.

Tout comme dans le *Mysterium Cosmographicum*, les causes recherchées dans l'*Harmonice Mundi* le sont à l'intérieur de la géométrie, de façon à ce qu'elles fixent des limites claires aux consonances, tout en étant en accord avec la continuité de leur objet :

En effet, puisque les limites des intervalles Consonants sont des quantités continues qui les séparent des Dissonants, il faut également demander les causes parmi la famille

⁴¹ « Recte igitur repudiavi senarii ipsius per se considerati dotes, ne adsciscerem illas inter causas senarii coelorum : recte censui, oportuisse praecedere causas aliquas, evidentes, ex quibus deinde senarius iste coelorum ultro resultaret. » *Opera Omnia*, I, p. 111; *Le secret du monde*, ancienne préface, note 7, pp. 40-41.

⁴² Cf. *Le secret du monde*, préface, p.32.

des quantités continues, non parmi les nombres abstraits en tant que quantité discrète [...].⁴³

Kepler suit ici la tradition philosophique médiévale qui employait principalement l'analogie dans son étude de la musique. Gardons-nous toutefois de comprendre cette « analogie entre constructibilité et consonance »⁴⁴ comme un pur caprice de l'esprit ou une simple préférence psychologique. Pour Kepler, l'analogie, si elle est justifiée, a un rôle de premier plan dans sa démarche scientifique car elle permet de saisir « un ordre rationnel dans le chaos des apparences »⁴⁵, de comprendre l'ordre du monde et de « remonter de la créature à sa forme, et de sa forme à sa cause ultime »⁴⁶. Il y a donc une double fonction de l'analogie : l'une, heuristique, en ce qu'elle donne des pistes fécondes pour voir les régularités de la nature; l'autre, justificatrice, en ce qu'elle mène vers un principe sûr – dans ce cas, mathématique – permettant de rendre compte de ces régularités, difficiles à connaître autrement.

L'utilisation par Kepler de telles analogies dans le domaine de l'harmonie sera fortement critiquée par un théoricien de la musique de l'époque, Marin Mersenne (1588-1648) :

Je m'étonne comme Kepler a osé apporter la comparaison des figures avec les consonances, pour en tirer la raison de leur nombre & de leur bonté. [...] ce qui serait tolérable s'il se fut contenté de comparer lesdites figures aux consonances & aux dissonances par analogie, & par récréation.⁴⁷

Par la suite, avec des auteurs comme Galilée (1564-1642) ou Beeckman (1588-1637), les recherches en harmonie allaient s'affranchir de leur fondement analogique pour prendre une tournure mécanique, celle où le phénomène sonore est conçu comme objet indépendant, susceptible d'être étudié selon différents paramètres dans le cadre de la science physique naissante. Déjà chez Mersenne, la consonance se comprend en termes de coïncidence de coups; chez Galilée, il s'agira de « la proportion existant entre les fréquences des vibrations, et donc des ondes qui, en se propageant dans l'air, viennent

⁴³ *L'harmonie du monde*, III, p. 92. La critique de Kepler porte sur l'aspect discret et numérique de l'explication pythagoricienne, non sur le caractère « abstrait ».

⁴⁴ A. Charrak, *Musique et philosophie à l'âge classique*, p. 21.

⁴⁵ G. Simon, *Sciences et savoirs aux XVI^e et XVII^e siècles*. Paris : Septentrion, 1996, p. 90.

⁴⁶ G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 136.

⁴⁷ Mersenne, *Harmonie Universelle*, liv. I, Paris, CNRS, p. 86; cité dans l'ouvrage de A. Charrak, *Musique et philosophie à l'âge classique*, p. 23.

frapper le tympan de l'oreille en le faisant vibrer aux mêmes intervalles de temps. »⁴⁸ Dès lors, on cherchera à comprendre les consonances comme des mouvements interagissant avec la structure de l'oreille, mouvements où les vitesses fluctuent selon différents paramètres (longueur de la corde, densité, etc.) dont il convient d'examiner l'influence. En ce sens, ces auteurs semblent inaugurer une nouvelle ère scientifique en se distinguant radicalement d'une théorie néo-pythagoricienne comme celle de Kepler.

Toutefois, comme le remarque H.F. Cohen⁴⁹, Kepler a très bien envisagé une théorie de la coïncidence des coups comme celle de Mersenne. Il l'a ensuite rejetée à cause de son déficit explicatif : c'est qu'une telle théorie serait impuissante à montrer l'efficacité d'une action physique sur « l'ouïe, chose corporelle, pour cet incroyable plaisir que nous percevons très profondément dans l'âme à partir des consonances harmoniques »⁵⁰. Les figures géométriques, directement accessibles par l'âme humaine, sont donc plus aptes à répondre au problème de la consonance.

Quant à son utilisation de l'analogie, Kepler était déjà moderne en ce sens qu'il n'aurait jamais simplement invoqué une « comparaison comme une vaine similitude »⁵¹ sans fournir une justification théorique supplémentaire. Autrement dit, si Kepler développe de telles analogies, c'est parce qu'elles permettraient d'avoir accès aux fondements, aux origines, ce qui pour lui est le propre d'une explication scientifique pleinement satisfaisante. Plus généralement, cela est parfaitement compatible avec sa méthode scientifique, par laquelle il cherche à établir une justification *a priori* de ce que l'on observe expérimentalement :

ce que Copernic à partir des "phénomènes", à partir des effets, *a posteriori*, a établi au moyen d'une conjecture plus heureuse que réellement assurée [...] c'est tout cela que l'on démontrera parfaitement établi à partir d'arguments *a priori*, des causes et de l'idée de la création.⁵²

Parmi ces arguments *a priori*, nous retrouvons l'idée que le monde est ordonné, et ce, en vertu du fait qu'il a été créé par Dieu à sa ressemblance, en suivant un projet

⁴⁸ Galilée, *Discours et démonstrations mathématiques concernant deux sciences nouvelles*, trad. M. Clavelin. Paris : A. Colin, 1970, Première journée, p. 146.

⁴⁹ Dans son article "Music as a Test-Case", *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol. 16 (1985), no. 4, p. 358.

⁵⁰ *L'harmonie du monde*, III, p. 100.

⁵¹ *Le secret du monde*, ancienne préface, note 4, p. 39.

⁵² *Le secret du monde*, II, p. 68.

architectonique aussi parfait que possible⁵³. Nous pouvons voir maintenant un peu mieux comment l'analogie peut aspirer à un certain pouvoir explicatif : le monde ayant été créé à l'image de Dieu, non seulement nous pouvons, mais nous devons user d'analogies pour saisir l'empreinte secrète divine dans le monde. En outre, cette empreinte devra être recherchée à l'intérieur de la géométrie étant donné qu'elle fut le modèle de la création :

Enfin, la Géométrie – dont les deux premiers livres [sc. les livres I et II de l'*Harmonice Mundi*] ont traité en regardant cette partie ici – coéternelle à Dieu et reflétant la Pensée divine, a fourni des exemples à Dieu, comme on a dit dans le préambule de ce livre, pour orner le Monde, de sorte qu'il fut fait le Meilleur et le plus Beau, semblable enfin au Créateur.⁵⁴

Cette argumentation sera valide tant pour la recherche des harmonies célestes que celle des harmonies sonores.

Au-delà de l'analogie, Kepler fournit d'autres arguments en faveur d'une telle étude géométrique des harmonies. L'un des plus importants concerne la présence directe des figures géométriques dans les choses, contrairement aux nombres qui ne se dégagent des choses qu'après un processus d'abstraction. Comme l'explique D.P. Walker :

*Numbers are metaphysically and epistemologically inferior to geometrical figures and proportions. Numbers do not exist in physical things, but only 'dispersed units' so exist [...]. But this is not true of geometrical figures and proportions; these do exist, as imperfect copies, in physical things.*⁵⁵

Un traitement mathématique des harmonies sonores est donc justifié à condition qu'il s'effectue à l'intérieur de la géométrie, qui est à l'œuvre directement dans la musique que nous entendons. Voyons maintenant comment Kepler élabore sa solution géométrique.

I.4. La démonstration des figures harmoniques

Pour étudier l'harmonie de façon géométrique, Kepler utilisera les figures planes régulières, auxquelles il consacre les deux premiers livres de son *Harmonice Mundi*.

⁵³ Cf. *Le secret du monde*, II, p. 64.

⁵⁴ « *Geometrica enim, cujus partem huc spectantem libri duo priores sunt complexi, Deo coaeterna inque mente divina relucens, exempla Deo suppeditavit, ut in hujus libri praeambulo dictum, exornandi mundi, ut is fieret optimus et pulcherrimus, denique Creatoris simillimus.* » *Opera Omnia*, V, p. 136; *L'harmonie du monde*, III, p. 97 (trad. modifiée).

⁵⁵ D.P. Walker, "Kepler's Celestial Music", p. 236.

Pourquoi des figures plutôt que des solides, comme c'était le cas dans le *Mysterium Cosmographicum*? Pour Kepler, l'harmonie est une *qualité*, attribuable à la disposition des corps célestes dans l'espace, qui elle, est une *substance*; or les figures planes sont aux figures solides comme les qualités sont aux substances⁵⁶. Cependant, les figures planes devront être mises en relation avec le cercle, tout comme, dans le cas des recherches cosmographiques, les solides seront mis en relation avec la sphère. Il s'agira donc d'inscrire différentes figures à l'intérieur d'un cercle, de façon à ce que les sommets coïncident avec la circonférence. Cette idée se retrouvait déjà chez Euclide⁵⁷, qui utilisait le diamètre d'un cercle circonscrit à une figure comme unité de mesure⁵⁸. Mais Kepler ira encore plus loin dans son raisonnement : le cercle symbolise l'âme humaine en ce qu'il se situe à l'intersection de la sphère divine et du plan issu de la ligne droite, esquisse des éléments de la création⁵⁹. Cette valeur symbolique du cercle, à laquelle on peut rajouter ses nombreuses vertus esthétiques (symétrie, régularité, etc.), en font l'élément parfait pour mesurer les *ratios* harmoniques : d'une part il peut être en relation avec une figure droite, d'autre part il est symboliquement apparenté à l'âme connaissante, et enfin, sa relation avec la sphère illustre notre propre relation avec Dieu.

L'entreprise de Kepler consistera donc à tracer des figures dans des cercles, afin de pouvoir ensuite générer diverses proportions en comparant un arc avec le tout, deux arcs avec ceux qu'il reste, et ainsi de suite. Dès le début de l'*Harmonice Mundi*, Kepler nous prévient que seules les figures régulières (ayant tous leurs côtés et tous leurs angles égaux) pouvant être construites à partir d'un compas et d'une règle seront admises, car ce sont les seules qui pourront être accessibles à la pensée, tel qu'énoncé dans la VII^{ème} définition : « Connaître, dans les choses géométriques, c'est mesurer au moyen d'une mesure connue »⁶⁰, à savoir, le diamètre de ce cercle. Toute figure ne respectant pas ce critère serait non seulement inconnue, mais inconnaissable, ce qui serait en contradiction avec les consonances qui, elles, nous sont connues. Une fois connaissable, une figure peut faire l'objet d'une démonstration, et celle-ci peut se faire selon un nombre plus ou moins grand

⁵⁶ Voir F. Hallyn, *La structure poétique du monde : Copernic, Kepler*. Paris : Seuil, 1987, p. 190.

⁵⁷ Dès l'introduction de l'*Harmonice Mundi*, Kepler soutient que son ouvrage est fortement relié aux *Éléments* d'Euclide.

⁵⁸ Voir G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 150.

⁵⁹ Cf. *L'harmonie du monde*, IV, p. 223.

⁶⁰ *L'harmonie du monde*, I, p.9.

d'étapes, avant d'atteindre la première mesure connue (diamètre) : « Définition IX. La démonstration de la quantité, ou à décrire, ou à connaître, est une déduction à partir du diamètre au moyen des intermédiaires possibles [...] »⁶¹. Ces intermédiaires seront plus ou moins nombreux, ce qui nous donne une échelle dans les degrés de connaissance des figures :

Définition XII. Les degrés de la science < *scientia* > sont divers, les uns éloignés, les autres proches. Le premier et plus proche degré [est] quand je sais, ou que je puis démontrer qu'une certaine ligne est égale au diamètre, ou qu'une surface plane qu'il est permis de former autrement est égale au carré du diamètre.⁶²

Le second degré concerne les figures dont les lignes ou les surfaces sont des fractions du diamètre (aujourd'hui, nous dirions que leur mesure correspond à un nombre rationnel); quant au troisième, il accepte les racines carrées des quantités nommées au degré précédent. Mais à partir du degré suivant, ils sont « inexprimables ». Kepler refuse d'employer le terme « irrationnel », lequel conduit à une absurdité : « il y a beaucoup de lignes qui, bien qu'elles soient ineffables, sont pourtant contenues sous de très bonnes raisons. »⁶³

L'objectif du premier livre de l'*Harmonice Mundi* sera de classer les polygones selon leur degré de « connaissabilité », c'est-à-dire selon le degré de commensurabilité entre leurs côtés et le diamètre du cercle dans lequel ils sont inscrits. Ultimement, Kepler voudra en dériver les huit rapports reliés aux huit consonances reconnues, à savoir, les quatre dites pythagoriciennes ainsi que les tierces et sixtes mineures et majeures.

Pour ce faire, Kepler doit notamment poser des conditions pour limiter le nombre de figures régulières admises. Le critère que nous avons mentionné plus haut, celui de pouvoir être constructible par compas et par règle, lui permet tout de suite de rejeter des polygones comme l'heptagone ou l'hendécagone⁶⁴. Kepler répartit ensuite tous les polygones

⁶¹ *Idem.*

⁶² *L'harmonie du monde*, I, p. 10.

⁶³ « [...] *multae sunt lineae, quae quamvis ineffabiles, optimis tamen continentur rationibus.* » *Opera Omnia*, V, p. 86; *L'harmonie du monde*, I, p. 11.

⁶⁴ Il faudra attendre un siècle et demi pour que ce système trouve une réfutation définitive : Gauss, en 1796, montre que le polygone régulier à 17 côtés est constructible de cette façon, polygone que Kepler avait rejeté.

possibles en trois classes de familles⁶⁵, selon que leur nombre de côtés correspond aux trois cas suivants:

$$1) p \cdot 2^n$$

$$2) p \cdot q \cdot 2^n \quad (p \text{ et } q > 2)$$

$$3) p^n \cdot 2^n \text{ ou } p^{n'} \cdot q^{n''} \cdot 2^n \quad (p > 2; n' > 1)$$

où n est un entier positif ou nul, p et q sont des nombres premiers.

Kepler analyse ensuite chaque classe de famille, rejetant en cours de route les polygones dont les côtés ne sont pas exprimables en fonction du diamètre du cercle. Par exemple, il démontre que tous les polygones faisant partie de la famille de l'heptagone, c'est-à-dire qui ont un nombre de côtés égal à un multiple de 7, sont non constructibles à partir du cercle. À la fin de son analyse exhaustive, seules quatre classes de figures sont conservées en vertu de leur caractère connaissable. Elles sont, dans l'ordre : le carré, le triangle, le pentagone et le pentadécagone⁶⁶. Une fois inscrites dans un cercle, les figures issues de ces classes (que l'on peut maintenant nommer « figures harmoniques ») peuvent également être envisagées selon les lignes qui les composent. Celles-ci peuvent ensuite être ordonnées selon leur degré de rapprochement avec le diamètre : par exemple, le côté de l'hexagone (égal au demi-diamètre) précédera le côté du carré, et ainsi de suite.

Une fois qu'il a démontré, puis classifié les figures harmoniques selon leur degré de « connaissabilité », Kepler s'intéresse ensuite à leur sociabilité, ou aptitude à entrer en relation entre elles. C'est là l'objectif du deuxième livre de l'*Harmonice Mundi* : étudier la capacité des figures harmoniques à se combiner pour engendrer des pavages (structures régulières recouvrant le plan) ou des polyèdres (réguliers ou non). L'astronome nomme cette faculté la *congruence* :

Définition I. Une congruence est autre dans une surface, autre dans un solide. Il y a Congruence dans le Plan, lorsque les angles de plusieurs figures concourent un à un en un point, de sorte qu'aucune ouverture < *hiatus* > n'est laissée. [...] Définition V. La congruence est solide, et la figure [est] solide, quand les angles un à un de plusieurs figures planes établissent un angle solide par des figures attachées régulières ou semi-régulières, [quand] il ne reste aucune ouverture entre les côtés des figures allant à la rencontre de soi dans la partie opposée de la figure solide, qui ne puisse être bouchée

⁶⁵ Nous utilisons ici l'excellent résumé de G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 119.

⁶⁶ Cf. *L'harmonie du monde*, I, p. 53.

par une figure d'une seule espèce à partir des [figures] employées ou du moins des [figures] Régulières.⁶⁷

Il s'agit donc de combiner les figures pour former des structures régulières, qui elles aussi pourront être l'objet d'une classification, selon le degré de perfection de la congruence. Dans le plan, cette dernière sera dite « très parfaite, quand encore les figures concourant dans le plan sont de la même espèce »⁶⁸, alors qu'elle sera plus ou moins imparfaite selon le nombre de figures ou de structures différentes devant être utilisées pour combler les hiatus. Ce sera la même chose pour l'espace : la congruence parfaite aura lieu lorsque tous les polygones utilisés seront identiques, tandis que les polyèdres formés avec différents types de polygones seront de moins en moins parfaits selon l'hétérogénéité des figures utilisées.

Une nouvelle classification des figures régulières va en découler, selon leur capacité à générer des structures régulières, classification qui diffère cependant de celle exposée dans le premier livre. Pour Kepler, il s'agit d'un « désaccord naturel »⁶⁹ *<genuinum discrimen>* qui ne porte aucun préjudice à son système. Au contraire, les deux types de classements lui seront utiles pour la suite de son exposé. Nous pouvons envisager ces deux études comme les deux facettes d'une même chose : dans le premier livre, Kepler étudie les figures selon leur parenté avec le cercle; dans le second, il les étudie sous l'angle de leur capacité à engendrer des structures. Comme l'a bien résumé G. Simon : « D'un côté si l'on ose dire la noblesse de l'origine, de l'autre la puissance de la lignée. »⁷⁰.

Nous pouvons tout de même nous questionner au sujet de l'importance d'étudier la congruence des figures démontrées dans le premier livre. Une fois que les figures harmoniques ont été démontrées, pourquoi ne pas les avoir immédiatement appliquées au monde musical? Kepler s'explique philosophiquement au sujet de la pertinence d'une telle recherche : l'étude de la sociabilité des figures harmoniques est essentielle pour comprendre leur rôle à l'intérieur de la création, puisque les choses sont, par nature, issues de diverses relations entre les éléments qui les composent. En outre, le sens même du mot latin *congruentia* correspond au grec *harmonía* :

⁶⁷ *L'harmonie du monde*, II, p. 59.

⁶⁸ *Idem*.

⁶⁹ *L'harmonie du monde*, II, p. 81.

⁷⁰ G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 165.

En effet, puisque nous avons entrepris d'expliquer l'origine de l'harmonie et ses effets les plus remarquables dans le monde entier, comment ne dirions-nous rien au sujet de la congruence des figures qui sont les sources des proportions harmoniques? Étant donné que les mots latins « congruere » et « congruentia » signifient en grec « être proportionné » et « harmonie »?⁷¹

Au terme de son étude des figures harmoniques, dont l'aboutissement se situe dans les deux classifications citées précédemment, Kepler a en main les outils géométriques pour rendre compte des consonances musicales; c'est là le propos du troisième livre de son *Harmonicæ Mundi*.

I.5. Les proportions harmoniques appliquées au domaine musical

Pour appliquer les figures harmoniques au monde sonore, il s'agit d'imaginer que le cercle représente une corde (vocale ou instrumentale) : « Pour ce qui touche le chant, il suffit qu'une corde tendue en ligne droite puisse être divisée de telle sorte qu'elle soit divisée comme enroulée sur un cercle, selon le côté d'une figure inscriptible. »⁷² On fera donc vibrer la corde de différentes façons, en modifiant sa longueur selon les divisions engendrées par le polygone qui y est inscrit.

Pour limiter le nombre de proportions harmoniques admises, Kepler élimine celles qui produiraient des notes dont l'intervalle serait plus grand qu'une octave (intervalle redoublé), puisqu'ils peuvent tous être apparentés à un intervalle simple. Par exemple, la onzième (de rapport 3 : 8) sera rejetée, étant donné qu'elle est en fait une quarte redoublée (rapport 3 : 4), c'est-à-dire la somme de l'octave et de la quarte. Nous pouvons le vérifier en multipliant leur proportion ($1/2 \times 3/4 = 3/8$). Au niveau des sons entendus, si la corde de départ est un do moyen, nous entendons dans les deux cas un « fa », le premier étant plus aigu que le second d'une octave. Cette restriction permet d'éliminer une infinité de proportions possibles générées par les divisions du cercle.

⁷¹ « Cum enim originem harmonices ejusque effectus in toto mundo praestantissimos explicandos sumserimus, quomodo de congruentia figurarum, quae sunt proportionum harmonicarum scaturigines, verba nulla faciamus? cum idem sonet Latinis congruere et congruentia, quod Graecis 'harmóttein' et 'harmonía'? ». *Opera Omnia*, V, p. 114; *L'harmonie du monde*, II, p. 57 (trad. modifiée).

⁷² « Quod cantum attinet, sufficit chordam in rectum extensam sic dividi posse, ut dividitur, cum est in circulum contorta, a latere figurae inscriptilis. » *Opera Omnia*, V, p. 135; *L'harmonie du monde*, III, p. 95.

L'astronome impose aussi une autre condition: lorsque l'on fera vibrer le cercle en le découpant selon une figure donnée, il faudra considérer non seulement la proportion de chacune des parties avec la circonférence, mais aussi celle des deux parties entre elles. On ne conservera que les divisions qui, dans les trois cas, renvoient aux nombres de côtés d'un polygone constructible. Par exemple, supposons que nous envisagions la proportion générée par le côté d'un octogone : comme le rapport entre les parties est 1 : 7, cette division n'est pas harmonique puisque le 7 renvoie à l'heptagone, qui n'est pas constructible. Par contre, nous pouvons envisager ce même octogone comme séparant le cercle dans un rapport 3 :5; cette division sera considérée comme étant harmonique puisque le triangle et le pentagone sont constructibles⁷³.

Certains commentateurs⁷⁴ ont vu dans ce critère un glissement vers un traitement arithmétique plutôt que géométrique du problème de la consonance. Il est vrai que, à cette étape de l'exposé, les figures géométriques semblent être utilisées uniquement pour légitimer une proportion en vertu des nombres qui y sont impliqués. De fait, Kepler ne néglige pas d'étudier les relations arithmétiques entre les proportions attachées aux huit intervalles consonants. À cet effet, il propose à la fin du deuxième chapitre un schéma où tous les ratios harmoniques peuvent être obtenus à partir du rapport 1 : 1, en additionnant le numérateur avec le dénominateur pour obtenir un nouveau dénominateur, et en prenant comme nouveaux numérateurs les deux éléments de la fraction initiale. Ainsi, de 1 : 1 nous pouvons dériver 1 : 2 et 1 : 2; puis, à partir de 1 : 2, nous obtenons 1 : 3 et 2 : 3. L'opération doit se répéter « jusqu'à ce que soit fait le nombre indicateur de la figure indémontrable »⁷⁵, c'est-à-dire en s'arrêtant, encore une fois, lorsque l'on obtient un nombre qui renvoie au nombre de côtés d'un polygone non constructible. De cette façon, tous les rapports harmoniques sont dérivés grâce à des opérations numériques.

Nous croyons cependant qu'il faut éviter d'y voir là un penchant vers une explication arithmétique de la consonance. Tout d'abord, ce schéma n'est pas propre aux

⁷³ L'exemple se retrouve dans le troisième chapitre de Max Caspar, *Kepler*, trad. et éd. par C. Doris Hellman. New York : Abelard Schuman, 1959, 401 p.

⁷⁴ Voir, par exemple, D.P. Walker, "Kepler's Celestial Music", p. 240.

⁷⁵ « eousque dum ex summa fiat numerus index figuræ indemonstrabilis. » *Opera Omnia*, V, p. 145; *L'harmonie du monde*, III, p. 114.

recherches exposées dans l'*Harmonice Mundi*; Kepler l'avait déjà proposé⁷⁶ en 1599 pour montrer comment l'on peut générer numériquement, à partir de l'unisson, les sept autres proportions reconnues par l'oreille. Lorsque l'astronome reproduit ce tableau vingt ans plus tard, ce n'est pas sans spécifier que « les causes de chaque section [*sc.* de corde] et du nombre de toutes sont découvertes non sans travail à partir des sources de la Géométrie. »⁷⁷

Ce penchant pour la géométrisation est si fort qu'il va rejeter, dans le troisième chapitre, la proportion harmonique conçue selon un rapport déterminé entre trois nombres : « Vaine est la définition de la proportion Harmonique, parce que celle-ci est faite lorsque, de trois nombres placés dans l'ordre naturel, les différences de deux voisins sont dans la proportion des Extrêmes. »⁷⁸ En notation contemporaine, nous dirions que trois nombres a , b et c sont harmoniques s'ils respectent la formule suivante : $a / c = (a - b) / (a - c)$ ce qui revient à dire que $b = 2ac / (a + c)$. Comme cette formule permet un nombre indéfini de consonances, elle est de suite refusée par l'astronome. Mais c'est surtout le déficit explicatif qui est ici critiqué par l'auteur : certes, Kepler reconnaît que cette formule est parfois respectée, mais ce fait « n'est pas la source de la cause des Harmonies, mais son effet [...] »⁷⁹.

Le troisième livre de l'*Harmonice Mundi* contient de nombreux développements théoriques, comme la formation des tétracordes, la notation (alphabétique) ou encore, les modes mélodiques (dorien, hypodorien, mixolydien, etc.). D'autres significations symboliques des accords musicaux⁸⁰ y sont également développées, dans cet ouvrage mais aussi ailleurs dans le corpus képlérien⁸¹. Ces éléments, bien que fort intéressants pour comprendre les rouages de ce système, ne seront pas traités dans ce chapitre-ci, lequel se veut plutôt un portrait général des fondements philosophiques et mathématiques de la

⁷⁶ Voir M. Dickreiter, *Der Musiktheoretiker Johannes Kepler*, p. 36.

⁷⁷ « *causas et sectionum singularum et universarum numeri non sine labore ex penitissimis geometriae fontibus erui.* » *Opera Omnia*, V, p. 145; *L'harmonie du monde*, III, p. 114 (trad. modifiée).

⁷⁸ « *Vana est definitio proportionis harmonicae, quod sit illa, ubi tribus numeris ordine naturali locatis, binorum vicinorum excessus sunt in proportione extremorum [...]*. » *Opera Omnia*, V, p. 146; *L'harmonie du monde*, III, p. 116.

⁷⁹ « *non est efficiens causa harmoniarum, sed effectus ipsius [...]*. » *Opera Omnia*, V, p. 149; *L'harmonie du monde*, III, p. 119.

⁸⁰ Par exemple, Kepler attribue un genre (féminin ou masculin) à chaque intervalle, de sorte qu'il y a une alternance « tension/résolution » dans la phrase musicale. Pour une brève analyse de cette symbolique, voir D.P. Walker, "Kepler's Celestial Music", pp. 242-245.

⁸¹ Notamment, la lettre de 1608 à Joachim Tanckius. *Opera Omnia*, I, pp. 375-383.

solution proposée par Kepler au problème de la consonance. Toutefois, nous ne nous priverons pas de retourner à ces éléments lorsque nous aborderons la façon dont l'astronome a appliqué son système musical aux mouvements célestes, sujet de notre troisième chapitre. Mais d'ici là, il ne sera pas superflu d'étudier tout d'abord l'entreprise scientifique de Kepler dans la perspective de son projet initial, tel qu'exposé dans son premier ouvrage, le *Mysterium Cosmographicum*.

Chapitre II

Le projet d'une cosmographie copernicienne

Pour comprendre le rôle du concept d'harmonie dans les recherches scientifiques de Kepler, il nous semble important de mettre au jour les questions initiales qui ont guidé l'astronome tout au long de son parcours. Dans le chapitre précédent, nous avons vu les questions qui l'ont guidé dans le domaine de la musique; mais qu'en est-il du domaine de l'astronomie, domaine où Kepler allait appliquer la notion d'harmonies célestes dans la dernière partie de son *Harmonice Mundi*? Ou encore, quels étaient les problèmes initiaux que Kepler cherchait à résoudre par une vision « harmonique » du monde? Des pistes pour répondre à cette question se trouvent clairement exposées dans sa première œuvre publiée, le *Mysterium Cosmographicum*. Bien qu'il ne contienne aucune des trois lois du mouvement planétaire que les scientifiques modernes ont retenues, cet ouvrage n'en demeure pas moins de première importance pour comprendre son itinéraire rationnel.

Certes, une grande importance socio-historique peut y être attribuée, et avec raison : c'est suite à la lecture du *Mysterium Cosmographicum* que Tycho Brahé, alors *mathematicus* impérial de Rodolphe II, propose à son auteur de le rejoindre à Prague pour l'assister dans ses recherches en astronomie. Grâce à ce nouvel emploi, le jeune Kepler peut avoir accès à un ensemble précieux de nouvelles données d'observation; de plus, à la mort de Tycho Brahé, un an plus tard, Kepler allait le remplacer à titre de *mathematicus* impérial, et ce, pour les onze années subséquentes. Mais au-delà de cette valeur historique⁸², cette œuvre peut être conçue comme le point de départ de toute son entreprise scientifique.

Le fait que Kepler ait lui-même réédité le *Mysterium Cosmographicum* vingt-cinq ans après sa première parution est déjà le signe, chez lui, d'un attachement durable envers cette œuvre. Mais surtout, les nombreuses annotations propres à la seconde édition nous permettent de voir non seulement comment Kepler a critiqué son premier ouvrage – essentiellement à la lumière de son *Harmonice Mundi* – mais aussi à quel point il a pu y demeurer fidèle, du moins quant aux *a priori*. De fait, Kepler va même jusqu'à noter que le

⁸² Valeur dont nous entretient Kepler dans la 1^{ère} note sur l'ancienne dédicace. Cf. *Opera Omnia*, I, pp. 100-101.

Mysterium Cosmographicum peut être lu comme une introduction à son *Harmonice Mundi*. Ainsi, dans la page titre de la seconde édition, il est écrit que ce livre est « tout particulièrement destiné à faire comprendre les occasions qui ont donné naissance à l'ouvrage intitulé 'L'Harmonie du Monde', et les progrès qu'il marque sous le rapport de la matière et de la méthode »⁸³. Ainsi, bien des problèmes exposés dans le *Mysterium Cosmographicum* auront été résolus, du moins aux yeux de Kepler, grâce à son système harmonique développé entre-temps; mais les questions originelles, elles, n'auront point changé au fil de son parcours d'astronome. Tout comme auront été laissés intacts un large éventail de présupposés métaphysiques, richement développés dans son *primum opus*, et dont la plupart auront été repris, explicitement ou non, dans l'*Harmonice Mundi*. Il nous semble pertinent d'étudier à la fois ces questions directrices et ces points de départ métaphysiques puisqu'ils ont jalonné la voie que le scientifique allait emprunter dans ses recherches concernant les mouvements célestes. C'est d'ailleurs l'opinion de Kepler:

« Enfin, presque tous les livres d'astronomie que j'ai publiés depuis ce temps pourraient être rapportés à l'un ou à l'autre des principaux chapitres du présent ouvrage, parce qu'ils en contiennent soit l'explication soit l'accomplissement. Si je dis cela, c'est non pas par amour pour mes inventions (loin de moi, encore une fois, pareille folie), mais parce que j'ai appris par les choses elles-mêmes et par les observations absolument dignes de foi de Tycho Brahe, que l'on ne peut trouver aucune autre voie pour parvenir à la perfection de l'astronomie et à la certitude du calcul, aucune autre voie pour fonder la science soit de la partie de la métaphysique relative au ciel soit de la physique céleste, aucune autre voie, dis-je, que celle que j'ai, dans ce petit ouvrage, soit expressément indiquée soit esquissée au moyen d'opinions encore timides et à titre d'ébauche. »⁸⁴

⁸³ « Potissimum ad illustrandas occasiones Operis, HARMONICE MUNDI dicti, ejusque progressum in materia et methodo. » *Opera Omnia*, I, p. 95; *Le secret du monde*, p. 11.

⁸⁴ « Denique quidquid fere librorum astronomicorum ex illo tempore edidi, id ad unum aliquod praecipuorum capitum hoc libello propositorum referri potuit, cujus aut illustrationem aut integrationem contineret; non equidem amore mearum inventionum, absit iterum haec insania, sed quia rebus ipsis et observationibus Tychonis Brahei fide omni dignissimis edoctus fui, nullam aliam inveniri posse viam ad perfectionem astronomiae certitudinemque calculi, nullam ad constituendam scientiam hujus seu partis metaphysicae de coelo, seu physicae coelestis, quam quae hoc libello vel expresse praescripta, vel timidis saltem opinionibus et rudi Minerva adumbrata esset. » *Opera Omnia*, I, p. 103; *Le secret du monde*, Dédicace, pp. 14-15.

C'est cette voie que nous allons maintenant expliciter, afin de comprendre comment sa théorie harmonique allait fournir la majeure partie de cette « explication » ou cet « accomplissement ».

Nous aborderons d'abord l'une des principales motivations du *Mysterium Cosmographicum*, soit (1) la volonté de défendre le système héliocentrique mis de l'avant par Copernic, ce qui n'était nullement répandu au début du XVII^{ème} siècle. Mais si Kepler semble s'accorder pour l'essentiel avec les positions de Copernic, il ne tarde pas à s'en distinguer eu égard à (2) son projet scientifique: élaborer non pas une *astronomie* mais une *cosmographie*, afin d'offrir de véritables explications aux mouvements célestes. Cette cosmographie, nous le verrons, contient (3) de nombreux présupposés métaphysiques, *a priori*, dont le point de départ est la conception d'un monde créé selon un modèle architectonique aussi parfait que son créateur. Le système qui en découle trouve sa pierre de touche dans la (4) géométrie, plus particulièrement dans les cinq solides platoniciens. Nous terminerons (5) en examinant la mise à l'épreuve que Kepler impose à son modèle lorsqu'il le confronte, *a posteriori*, aux données observationnelles de l'époque.

II.1. L'analogie de la sphère trinitaire et l'héliocentrisme

Kepler se prononce en faveur du système héliocentrique de Copernic dès le premier chapitre du *Mysterium Cosmographicum*, intitulé « Quelles raisons montrent que les hypothèses de Copernic sont raisonnables. Présentation des hypothèses de Copernic. »⁸⁵ C'est l'astronome et professeur de mathématiques Michael Mästlin qui avait enseigné à Kepler, lors de ses années d'étude en théologie à l'université de Tübingen (1589-1594), non seulement le système ptoléméen (géocentrique), mais aussi le système copernicien (héliocentrique), dont il avait pris connaissance en lisant très attentivement le *De revolutionibus orbium cœlestium* (publié en 1543). Ce dernier ouvrage avait l'audace de proposer une vision du monde qui n'allait pas du tout de soi pour l'époque : affirmer que la Terre est mobile et se déplace autour du Soleil prêtait le flanc à de nombreuses critiques, tant scientifiques que fondées sur le simple bon sens (par exemple, nous ne sentons pas la

⁸⁵ « *Quibus rationibus Copernici hypotheses fiant consentaneae. Et explicatio hypothesis Copernici.* » *Opera Omnia*, I, p. 112; *Le secret du monde*, I, p. 43.

terre bouger). Pourtant, chez Kepler, placer le Soleil au centre du monde relève d'une évidence : « Kepler est le premier très grand esprit pour qui l'héliocentrisme est une affaire réglée. »⁸⁶ Pour mieux comprendre les raisons de ce choix si clairement exprimé, il nous sera utile de prendre connaissance d'une analogie très importante chez l'astronome : celle de la sphère trinitaire, dont les origines remonteraient à Nicolas de Cues⁸⁷.

Kepler attribue au Cusain la comparaison entre Dieu et le courbe, ainsi qu'entre la Création et le droit⁸⁸. L'astronome récupère cette analogie : *via* le rapport du courbe et du droit, qui sont incommensurables, elle « exprime ce qui à la fois lie et sépare le Créateur et sa Création »⁸⁹. Le droit est constitutif des différents corps qui composent le monde, mais c'est bien la « noblesse du courbe » *<curvi nobilitas>*⁹⁰ qui exprime la perfection du créateur. Quant à ce courbe, il peut se comprendre grâce à une autre analogie inspirée par Nicolas de Cues, que Kepler développe davantage, en passant du cercle à la sphère :

c'est que l'on trouve l'image du Dieu Un-trine dans la surface sphérique, à savoir l'image du Père dans le centre, celle du Fils dans la surface et celle de l'Esprit dans l'uniformité de relation entre le point [central] et la circonférence. Car les propriétés que le Cusain attribue au cercle, et que d'autres pourraient attribuer au globe, je les attribue, quant à moi, à la seule surface sphérique.⁹¹

L'homologie entre la sphère du monde et la trinité divine permet également de situer l'être humain quant à sa nature corporelle, à savoir, dans une flèche reliant le centre à la surface sphérique; ainsi que l'âme, qui correspond alors au plan identifié par cette flèche, *i.e.* à un disque centré sur Dieu.

Nous sommes d'accord avec G. Simon lorsqu'il remarque que cette analogie « serait purement anecdotique si elle n'avait joué [...] un rôle heuristique capital »⁹². Par exemple, elle permet de suggérer qu'une certaine force pourrait émaner de Dieu et se propager à travers le monde, via l'Esprit Saint, sorte de souffle remplissant la sphère : ces

⁸⁶ G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 239.

⁸⁷ Pour les textes de référence de Nicolas de Cues, voir la note de A. Segonds dans *Le secret du monde*, n. 3, p. 233.

⁸⁸ Cf. *Le secret du monde*, II, p. 63.

⁸⁹ G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 134.

⁹⁰ *Le secret du monde*, II, p. 64.

⁹¹ « *Dei trinuni imago in sphaerica superficie, Patris scilicet in centro, Filii in superficie, Spiritus in aequalitate 'schéséôs' inter punctum et ambitum. Nam quae Cusanus circulo, alii forte globo tribuerent, ea ego soli sphaericae superficiei arrego.* » *Opera Omnia*, I, p. 122; *Le secret du monde*, II, pp 63-64.

⁹² G. Simon, *Sciences et savoirs aux XVI^e et XVII^e siècles*, p. 91.

considérations seront primordiales dans les recherches ultérieures de l'*Astronomia Nova* (1609), qui s'intéresseront au rôle causal du Soleil eu égard aux mouvements planétaires. Nous pouvons voir aussi comment cette analogie récupère le système héliocentrique copernicien : si le Soleil est au centre de l'univers, c'est parce qu'il est l'image divine de Celui qui gouverne le monde, et que le centre est la place qui revient à un tel Dieu~Soleil :

De même donc que la source de la lumière est dans le Soleil, c'est-à-dire dans le centre, de même voici que la vie, le mouvement et l'âme du monde reviennent à ce même Soleil, de sorte qu'aux fixes appartient le repos, aux planètes l'acte second qu'est le mouvement, au Soleil l'acte premier lui-même, qui est incomparablement plus digne que les actes seconds en toutes choses, tout comme le Soleil lui-même l'emporte de très loin sur tous les autres [astres] par la beauté de son apparence, par l'efficacité de sa vertu et par la splendeur de sa lumière. C'est maintenant que ces attributs louangeurs reviennent à bien plus juste titre au Soleil : Cœur du Monde, Roi et Empereur des étoiles, Dieu visible, etc.⁹³

Le système héliocentrique prend maintenant tout son sens : la place qui revient au Soleil est le centre du monde, ce dernier devant être conçu comme une image de l'essence divine. Cette « quasi-localisation de Dieu dans le soleil »⁹⁴ – pour reprendre les mots du philosophe français J.-L. Marion – dont l'origine semble se situer chez Proclus et Nicolas de Cues n'est pas sans nous rappeler les propos de Copernic lui-même dans son ouvrage *De revolutionibus orbium caelestium* :

Le Soleil demeure dans le vrai milieu de tout. En effet, dans ce très beau temple, qui donc placerait ce luminaire en un lieu autre ou meilleur que celui d'où il peut tout illuminer en même temps? Puisque ce n'est pas improprement que certains l'appellent la lampe du monde, d'autres l'esprit, d'autres le gouverneur. Trimégiste [l'appelle] Dieu visible, l'Électre de Sophocle [l'appelle] celui qui porte son regard sur tout.

⁹³ « Sicut igitur fons lucis in Sole est, et principium circuli in loco Solis, scilicet in centro : ita nunc vita, motus et anima mundi in eundem Solem recidit : ut ita fixarum sit quies, planetarum actus secundi motuum, Solis actus ipse primus, qui incomparabiliter nobilior est actibus secundis in rebus omnibus : non secus atque Sol ipse et speciei pulchritudine, et virtutis efficacia, et lucis splendore ceteris omnibus longe praestat. Hic jam longe rectius in Solem competunt illa nobilia epitheta, Cor mundi, Rex, Imperator stellarum, Deus visibilis, et reliqua. » *Opera Omnia*, I, p. 174; *Le secret du monde*, chap. XX, p. 169.

⁹⁴ J.-L. Marion, *Sur la théologie blanche de Descartes. Analogie, création des vérités éternelles et fondement*. Paris : Presses universitaires de France, 1981, p. 195. L'auteur y développe la signification théologique de l'assimilation Dieu~Soleil. Voir aussi J. Hübner, *Die Theologie Johannes Keplers zwischen Orthodoxie und Naturwissenschaft*. Tübingen : Mohr, 1975, pp. 186-199.

Vraiment ainsi, comme demeurant sur un trône royal, le Soleil gouverne la famille des Astres qui a son mouvement autour de lui.⁹⁵

L'interprétation de ce célèbre passage ne fait pas l'unanimité parmi les commentateurs. Certains, comme le philosophe A. Koyré⁹⁶, voient dans cette métaphore un élément majeur des fondements de la pensée copernicienne; alors que d'autres n'y voient qu'un élément rhétorique, visant à montrer au lecteur que cette idée n'est pas si novatrice⁹⁷.

Toujours est-il que, chez Copernic, cette métaphore ne sera pas aussi approfondie que chez Kepler. Cela est particulièrement manifeste dans le chapitre XV du *Mysterium Cosmographicum* : Kepler reproche à Copernic d'avoir utilisé, dans ses calculs, la position moyenne du Soleil⁹⁸ et non sa position réelle. Kepler y voit là un vestige de Ptolémée, pour qui le centre du monde était la Terre; ce qui revient au même que de placer le centre du monde au milieu de l'orbite terrestre, comme le fait Copernic. Kepler tient fortement à ce que tous les calculs se fassent selon ce qu'il appelle le « Soleil vrai », et c'est son maître Michael Maestlin qui se charge de la tâche colossale de calculer à nouveau toutes les distances. En quelque sorte, nous pourrions dire avec raison que Kepler est encore plus héliocentrique que Copernic.

L'analogie de la sphère trinitaire est d'une importance capitale pour comprendre la position héliocentrique inhérente à l'ensemble de l'œuvre képlérienne. Ceci dit, l'astronome tempère sa confiance en un tel procédé. Ainsi nous prévient-il avant l'emploi d'une autre analogie : « Maintenant, Lecteur bienveillant, permets-moi de jouer pour quelque temps dans une affaire aussi sérieuse, et d'avoir quelque peu recours aux allégories. »⁹⁹ Kepler est-il vraiment sincère lorsqu'il nous parle d'un simple « jeu »? Dans un sens, oui, car il rompt ici avec la tradition : l'analogie pure et simple, non raisonnée, est sans valeur

⁹⁵ « *In medio uero omnium residet Sol. Quis enim in hoc pulcherimo templo lampadem hanc in alio vel meliori loco poneret, quam unde totum simul possit illuminare. Siquidem non inepte quidam lucernam mundi, alii mentem, alii rectorem vocant. Trimegistus visibilem Deum, Sophoclis Electra intuentem omnia. Ita profecto tanquam in solio regali Sol residens circum agentem gubernat Astrorum familiam.* » Copernic, *De revolutionibus orbium coelestium : libri VI*. Bruxelles : Culture et civilisation, 1966. Fac-sim. de l'édition de Norimbergae : J. Petreium, 1543, I, p. 9 (ma traduction).

⁹⁶ Cf. A. Koyré, *La révolution astronomique: Copernic, Kepler, Borelli*. Paris : Hermann, 1961, 525 p.

⁹⁷ Pour plus de détails sur cette controverse et sur l'héliolâtrie, voir F. Hallyn, *La structure poétique du monde : Copernic, Kepler*, pp. 139-160.

⁹⁸ Dans le système de Copernic, le Soleil et le centre de l'orbite terrestre ne coïncident pas tout à fait. C'est la deuxième option que Copernic pose comme véritable centre du monde.

⁹⁹ « *Patere nunc, lector aequanime, ut ludam aliquantisper in re seria, et nonnihil allegoriis indulgeam.* » *Opera Omnia*, I, p. 128; *Le secret du monde*, IV, p. 76.

argumentative¹⁰⁰. Mais si un scientifique comme Kepler les utilise abondamment, c'est parce qu'elle peut aussi avoir un certain pouvoir explicatif, *lorsque l'on a bien démontré que les deux termes de l'analogie sont reliés et pourquoi ils le sont*. Son attitude face aux symboles est clairement exposée dans ce passage d'une lettre à Joachim Tanckius, en 1608 :

Oui certes je joue avec les symboles, et j'ai préparé un petit ouvrage : « Cabale géométrique », qui est au sujet des idées des choses naturelles en géométrie; mais je joue de telle sorte que je n'oublie pas que je joue. Car rien n'est prouvé par des symboles, rien de caché en philosophie naturelle n'est découvert par des symboles géométriques, seulement les choses déjà connues avant s'y appliquent; à moins que, par des raisons sûres, l'on puisse inférer qu'elles sont non seulement symboliques, mais sont les descriptions des manières et des causes de la liaison entre les deux choses [sc. les deux termes de l'analogie].¹⁰¹

Si elle est bien employée, l'analogie prend toute son importance puisqu'elle permet de *remonter*¹⁰² aux causes premières, aux origines, à la création, ce qui est le propre d'une explication scientifique pleinement satisfaisante aux yeux de Kepler. Telle est du moins la tâche scientifique qu'il se donne dans ce premier ouvrage : développer un modèle *cosmographique* du monde.

II.2. Cosmographie vs astronomie

Bien que le *Mysterium Cosmographicum* puisse être interprété comme un vaste plaidoyer en faveur du système copernicien, Kepler soutient à plusieurs reprises qu'il y a divergence quant aux motivations scientifiques: alors que Copernic aurait cherché un modèle qui permette de prédire avec de plus en plus de précision les positions exactes des corps célestes, Kepler serait plutôt en quête d'un modèle qui puisse fournir les « causes

¹⁰⁰ C'est ce que Gérard Simon appelle le « refus de l'immotivé ». Voir *Kepler astronome astrologue*, p. 121.

¹⁰¹ « *Ludo quippe et ego symbolis et opusculum institui : "cabalam geometricam" quae est de ideis rerum naturalium in geometria; sed ita ludo, ut me ludere non obliviscar. Nihil enim probatur symbolis, nihil abstrusi eruitur in naturali philosophia per symbolas geometricas, tantum ante nota accommodantur; nisi certis rationibus evincatur, non tantum esse symbolica, sed esse descriptos connexionis rei utriusque modos et causas.* » *Opera Omnia*, I, p. 378 (ma traduction).

¹⁰² Par voie anagogique, ce que nous aborderons dans notre cinquième chapitre.

authentiques et propres » < *causis genuinis et propriis* >¹⁰³ de ces données d'observation. Au début du chapitre XV, Kepler nous éclaire sur cette distinction :

l'intention de Copernic n'est pas de s'occuper de cosmographie mais d'astronomie; autrement dit, peu lui importe de commettre quelque faute contre la proportion véritable des orbés, pourvu qu'il détermine, à partir des observations, les valeurs les plus aptes à permettre la démonstration des mouvements et le calcul de la position des planètes, dans la mesure où cela est possible.¹⁰⁴

En quoi la cosmographie se distingue-t-elle de l'astronomie? Ne doit-elle pas, elle aussi, s'accorder avec les faits observés? Oui certes, mais pour Kepler, la cosmographie est une discipline mixte, ne recherchant pas tant l'exactitude d'une description de faits – c'est là la tâche des astronomes, pour qui les mathématiques sont quasi-instrumentales – que leur réunion au sein d'un système harmonieux, et par là, leur explication véritable. C'est en ce sens que la cosmographie « se distingue par son caractère élémentaire et moins rigoureux »¹⁰⁵ des autres disciplines scientifiques : car elle vise à rendre compte des observations d'un point de vue holiste, c'est-à-dire à les expliquer de telle sorte que les phénomènes deviennent ensuite des conséquences nécessaires (*i.e.* justifiées *a priori*) du système.

Dès la préface, Kepler annonce ses intentions : « J'en étais même venu à assigner aussi à la Terre le mouvement du Soleil, mais alors que Copernic le fait à partir de raisons mathématiques, je le faisais à partir de raisons physiques ou, mieux encore, métaphysiques. »¹⁰⁶ Ce sont ces raisons « métaphysiques » qui, une fois réunies en un système, pourront expliquer ce qui, chez Copernic, demeurerait du ressort du calcul. Le projet du *Mysterium Cosmographicum* peut donc se résumer comme étant celui d'intégrer et de réinterpréter les positions héliocentriques de Copernic à l'intérieur d'un système du monde harmonieux.

¹⁰³ Tel qu'annoncé sur la page titre. *Opera Omnia*, I, p. 95.

¹⁰⁴ « *Copernici intentum non in cosmographia versari, sed in astronomia : hoc est, utrum nonnihil in veram orbium proportionem peccet, parum ipsi curae est, modo numeros ex observationibus eos constituat, qui sint ad demonstrandos motus planerumque loca computanda, quantum fieri potuit maxime apti.* » *Opera Omnia*, I, p. 153; *Le secret du monde*, XV, p. 129.

¹⁰⁵ *Le secret du monde*, note 1 de A. Segonds, p. 202.

¹⁰⁶ « *Jamque in eo eram, ut eidem etiam Telluri motum Solarem, ut Copernicus mathematicis, sic ego physicis, seu mavis, metaphysicis rationibus ascriberem.* » *Opera Omnia*, I, p. 106; *Le secret du monde*, ancienne préface, p. 31.

Cette attitude épistémologique se traduit dans les questions principales qui le guident dans son projet cosmographique: « Et il y avait trois choses particulièrement dont je cherchais avec obstination pourquoi elles étaient ainsi et non pas autrement, à savoir : le nombre, la grandeur et le mouvement des orbes. »¹⁰⁷ Ces questions peuvent se présenter ainsi :

- 1) Pourquoi existe-t-il un tel nombre (égal à six) de planètes?
- 2) Pourquoi sont-elles disposées à ces distances du Soleil?
- 3) Pourquoi se déplacent-elles à ces vitesses?

La cosmographie doit répondre non seulement au « comment » mais au « pourquoi » des proportions célestes observées, c'est-à-dire qu'elle doit fournir les raisons propres qui puissent expliquer qu'il en soit ainsi et pas autrement. Pour produire des *explanantia* qui rendent compte adéquatement des *explananda* dans une perspective cosmographique, Kepler construit un système fondé sur des présupposés inspirés par la philosophie, la théologie et la métaphysique.

II.3. L'ordre du monde comme reflet du projet architectonique divin

Le point de départ de toutes les recherches képlériennes repose dans l'idée que le monde est ordonné. Mais « comment se lancer dans le projet fou de saisir un ordre rationnel dans le chaos des apparences, si on n'a pas *a priori* de sérieux motifs pour croire qu'il en existe un? »¹⁰⁸

En accord avec sa formation théologique, Kepler conçoit le monde comme une création de Dieu. Or un tel créateur aussi parfait ne saurait avoir créé un monde chaotique, aléatoire : il a assurément suivi un modèle, une idée préexistante au monde physique. Cette idée n'est pas sans rappeler le *Timée* de Platon : « il est aussi de toute nécessité que ce monde soit l'image de quelque chose »¹⁰⁹. Au départ de tout, lorsque le « Créateur a

¹⁰⁷ « *Et tria potissimum erant, quorum ego causas, cur ita, non aliter essent, pertinaciter quaerebam, numerus, quantitas et motus orbium.* » *Idem.*

¹⁰⁸ G. Simon, *Sciences et savoirs aux XVI^e et XVII^e siècles*, p. 90.

¹⁰⁹ Platon, *Timée*, 29b, trad. par L. Robin. In *Oeuvres complètes*, vol. II. Paris : Gallimard (Pléiade), 1950, p. 444.

préconçu l'Idée du monde dans son esprit »¹¹⁰, cette Idée ne pouvait se trouver en dehors de lui-même :

puisque, pour que la forme de l'œuvre à venir fût elle aussi la meilleure, l'Idée devait être l'idée de la chose la meilleure, [dans ces conditions,] il est évident qu'en vertu des lois que Dieu se prescrit à lui-même de par sa bonté, il n'a pu assumer d'autre Idée, pour la création du monde que celle de sa propre essence. [...] C'est cette image, cette Idée, qu'il a voulu imprimer dans le monde, afin qu'il fût créé le meilleur et le plus beau.¹¹¹

Le monde est donc ordonné en vertu du fait qu'il a été créé par Dieu à sa ressemblance, en suivant un projet architectonique aussi parfait que possible. S'il nous arrive de constater certaines irrégularités dans le monde, il n'en tient qu'à nous de percer leur secret pour comprendre qu'elles sont, en fait, le fruit d'un ordre qui nous échappe parfois. Il s'agit là d'un des aspects du *Mysterium* (Mystère) : Dieu imprime son image dans la création, mais en cache volontairement les indices depuis le début des temps. Dans cette optique, connaître l'ordre du monde, c'est saisir la trace divine dans les choses, réalité à laquelle nous pouvons avoir accès notamment grâce à une révélation. Cette idée reprend l'essentiel de la théorie médiévale de la *signatura rerum*, développée notamment par Agrippa et Paracelse : les choses ont une signification cachée, et nous pouvons percer leur secret en y saisissant les indices d'une autre réalité cachée, invisible¹¹².

Quant à cet ordre du monde, il devra être compris de façon mathématique, comme chez les pythagoriciens. Pour Kepler, il s'agit là d'une conséquence directe de la création divine du monde : les régularités mathématiques que l'on observe physiquement sont présentes en tant que quantités matérialisées par Dieu lors de la création. Ce sera là une des formes d'objection contre Aristote :

[...] les êtres mathématiques sont les causes des réalités naturelles (opinion qu'Aristote a dénigrée en maints endroits), parce que Dieu le Créateur a, de toute éternité, avec lui-même les réalités mathématiques comme des archétypes, dans une abstraction extrême et

¹¹⁰ « *ideam mundi Conditor animo praeconceperit [...]* » *Opera Omnia*, I, p. 123; *Le secret du monde*, II, p. 64.

¹¹¹ « *Cum [...] sit vero, ut modo dictum est, rei optimae, ut forma futuri operis et ipsa fiat optima, patet quod his legibus, quas Deus ipse sua bonitate sibi praescribit, nullius rei ideam pro constituendo mundo suscipere potuerit, quam suae ipsius essentiae [...]. Hanc imaginem, hanc ideam mundo imprimere voluit, ut is fieret optimus atque pulcherrimus.* » *Idem*.

¹¹² Cf. W. Pauli, *Le cas Kepler*, trad. par M. Carlier. Paris : Albin Michel, 2002, p. 41.

digne de Dieu, à partir des quantités elles-mêmes, considérées comme une matière. Aristote a nié le Créateur et soutenu que le monde était éternel : rien d'étonnant, dès lors à ce qu'il ait rejeté les archétypes; j'avoue, en effet, qu'ils n'auraient jamais eu aucune efficace si Dieu lui-même n'avait pas tourné son regard vers eux dans la Création.¹¹³

Puisque ce sont les « êtres mathématiques » qui ont servi de modèle à Dieu lors de la création, les questions cosmographiques trouveront leurs réponses à l'intérieur des mathématiques.

Nous avons vu, dans notre chapitre précédent, que Kepler innove en cherchant les causes des consonances du côté de la géométrie plutôt que de l'arithmétique, en vertu de la nature continue des phénomènes harmoniques. Le même raisonnement se retrouve dans le *Mysterium Cosmographicum*. La préface de la première édition comporte son lot de critiques envers un système arithmétique, puisqu'il ne permet pas de répondre aux questions cosmographiques. D'entrée de jeu, après quelques essais infructueux, Kepler note l'inefficacité d'une approche numérique pour trouver un lien qui puisse rendre compte de la disposition précises des six orbites planétaires. Cette approche n'est pas non plus féconde pour la première question cosmographique que Kepler se pose : « je ne pouvais faire de conjecture à partir de la noblesse d'aucun nombre afin d'expliquer pourquoi, au lieu d'un nombre infini, si peu de mobiles existent. »¹¹⁴ Invoquer une éventuelle « sainteté du sénaire »¹¹⁵ pour expliquer qu'il y ait six planètes n'est pas une explication scientifique acceptable à ses yeux, car il est invraisemblable qu'un quelconque pouvoir puisse être attribué à un nombre comme tel.

Suite à une inspiration, Kepler tente ensuite une recherche à l'intérieur de la géométrie, ce qui lui semble beaucoup plus approprié pour étudier des distances. D'ailleurs, n'est-ce pas plus vraisemblable que Dieu ait créé le monde, qui se déploie dans un espace continu, à l'image de réalités mathématiques géométriques plutôt qu'arithmétiques? Les archétypes sont donc géométriques, et ce sera là un présupposé métaphysique que Kepler

¹¹³ « *mathematica causas fieri naturalium (quod dogma Aristoteles tot locis vellicavit), quia Creator Deus mathematica ut archetypus secum ab aeterno habuit in abstractione simplicissima et divina, ab ipsis etiam quantitibus, materialiter consideratis. Aristoteles Creatorem negavit, mundum aeternum statuit: non mirum, si archetypus rejecit: fateor enim nullam illis vim futuram fuisse, si non Deus ipse in illos respexisset in creando.* » *Opera Omnia*, I, p. 136; *Le secret du monde*, XI, note 2, p. 95.

¹¹⁴ « *Neque enim ab ullius numeri nobilitate conjectari poteram cur pro infinitis tam pauca mobilia exitissent.* » *Opera Omnia*, p. 107; *Le secret du monde*, ancienne préface, p. 33.

¹¹⁵ *Idem*.

conservera tout au long de son parcours scientifique. Comme le résume la philosophe Rhonda Martens : « *Kepler's God was a Platonic God, an aesthete and a geometer, who created physical things to express aesthetically pleasing geometrical constructions.* »¹¹⁶

Pour répondre correctement aux questions cosmographiques, le jeune mathématicien doit trouver une façon d'obtenir exactement six orbites à partir de constructions géométriques. Kepler pousse alors plus loin le raisonnement analogique entre le système (*explanans*) et les phénomènes (*explananda*) : les mouvements célestes ayant lieu dans un espace à trois dimensions, ce sont les solides plutôt que les figures géométriques qui permettront d'élaborer un système du monde.

II.4. Les réalités mathématiques comme archétypes : les cinq polyèdres réguliers

Pour obtenir un système qui puisse remplir sa tâche explicatrice, Kepler doit trouver une façon de limiter le nombre de solides qui y sont admissibles. Nous nous rappelons que, dans le cadre de la théorie musicale, seules les figures régulières constructibles par compas et par règle sont admises¹¹⁷. Dans le cas des solides, Kepler se fonde sur la proposition 18 du livre XIII des *Éléments* d'Euclide, où il est démontré que seuls cinq solides réguliers peuvent être construits ou conçus par l'esprit¹¹⁸. C'est dans les cinq solides réguliers platoniciens (figure 2), c'est-à-dire les seuls polyèdres convexes formés de figures équilatères, que l'astronome trouve la pierre de touche de son modèle cosmographique.

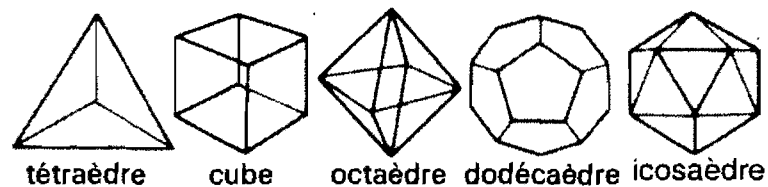


Figure 2. Les cinq polyèdres réguliers

Kepler met en valeur leur supériorité par rapport aux autres solides géométriques:

¹¹⁶ R. Martens, *Kepler's Philosophy and the New Astronomy*. Princeton : Princeton University Press, 2000, p. 48.

¹¹⁷ Voir les sections I.4 et I.5. du chapitre précédent.

¹¹⁸ Cf. *Le secret du monde*, ancienne préface, p. 36. Kepler offre également une étude de ces cinq polyèdres dans son *Harmonice Mundi*, I, proposition XXV.

« La noblesse de ces corps est due à leur simplicité et au fait que leurs faces sont à égale distance du centre de la figure. »¹¹⁹. Un système où de tels solides servent d'archétypes mathématiques pour la construction du monde comporte le grand avantage de répondre aux deux premières des trois questions posées au début de l'ouvrage : si l'on place chacune des trajectoires planétaires sur des surfaces sphériques tangentes, intérieurement et extérieurement, à un des cinq solides platoniciens, tous centrés sur le soleil, non seulement l'on obtient un nombre exact de six planètes, mais leur distance par rapport au Soleil se trouve également dictée par le modèle. Kepler joint à son ouvrage, en planche III, un schéma de son modèle (figure 3).

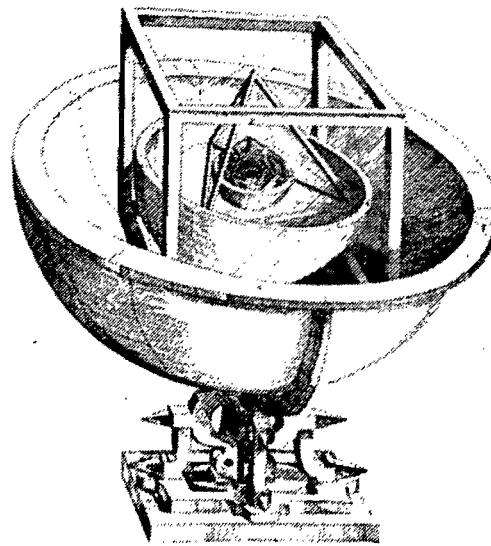


Figure 3. Planche III du *Mysterium Cosmographicum*

Les recherches cosmographiques du *Mysterium Cosmographicum* vont donc dans ce sens : déterminer et justifier rationnellement chacun des emboîtements, pour que chacun ait naturellement une place bien précise dans le système. L'ordre du monde trouvé et justifié par Kepler est le suivant :

0) Soleil

¹¹⁹ « *Corporum nobilitas est ex simplicitate et ex aequalitate distantiae planorum a centro figurae.* » *Opera Omnia*, I, p. 126; *Le secret du monde*, II, p. 70.

- 1) Mercure
-> Octaèdre (8 triangles)
- 2) Vénus
-> Icosaèdre (20 triangles)
- 3) Terre
-> Dodécaèdre (12 pentagones)
- 4) Mars
-> Tétraèdre (4 triangles)
- 5) Jupiter
-> Cube (6 carrés)
- 6) Saturne

Kepler argumente longuement en faveur d'un tel enchaînement des solides : par exemple, les solides primaires – au nombre de trois (dodécaèdre, tétraèdre, cube) – sont ceux qui ne doivent leur origine qu'à eux-mêmes et qui engendrent les solides secondaires (octaèdre, icosaèdre), il est donc logique qu'ils en soient séparés par l'orbe terrestre¹²⁰. Il est intéressant de noter que Kepler assigne une certaine épaisseur aux sphères, afin de rendre compte de l'excentricité des orbites, ce qui permet de conjuguer la perfection sphérique avec les données qui, on le savait déjà¹²¹, ne correspondaient pas à des cercles parfaits; ce n'est qu'en 1609 que Kepler optera pour des orbites elliptiques¹²².

Il est à noter également que, pour Kepler, « les polyèdres n'ont évidemment pas d'existence physique »¹²³; seules leurs proportions permettent de dicter la disposition des orbes. Quant à ceux-ci, ils ne sont pas matériels non plus : « car pour ce qui est de la matière, c'est-à-dire de la constitution des orbes à partir d'une matière adamantine, même

¹²⁰ Pour plus de détails concernant les principes qui régissent l'enchaînement des solides réguliers, voir J. Field, *Kepler's Geometrical Cosmology*, pp. 53-60. Voir également R. Cromwell, *Polyhedra*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997, pp. 139-151.

¹²¹ Copernic utilisait beaucoup d'épicycles dans son système. Cf. T. S. Kuhn, *La révolution copernicienne*, trad. A. Hayli. Paris : Fayard, 1973, pp. 196-202.

¹²² Dans son ouvrage *Astronomia Nova*, qui contient les deux premières des trois lois képlériennes retenues par la science moderne.

¹²³ G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 282.

Ptolémée n'a jamais eu une pensée aussi grossière! »¹²⁴ Or refuser la matérialité des orbes, c'est ouvrir la porte à une étude de la trajectoire des planètes, laquelle relève davantage d'une approche linéaire que d'un solide en trois dimensions. Et de fait, dans la seconde édition du *Mysterium Cosmographicum*, Kepler se reproche d'avoir tout misé sur les solides au point d'avoir rejeté totalement les lignes droites et les surfaces :

Oh! quelle erreur! Devons-nous les rejeter du monde? En fait, dans mon *Harmonie*, par l'effet du droit de retour, je les ai réintroduites! D'ailleurs pourquoi les rejeter? [...] Quand il s'agit d'établir le nombre des corps et l'amplitude des sphères, il faut sans doute éliminer, en premier lieu, les lignes, mais quand il s'agit d'expliquer les mouvements, qui s'accomplissent selon des lignes, n'allons pas mépriser les lignes et les surfaces qui, à elles seules, sont l'origine des rapports harmoniques.¹²⁵

L'étude de ce passage permet de comprendre où se situe la principale différence entre le système élaboré dans le *Mysterium Cosmographicum* et celui dicté par l'*Harmonice Mundi* : alors que les solides platoniciens proposent un modèle statique, les recherches harmoniques proposent une conception dynamique de l'ordre du monde, en mettant l'accent sur la trajectoire des planètes¹²⁶.

Une fois qu'il a élaboré ce modèle fondé sur les polyèdres réguliers, Kepler entend le confronter avec les données¹²⁷. Il est intéressant de voir maintenant comment un tel système, fondé sur des présupposés métaphysiques, est mis à l'épreuve par les données d'observation. Surtout, quel destin Kepler réserve-t-il à son modèle lorsqu'il y a incohérence entre les données prédites par celui-ci et les données expérimentales? C'est ce que nous allons voir maintenant.

¹²⁴ « de materia enim, hoc est, de corpulentia adamantina ne Ptolemaeus quidem adeo crasse philosophatur. » *Opera Omnia*, I, p. 153; *Le secret du monde*, XIV, p. 128.

¹²⁵ « O male factum! E mundone ejiciamus? Imo postliminio revocavi in Harmonicis. Cur autem ejiciamus? [...] In corporum numero, sphaerarum amplitudine constituenda primitus eliminantur sane lineae : at in motibus, qui lineis percipiuntur, exornandis ne contemnamus lineas et superficies, quae solae proportionum harmonicarum sunt origo. » *Opera Omnia*, p. 126; *Le secret du monde*, II, p. 72.

¹²⁶ Ce sera le sujet de notre prochain chapitre.

¹²⁷ Il est à noter que la rédaction du *Mysterium Cosmographicum* s'est effectuée avec les mêmes données que Copernic. En effet, ce n'est qu'en 1600 que Kepler ira travailler auprès de Tycho Brahé et aura ainsi accès aux données les plus exactes de l'époque, ce qui lui permettra d'avoir assez de matériel pour percer le secret de l'orbite de Mars.

II.5. Le modèle du *Mysterium Cosmographicum* mis à l'épreuve par les données expérimentales

Tout d'abord, pour utiliser les termes képlériens, la recherche d'une concordance entre le système et les données d'observation se joue du côté de l'astronomie plutôt que de la cosmographie; cette dernière étant, nous l'avons vu, une discipline mixte, moins rigoureuse, qui vise à mettre au jour les vraies causes plutôt qu'une description numériquement exacte d'un phénomène particulier. Kepler reconnaît toutefois l'urgence de justifier son système face aux astronomes : « [...] je n'ai pas cherché à me soustraire à une condamnation, si jamais mes valeurs s'éloignaient quelque peu de celles de Copernic. »¹²⁸ Les valeurs de Kepler sont celles prédites par son propre système; quant aux valeurs de Copernic, elles tiennent lieu des données expérimentales de l'époque – Kepler n'ayant pas encore enrichi ses données par son séjour auprès de Tycho Brahé – et elles jouent donc le rôle, au moment de la rédaction du *Mysterium Cosmographicum*, des *explananda*.

Avant de passer à cette mise à l'épreuve, Kepler évalue ainsi les arguments cosmographiques qu'il a proposés:

Jusqu'ici tout ce qu'on a dit, ce ne sont que certains indices vraisemblables ou “arguments probables” en faveur du théorème dont nous avons entrepris l'étude. Passons maintenant à l'examen des “distances” des orbites de l'astronomie et aux démonstrations géométriques : si tout cela ne s'accorde pas, alors sans aucun doute tout le travail antérieur n'aura été qu'un plaisant divertissement.¹²⁹

Kepler souligne à maintes reprises le caractère probable ou vraisemblable¹³⁰ de ses arguments cosmographiques. Nous croyons toutefois qu'il est préférable de nuancer cet apparent pouvoir qu'auraient les données de reléguer au rang de « divertissement » un tel système¹³¹. Ainsi, lorsqu'il y aura discordance face aux données empiriques, Kepler aura

¹²⁸ « [...] neque condemnationem deprecatus sum, si meae a Copernicanis aliquantum recederent. » *Opera Omnia*, I, p. 164; *Le secret du monde*, XVIII, p. 147.

¹²⁹ « Hactenus nihil dictum, nisi consentanea quaedam signa et 'eikota' suscepti theorematis. Transeamus modo ad 'aposêmata' orbium astronomiae et demonstrationes geometricas : quae nisi consentiant, procul dubio omnem praecedentem operam luserimus. » *Opera Omnia*, I, p. 148; *Le secret du monde*, XIII, p. 117.

¹³⁰ C'est là une caractéristique importante de la logique abductive déployée dans l'œuvre képlérienne, ce qui sera abordé en détail dans notre cinquième chapitre.

¹³¹ Nous retrouvons ici la même situation que pour le cas des analogies, que Kepler utilise abondamment tout en affirmant à plusieurs reprises qu'il ne s'agit que d'un jeu.

recours à plusieurs stratégies avant de songer à considérer son modèle comme un simple divertissement.

En bon scientifique, Kepler nous invite à user de prudence lors de la comparaison de son système avec les données de Copernic. Tout d'abord, comme nous l'avons vu précédemment, « il nous faut corriger les valeurs de Copernic et les accommoder à l'entreprise que nous poursuivons présentement »¹³², c'est-à-dire qu'il faut les rectifier en prenant le centre du Soleil comme véritable centre de l'univers, et non pas le centre de l'orbe terrestre, comme l'avait fait Copernic. Plus loin, au chapitre XVIII, il va jusqu'à remettre en question les résultats de Copernic, à qui il reproche d'avoir effectué une sélection dans les observations « afin d'utiliser les plus commodes pour son calcul »¹³³. Cependant, Copernic ayant été conscient de la marge d'erreur inhérente à ses recherches, la faute n'est pas imputable au scientifique (dont Kepler fait abondamment l'éloge) mais plutôt à sa science : « Et Copernic semblerait mériter des reproches à bon droit, s'il n'avait agi ainsi en connaissance de cause, pour la raison que mieux valait avoir une astronomie imparfaite que pas d'astronomie du tout. »¹³⁴ Kepler est conscient, tout comme Copernic, que les données sont loin d'être infaillibles : de légères imprécisions (par exemple, dues aux instruments de l'époque) ont des conséquences immenses lorsqu'elles sont mises à l'échelle astronomique. Enfin, Kepler note à plusieurs reprises à quel point les calculs à effectuer pour vérifier son système sont d'une vaste complexité¹³⁵. Par conséquent, tout désaccord potentiel devra être remis dans cette perspective d'erreurs possibles, et par le fait même, s'en trouvera atténué.

Une fois que sont reconnues les causes d'erreur, Kepler entreprend d'éliminer au maximum leur influence en corrigeant les données. Ce fastidieux travail ne débouche par sur une concordance parfaite; mais Kepler note qu'il y a une certaine approximation possible, laquelle ne peut pas être purement fortuite:

¹³² « *retexendi numeri Copernici atque peculiariter accommodandi sunt ad praesens institutum.* » *Opera Omnia*, I, p. 154; *Le secret du monde*, XV, p. 129.

¹³³ « *ut iis eo commodioribus utatur ad exstruendum calculum [...].* » *Opera Omnia*, I, p. 166; *Le secret du monde*, XVIII, p. 151.

¹³⁴ « *Atque adeo in reprehensionem incurrere jure videretur : nisi consulto fecisset, eo quod praestaret, imperfectam quodammodo habere astronomiam, quam penitus nullam.* » *Idem*.

¹³⁵ Il souligne fréquemment l'apport de son ancien professeur Michael Mästlin pour la laborieuse tâche calculatrice.

Tu peux conclure de là combien facilement on aurait remarqué, et quelle énorme diversité dans les nombres se serait présentée, si cette tentative avait été faite contre la nature du ciel, autrement dit : si Dieu lui-même dans la Création ne s'était pas référé à ces proportions. Car ce n'est certainement pas par hasard que les proportions des corps sont si voisines de ces intervalles, entre autres raisons parce que l'ordre de ces intervalles est le même que celui que j'ai attribué aux corps en vertu des excellentes raisons présentées plus haut.¹³⁶

Autrement dit, les données coperniciennes, lorsqu'elles sont étudiées du point de vue d'une structure du monde suivant celle des cinq solides platoniciens, nous donnent un indice que nous sommes, à tout le moins, sur la bonne voie. Cette structure, ayant été démontrée *a priori*, ne saurait être abandonnée sous prétexte que les données empiriques, *a posteriori*, imparfaites par ailleurs, ne s'y accordent pas parfaitement : ce serait une grave erreur de voir là « la moindre occasion de rejeter toute cette entreprise à cause d'une très légère contradiction [...] »¹³⁷. Enfin, Kepler croit qu'il ne dispose pas de données suffisamment étoffées pour rejeter légitimement un modèle aussi puissant.

En outre, les objets ne sauraient nous livrer de façon évidente les lois qui les gouvernent. Si l'on se rappelle la théorie de la *signatura rerum*, les choses sont porteuses d'un secret – caché par la volonté divine – pouvant se révéler à notre esprit : à nous de nous montrer patients et tenaces dans cette quête. De fait, dans ses notes de la seconde édition du *Mysterium Cosmographicum*, Kepler remarque à plusieurs reprises que tous les désaccords ont finalement été réglés dans l'*Harmonice Mundi*, où il a bénéficié entre-temps d'un ensemble de mesures plus précises et où il a pu élaborer un système plus juste se fondant sur l'harmonie musicale, cette dernière pouvant rendre compte du mouvement. En définitive, plutôt que de renier le *Mysterium Cosmographicum*, Kepler apporte des éclaircissements pour montrer que, au bout du compte, son système d'harmonies célestes n'est que l'achèvement de la cosmographie esquissée dans son premier ouvrage.

¹³⁶ « Unde colligere potes, quam facile animadversum fuisset, quantaque numerorum extitisset inaequalitas, si haec contra coeli naturam tentarentur, hoc est, si Deus ipse in creatione non ad has proportiones respexisset. Certe enim fortuitum hoc esse non potest, ut tam propinquae sint intervallis hisce proportiones corporum, cum propter alia, tum maxime, quia idem ordo est intervallorum, quem supra rationibus optimis corporibus ascripsi. » *Opera Omnia*, I, p. 152; *Le secret du monde*, XIV, p. 128.

¹³⁷ « occasionem ullam praebeam totum hoc negotium propter leviculam discordiam rejiciendi [...]. » *Opera Omnia*, I, p. 153; *Le secret du monde*, XV, p. 129.

Maintenant que nous avons éclairci le projet cosmographique de Kepler, nous sommes en mesure de mieux comprendre une partie capitale de son œuvre, soit le cinquième livre de l'*Harmonice Mundi*, qui consiste en une vaste application de ses conceptions musicales au monde céleste (*musica mundana*). Nous allons voir notamment à quel point cette application s'est montrée féconde, débouchant entre autres sur cette fameuse « troisième loi » que les scientifiques ont retenue, à savoir, celle qui énonce le lien entre chaque planète (par sa distance moyenne au soleil) et sa période de révolution : $T^2/a^3=k$.

Chapitre III

Musica mundana : vers une compréhension harmonique du monde

Les vingt-trois années qui séparent la publication du *Mysterium Cosmographicum* et celle de l'*Harmonice Mundi* ont été, pour Kepler, riches en développements scientifiques de toutes sortes. En ce qui concerne le mouvement des astres, l'astronome a eu accès à un ensemble précieux de nouvelles données grâce aux observations de Tycho Brahé, ce qui lui a permis entre autres de constater les nombreuses irrégularités apparentes de l'orbite de Mars. Kepler fait de cette dernière l'objet d'investigations très poussées, et les résultats de ses recherches sont publiés dans son *Astronomia Nova*, en 1609. Cet ouvrage trouve son point culminant dans les deux fameuses lois du mouvement planétaire que les scientifiques ont retenues. La première, dite loi des orbites, énonce que les planètes se meuvent selon une trajectoire elliptique dont le Soleil est l'un des foyers. La seconde, dite loi des aires, affirme que le rayon qui relie le Soleil à une planète balaie des aires égales en temps égaux. L'*Astronomia Nova* propose ainsi un ensemble de développements astronomiques dans une perspective dynamique, qui tient compte des variations de vitesse le long des trajectoires planétaires (mouvements non uniformes). Toutefois, les questions cosmologiques ne s'en trouvent pas davantage éclairées : « Mais les grandes questions posées dans *Le Mystère cosmographique* restent en suspens ou sans réponse. »¹³⁸ C'est que, après les recherches de l'*Astronomia Nova*, il est manifeste que l'ordre du monde selon les cinq polyèdres réguliers n'est plus suffisant pour répondre aux questions relatives aux vitesses (variantes) et, plus généralement, aux mouvements des planètes : de plus en plus, des questions d'ordre temporel font leur apparition, et les proportions, qui au départ n'étaient étudiées que spatialement, sont maintenant recherchées dans des rapports chronologiques.

Il s'agit là d'un rôle important de la notion d'harmonie chez Kepler : permettre le passage d'une conception statique à une conception dynamique de l'ordre du monde. Nous avons vu dans le chapitre précédent que l'étude de cet ordre du monde ne relevait pas uniquement de l'astronomie. Les recherches harmoniques viennent donc, en quelque sorte, à la rescousse des questions cosmologiques, auxquelles Kepler accorde une importance capitale. Comme il l'énonce déjà en mai 1605, dans une lettre à l'attention de Hegulontium

¹³⁸ G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 393.

(Heydonum) : « Que Dieu me délivre de l'astronomie, de sorte que je consacre entièrement mon attention à mes travaux sur l'Harmonie du monde. »¹³⁹

Dans ce chapitre, nous verrons comment s'articule cette compréhension nouvelle de l'ordre du monde via la notion de *musica mundana*, telle que développée dans le cinquième livre de l'*Harmonice Mundi*. En premier lieu, nous (1) examinerons le lien tissé par Kepler entre les harmonies sonores (abordées dans notre premier chapitre) et les harmonies célestes. Ensuite, nous (2) analyserons la méthode utilisée pour trouver des ratios harmoniques dans les mouvements célestes, avant (3) d'étudier le chœur polyphonique des planètes ainsi que (4) le cheminement épistémologique ayant donné naissance à la troisième loi. Nous terminerons par (5) quelques remarques concernant la relation entre le système mis de l'avant dans le *Mysterium Cosmographicum* et celui proposé dans l'*Harmonice Mundi*.

III.1. *Musica humana et musica mundana*

Nous avons vu précédemment (au chapitre I) que, dans l'introduction du troisième livre de l'*Harmonice Mundi*, Kepler a distingué deux études: celle des intervalles harmoniques « concrets avec le son » <*cum sono concretis*> et celle des intervalles « détachés des sons » <*abstracta a sonis*>¹⁴⁰. Kepler commence par mettre au jour les principes géométriques des consonances (au livre III) avant de se pencher sur le cas des harmonies présentes dans les mouvements célestes. Comment comprendre alors ce passage de la *musica humana* à la *musica mundana*? Nous pourrions concevoir la musique humaine comme une imitation de la musique céleste, tel que le suggère Kepler en certains endroits. C'est le cas de cet extrait : « et on devra enseigner non seulement ce qui relève des proportions harmoniques abstraites, mais encore l'imitation de la création des humains dans le chant, en premier lieu [...] »¹⁴¹ La musique sonore serait donc une voie pour comprendre le mouvement céleste, en ce qu'elle nous introduirait à des principes communs, la première

¹³⁹ « *Deus me ex astronomia expediat, ut ad curam operis mei de Harmonia mundi converterar.* » *Opera Omnia*, I, p. 370 (ma traduction).

¹⁴⁰ *Opera Omnia*, V, p. 134; *L'harmonie du monde*, III, p. 93.

¹⁴¹ « *dicendumque non tantum de proportionibus harmonicis abstractis, sed etiam praeoccupandum hoc humanum creationis imitamentum in cantu [...]* » *Opera Omnia*, V, p. 129; *L'harmonie du monde*, III, p. 84 (trad. modifiée).

étant le reflet de la seconde – et vice versa, pourrait-on ajouter sans se tromper. Car il convient de ne pas perdre de vue que, s'il y a un rapport d'imitation de l'une à l'autre, ce n'est qu'en apparence; elles sont en réalité deux fruits distincts d'un même modèle, celui utilisé par Dieu lors de la création. D'où l'affirmation de D.P. Walker : « *Kepler makes it clear that our music is not an imitation of celestial music; their relationship is that of two independent products of the same geometric archetypes* »¹⁴².

Une fois qu'il a montré au lecteur comment l'on peut expliquer les harmonies sonores au moyen des figures régulières, Kepler passe aux harmonies qui ont lieu dans les mouvements planétaires. Mais comment faire « chanter » les planètes? Est-ce à dire qu'elles provoquent, au cours de leurs trajets perpétuels autour du Soleil, des notes de musique pouvant être perçues par une oreille particulièrement subtile? Pour éviter ce genre d'interprétation littérale, Kepler pose ici une distinction entre harmonies sonores et harmonies visuelles :

Mais à quel bien ces harmonies entre les chemins, ou qui percevra ces harmonies? Il y en a deux, qui nous révèlent les harmonies dans les choses naturelles : ou la lumière, ou le son, la première est reçue par les yeux ou par les sens cachés analogues aux yeux, le second par les oreilles; et l'esprit saisissant ces espèces, soit par l'instinct [...], soit par le raisonnement Astronomique ou Harmonique, distingue le bien proportionné du non proportionné. Maintenant il n'y a aucun son dans le ciel, et le mouvement n'est pas si turbulent au point qu'un son aigu soit excité à partir du frottement du souffle céleste. Il reste la lumière : si celle-ci doit instruire au sujet des chemins des Planètes, elle instruira ou les Yeux, ou un analogue sensoriel à eux, placé en un endroit déterminé [...].¹⁴³

D'une étude du son, on passe donc à une étude de la lumière. C'est cette dernière qui sera maintenant l'objet de consonances ou de dissonances, et les oreilles laissent leur place aux yeux pour recueillir les termes en jeu. En continuité avec ses positions héliocentriques, Kepler situe le meilleur point de vue pour « voir » ces harmonies dans le Soleil; dès lors,

¹⁴² D.P. Walker, "Kepler's Celestial Music", p. 247.

¹⁴³ « *At cui bono harmoniae inter itinera, aut quis has harmonias percipiet? Duo sunt, quae nobis harmonias in rebus naturalibus patefaciunt : vel lux vel sonus, illa per oculos sensusve occultos oculis analogos, hic per aures recepti; quas species occupans mens, sive instinctu [...] sive per ratiocinationem astronomicam vel harmonicam dijudicat concinnum ab inconcinno. Jam soni in coelo nulli existunt, nec tam turbulentus est motus, ut ex attritu aerae coelestis eliciatur stridor. Restat lux; si haec docere debet de itineribus planetarum, docebit vel oculos vel sensorium iis analogon, situm in certo loco [...].* » *Opera Omnia*, V, p. 286; *L'harmonie du monde*, V, pp. 317-318 (trad. modifiée).

les distances et vitesses métriques des planètes devront être converties sous leur forme angulaire, tel que perçues depuis le centre du monde : « [...] j'ai conclu droitement qu'il fallait tourner nos yeux vers les arcs diurnes Apparents, et certes tous apparents à partir d'un endroit déterminé et remarquable du Monde, à savoir à partir du corps même du Soleil, source de tous les Mouvements des Planètes [...]. »¹⁴⁴

À partir de ces données – positions et vitesses variantes des planètes observées depuis le Soleil – Kepler se met en quête de rapports harmoniques. Comme le note G. Simon :

L'idée est de rechercher s'il existe dans ce qui se rapporte aux mouvements planétaires des relations significatives, analogues à celles dont pour la musique les premiers livres de *L'Harmonie du monde* ont dégagé la simplicité, la beauté à la fois sensible et rationnelle, le fondement apriorique et l'origine providentielle.¹⁴⁵

Voyons maintenant comment se présente cette étude de la *musica mundana*.

III.2. La recherche des ratios harmoniques

Kepler procède d'abord par essais et erreurs pour dégager des proportions intéressantes. À cette étape de la recherche, il aurait été difficile d'avoir recours à une autre méthode étant donné que les mouvements célestes, contrairement aux intervalles musicaux, ne se présentent pas immédiatement comme « consonants » ou « dissonants »; au contraire, beaucoup de calculs sont nécessaires pour vérifier s'il y a ou non une régularité mathématique reliant les différents paramètres qui sont en jeu.

En premier lieu, Kepler s'intéresse aux données les plus simples, invariables : les temps périodiques. Après quelques tâtonnements, l'astronome ne trouve pas de résultats satisfaisants à ses yeux : il n'arrive pas à trouver le même genre de régularités mathématiques qu'en théorie de la musique. Il s'intéresse alors aux grandeurs des orbites, mais dans une perspective différente de celle du *Mysterium cosmographicum* : il dresse un

¹⁴⁴ « [...] conclusi recte [...] oportere nos oculos convertere ad apparentes arcus diurnos et apparentes quidem omnes ex uno certo et insigni mundi loco, scilicet ex ipso corpore Solari, fonte motus omnium planetarum [...]. » *Opera Omnia*, V, p. 287; *L'harmonie du monde*, V, p. 318.

¹⁴⁵ G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 408.

tableau¹⁴⁶ tenant compte, pour chacune des planètes, de leurs distances au périhélie (le point où elles sont le plus rapprochées du Soleil) et à l'aphélie (le point où elles sont le plus éloignées du Soleil). L'astronome forme différents rapports entre ces distances, s'intéressant notamment aux cas qui concernent deux planètes voisines. Toutefois, il échoue à nouveau dans sa tentative de les relier de façon convaincante à des proportions harmoniques. Kepler attribue cet échec au caractère statique, invariant des paramètres étudiés :

D'abord ces intervalles sont des longueurs sans mouvement et ne sont pas examinés convenablement d'après les [intervalles] harmoniques, parce que le mouvement est un sujet très commun aux harmonies, à cause de la rapidité et de la lenteur.¹⁴⁷

Pour étudier les planètes selon leurs mouvements, Kepler choisit d'utiliser leurs « courses diurnes » < *itineraria diurna* >¹⁴⁸, c'est-à-dire les distances qu'elles parcourent en une journée. Afin de mieux les percevoir, l'astronome s'intéresse encore une fois à leurs valeurs extrêmes : lorsqu'elles sont en aphélie et en périhélie. Cette étude ne procure pas plus de satisfaction que précédemment : aucun rapport harmonique n'est trouvé. Notons toutefois que l'astronome, à cette étape, utilise encore les distances linéaires. C'est d'ailleurs suite à l'infécondité de ces approches qu'il décide de passer aux distances angulaires diurnes, observées depuis le Soleil, ce qui lui semble plus approprié pour connaître les harmonies visuelles.

L'étude des vitesses angulaires donne immédiatement des résultats significatifs, que Kepler réunit au sein d'un tableau¹⁴⁹ (figure 4) décisif pour la suite de ses recherches. Tout d'abord, chaque planète est étudiée individuellement eu égard à ses vitesses extrêmes : la colonne du tableau intitulée « arcs diurnes apparents » présente, pour chacune des planètes, le rapport entre sa distance diurne observée à l'aphélie et celle au périhélie. Cet rapport est ensuite approximé à la proportion harmonique la plus près, qui est indiquée en avant-dernière colonne, à côté des valeurs idéales qui donneraient cette proportion. L'idée est de nous montrer que les valeurs observées et idéales sont très rapprochées : J.V. Field note que

¹⁴⁶ Cf. *Opera Omnia*, V, p. 284; *L'harmonie du monde*, V, p. 315.

¹⁴⁷ « *Primum intervalla haec, in quantum sunt longitudines sine motu, non apte ad harmonica examinantur, quia harmoniis magis familiare subjectum est motus, causa celeritatis et tarditatis.* » *Opera Omnia*, V, p. 285; *L'harmonie du monde*, V, p. 316 (trad. modifiée).

¹⁴⁸ *Opera Omnia*, V, p. 286.

¹⁴⁹ Cf. *Opera Omnia*, V, p. 287.

la différence se situe entre 1% et 3%¹⁵⁰. En dernière colonne, on retrouve l'intervalle musical associé à la proportion idéale trouvée.

Le tableau présente également les proportions entre planètes voisines, à partir des valeurs idéales. La première colonne présente leur *motus diversi*, c'est-à-dire le rapport entre leurs vitesses lorsque la différence entre ces deux valeurs est la plus grande; ce qui se produit lorsque la planète la plus rapide des deux, c'est-à-dire la plus basse (près du Soleil), est au périhélie et que la plus haute est à l'aphélie. En seconde colonne, on retrouve leur *motus conversi*, c'est-à-dire le rapport entre les vitesses lorsque les valeurs de ces dernières sont le plus rapprochées, à savoir, lorsque la plus haute des planètes est au périhélie et la plus basse est à l'aphélie.

Harmonies entre deux planètes		Arcs diurnes apparents			Harmonies propres à chaque planète	
Divergentes	Convergentes					
		Saturne	aphélie périhélie	1'46'' a 2'15'' b	$\frac{1'48''}{2'15''} = \frac{4}{5}$	Tierce majeure
$\frac{a}{d} = \frac{1}{3}$	$\frac{b}{c} = \frac{1}{2}$					
		Jupiter	aphélie périhélie	4'30'' c 5'30'' d	$\frac{4'35''}{5'30''} = \frac{5}{6}$	Tierce mineure
$\frac{c}{f} = \frac{1}{8}$	$\frac{d}{e} = \frac{5}{24}$					
		Mars	aphélie périhélie	26'14'' e 38'1'' f	$\frac{25'21''}{38'1''} = \frac{2}{3}$	Quinte
$\frac{e}{h} = \frac{5}{12}$	$\frac{f}{g} = \frac{2}{3}$					
		Terre	aphélie périhélie	57'3'' g 61'18'' h	$\frac{57'28''}{61'28''} = \frac{15}{16}$	Demi-ton
$\frac{g}{k} = \frac{3}{5}$	$\frac{h}{i} = \frac{5}{8}$					
		Vénus	aphélie périhélie	94'50'' i 97'37'' k	$\frac{94'50''}{98'47''} = \frac{24}{25}$	Dièse
$\frac{i}{m} = \frac{1}{4}$	$\frac{k}{l} = \frac{3}{5}$					
		Mercure	aphélie périhélie	164'0'' l 384'0'' m	$\frac{164'0''}{394'0''} = \frac{5}{12}$	Octave + tierce min.

Figure 4. Table des vitesses angulaires

¹⁵⁰ J.V. Field, *Kepler's Geometrical Cosmology*, p. 148.

Kepler est très satisfait des résultats obtenus entre les planètes voisines. Par exemple, en ce qui concerne Saturne et Jupiter :

Mais dans les mouvements extrêmes des deux planètes réunies ensemble, la très claire lumière des harmonies célestes s'élève aussitôt en première vue, que tu compares entre eux soit les mouvements extrêmes divergents, soit les convergents. En effet, entre les convergents de Saturne et de Jupiter, la proportion est très exactement le double ou l'Octave; entre les divergents, davantage environ que le triple ou l'octave avec la Quinte.¹⁵¹

L'astronome est conscient que les proportions parfaites ne sont pas, en fait, « très exactement » celles qui sont observées. Mais si l'on traduisait les rapports observés en termes musicaux, nous dit Kepler, la différence entendue ne serait qu'une fraction de comma; aussi bien dire que l'oreille ne pourrait la percevoir¹⁵². Le scientifique conclut donc que l'on peut raisonnablement considérer que les différences entre proportions observées et idéales sont négligeables.

Évidemment, le système n'est pas encore parfaitement adéquat. Ainsi, Kepler s'inquiète des proportions observées entre Mars et Jupiter, qui semblent un peu trop éloignées des valeurs idéales. L'astronome invoque alors son modèle du *Mysterium Cosmographicum* pour combler cette lacune. Comme le résume G. Simon : « ce qui toutefois reste défectueux dans les harmonies est compensé par l'architecture des polyèdres, car la pyramide s'intercale parfaitement dans le grand espace qui sépare les deux astres. »¹⁵³ Plus encore qu'à l'époque du *Mysterium Cosmographicum*, Kepler tient très fortement à ce que son système soit en accord avec les données observées : « *Kepler has shown very good observational evidence for the existence of 'musical' ratios among the extreme velocities of the planets.* »¹⁵⁴

En ce qui concerne les harmonies propres à chaque planète (cf. trois dernières colonnes du tableau), Kepler remarque qu'il ne faut pas les traiter de la même façon que les

¹⁵¹ « *At in binorum inter se collatorum planetarum motibus extremis clarissimus Sol harmoniarum coelestium statim ad primum aspectum enitur, sive diversos motus extremos inter se compares, sive conversos. Nam inter conversos Saturni et Jovis proportio est exactissime dupla seu diapason, inter diversos paulo admodum amplius quam tripla, seu diapason cum diapente.* » *Opera Omnia*, V, p. 288; *L'harmonie du monde*, V, p. 320-321 (trad. modifiée).

¹⁵² Cf. *L'harmonie du monde*, V, p. 322.

¹⁵³ G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, pp. 414-415. Kepler utilise donc parfois son système de polyèdres réguliers pour compléter sa théorie harmonique. Nous y reviendrons dans la section III.5.

¹⁵⁴ J.V. Field, *Kepler's Geometrical Cosmology*, p. 150.

harmonies entre deux planètes. En effet, jamais une planète isolée ne produira l'intervalle obtenu entre ses vitesses extrêmes, car elle ne pourra se retrouver au même moment à l'aphélie et au périhélie¹⁵⁵. Son parcours individuel relève davantage de la monodie et d'une approche plus mélodique, comme celle des Anciens. Par contre, ces chants planétaires individuels sont réunis en chœur dans le ciel, et les harmonies engendrées par ces mouvements simultanés peuvent être contemplées au sein d'une polyphonie.

III.3. Le chœur des planètes

Kepler poursuit sa transcription musicale des mouvements célestes en attribuant, pour chaque planète, son propre motif mélodique. Pour ce faire, les vitesses angulaires sont considérées maintenant en chacun des moments de la trajectoire planétaire : à chaque vitesse correspond un ton (hauteur de note) particulier. Par conséquent, le motif musical engendré sera plus ou moins étendu en fonction de la variation de vitesse que la planète subit au cours de son périple autour du Soleil. Ainsi, plus le motif est étendu, plus le mouvement de la planète s'éloigne d'un mouvement uniforme et que son orbite tend vers l'ellipse plutôt que le cercle. En outre, plus une planète sera rapide, plus elle « chantera » dans un registre aigu. Le ton le plus bas est donc attribué à Jupiter, lorsqu'elle se trouve en aphélie, alors que la note la plus aiguë sera engendrée par le mouvement de Mercure au périhélie. Après avoir énoncé de nombreux principes techniques¹⁵⁶ reliant chaque vitesse à une note bien précise, Kepler obtient pour chacune des planètes un parcours déterminé sur l'échelle musicale (figure 5).

Les planètes ont donc, individuellement, leurs propres registres et leurs propres parcours. Lorsqu'ils sont perçus simultanément, ces sept « chants » individuels (en incluant celui de la Lune) produisent un accord. Ce dernier n'est pas parfaitement harmonieux – une telle harmonie complète entre les sept sons serait exceptionnelle, et n'a peut-être été produite qu'au moment de la Création, nous suggère Kepler¹⁵⁷ – mais la succession de ces

¹⁵⁵ Cf. *L'harmonie du monde*, p. 323.

¹⁵⁶ Pour une description particulièrement détaillée de ces principes, voir B. Stephenson, *Kepler's Physical Astronomy*. Princeton : Princeton University Press, 1994, pp. 154-184.

¹⁵⁷ Cf. *Opera Omnia*, V, p. 296.

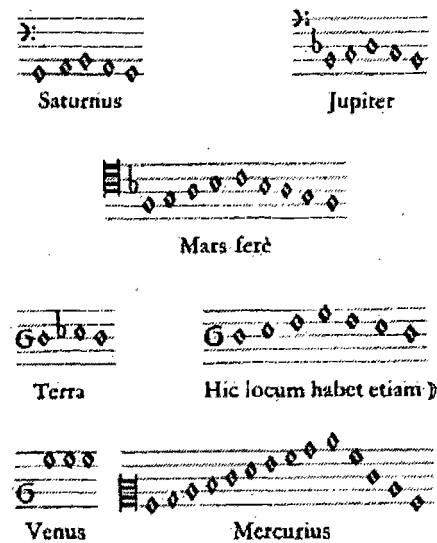


Figure 5. Les motifs musicaux des planètes

moments permet d'obtenir une œuvre musicale commune. En outre, si nous étudions les modulations qui se présentent au fil de leurs parcours individuels, nous pouvons découvrir des éléments de contrepoint (syncopes, cadences)¹⁵⁸ qui permettent de relever des correspondances entre les planètes; et au bout du compte, on obtient que les variations individuelles prennent leur sens au sein d'une « symphonie de plusieurs voix obtenue par l'art » <*per artificiosam plurium vocum symphoniam*>¹⁵⁹.

Bien que d'autres aspects détaillés de l'harmonie céleste soient abordés dans le cinquième livre de l'*Harmonice Mundi* – tels que des liens entre les types de voix humaines et les planètes, par exemple – nous arrêterons ici notre explication de l'entreprise képlérienne visant à bâtir un système polyphonique du mouvement planétaire. Non pas que ces éléments soient dénués d'intérêt, mais ils n'ajouteraient rien de significatif à notre enquête épistémologique. Nous préférons passer directement à l'analyse d'un des plus beaux héritages que l'œuvre képlérienne nous ait légués, soit la célèbre troisième loi, formulée au passage parmi les recherches de la *musica mundana*.

¹⁵⁸ Cf. G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 417.

¹⁵⁹ *Opera Omnia*, V, p. 299.

III.4. La découverte de la troisième loi

La formulation de la troisième loi de Kepler apparaît à l'improviste au chapitre III du cinquième livre de l'*Harmonice Mundi*, sans explications précises sur les étapes ayant conduit à sa découverte. À première vue, cela peut nous sembler surprenant chez un scientifique comme Kepler, qui nous présente habituellement sa démarche rationnelle de façon détaillée. Tout au plus nous donne-t-il des renseignements sur les dates où il a eu cette inspiration et sur les nombreux efforts qui ont été requis avant d'en arriver à cette découverte. Cependant, les dates qu'il nous fournit sont révélatrices : en les regardant de plus près, nous pouvons constater que la date où il l'a formulée n'était que douze jours avant celle où il a terminé le cinquième livre de l'*Harmonice Mundi*, que les autres livres étaient déjà en train de se faire imprimer à ce moment-là et que Kepler a dû apporter des modifications à son livre pour inclure cet élément¹⁶⁰. Cette précision historique nous incite à relativiser l'importance de cette loi eu égard au propos principal de l'œuvre : « *The third law is not given a prominent position in 'Harmonices Mundi' Book V [...].* »¹⁶¹

La troisième loi est énoncée de la façon suivante : « Mais il est très certain et très exact que le rapport entre les périodes de deux planètes quelconques est dans une proportion précisément sesquialtère de leurs distances moyennes, c'est-à-dire de leurs orbites. »¹⁶² En notation moderne, nous pouvons l'écrire sous la forme suivante :

$$\frac{T_a^2}{T_b^2} = \frac{R_a^3}{R_b^3}$$

où T représente la période, R la distance moyenne au Soleil (nous utilisons aujourd'hui le demi-grand axe a de la trajectoire elliptique), pour deux planètes quelconques a et b . Cette proportion permet de déterminer la période de chaque planète à partir de sa distance moyenne au Soleil (et vice versa) puisque nous obtenons, pour une planète individuelle : $T^2/R^3 = k$, où k est une constante.

¹⁶⁰ Voir O. Gingerich, "The Origins of Kepler's Third Law". In *Kepler : Four Hundred Years*. New York : Pergamon Press, 1975, pp. 595-601.

¹⁶¹ J.V. Field, *Kepler's Geometrical Cosmology*, p. 144.

¹⁶² « *Sed res est certissima exactissimaque, quod proportio, quae est inter binorum quorumcunque planetarum tempora periodica, sit praecise sesquialtera proportionis mediarum distantiarum, id est orbium ipsorum [...].* » *Opera Omnia*, V, p. 279 (ma traduction).

La manière dont Kepler a découvert cette loi demeure un mystère. La plupart des commentateurs ont conclu qu'elle était issue d'une sorte de tâtonnement empirique, alors que d'autres ont suggéré qu'il s'agissait plutôt du résultat d'une dérivation à partir de ses recherches harmoniques¹⁶³. Aujourd'hui, les études sur la démarche scientifique utilisant l'abduction semblent donner des pistes fructueuses pour éclairer cette question, ce que nous aurons l'occasion d'aborder en détail dans le cinquième chapitre du présent mémoire. Pour l'instant, nous aimerions toutefois situer cette loi au cœur du projet cosmographique képlérien.

À cet effet, il est intéressant de noter que l'étude du rapport entre les périodes des planètes et leurs distances se retrouvait déjà dans le chapitre XX du *Mysterium Cosmographicum*. L'astronome commence par faire remonter cette quête à Aristote, qui dans le traité *Du ciel*, propose le raisonnement suivant : « Il se fait que les mouvements d'un chacun [*sc.* chaque astre] sont proportionnels aux distances, les uns étant plus rapides, et les autres plus lents. »¹⁶⁴ Autrement dit, plus une planète est éloignée du centre du monde, plus elle aura un long temps de révolution : il s'agit là du sens commun, nous dit Kepler. Mais en observant les données empiriques, une telle relation de proportionnalité directe n'est pas viable :

Pourtant, si tu veux passer au calcul pour établir le rapport de chacun des mouvements à son orbe respectif sur le modèle du rapport du mouvement de Saturne à la grandeur de son orbe, c'est-à-dire à sa distance au centre (en effet, les cercles ont même rapport entre eux que leurs rayons), tu découvriras qu'une relation simple de ce type n'existe pas.¹⁶⁵

Un tableau numérique vient alors illustrer l'échec de cette conception. Afin de mieux rendre compte des phénomènes et de « trouver quelque régularité dans les proportions » *<proportionum aequalitatem ullam sperare>*¹⁶⁶, Kepler pose l'existence d'une « âme

¹⁶³ Pour une description sommaire du débat, voir R. Martens, *Kepler's Philosophy and the New Astronomy*, p. 122.

¹⁶⁴ Aristote, *Du ciel*, II, 10, trad. P. Moraux. Paris : Belles Lettres, 1965, p. 79. Notons que le modèle aristotélicien étant géocentrique, les distances auxquelles il fait référence sont celles qui séparent les sphères planétaires de la première sphère.

¹⁶⁵ « *Verum si ad calculos revoces, ita ut quanta est proportio motus Saturni ad ambitum orbis sive ad distantiam (eadem enim est proportio circularum, quae semidiametrorum), tantam etiam facias proportionem ceterorum motuum cujusque ad suum orbem : deprehendes ejusmodi simplicem proportionem non habere locum.* » *Opera Omnia*, I, p. 173; *Le secret du monde*, XX, pp. 167-168.

¹⁶⁶ *Opera Omnia*, I, p. 174; *Le secret du monde*, XX, p. 169.

motrice » à l'intérieur du Soleil¹⁶⁷; ce qui est, encore une fois, en parfaite continuité avec ses positions fortement héliocentriques. En posant que cette « âme motrice » agit sur les corps de la même façon que le Soleil diffuse sa lumière et en utilisant les lois optiques de l'époque, l'astronome obtient la formule suivante (en notation moderne¹⁶⁸) :

$$\frac{R_a}{R_b} = \frac{T_a}{T_a + \frac{T_b - T_a}{2}} ;$$

où T et R représentent encore, respectivement, les périodes et les rayons des orbites des planètes a et b . Kepler n'est pas totalement convaincu de la justesse de cette relation; mais les données de l'époque ne sont pas encore suffisamment fiables et exhaustives pour permettre de la rejeter. Nous pouvons toutefois voir là une première forme – erronée – de sa troisième loi, qui ne sera formulée dans sa version finale que vingt-trois ans plus tard.

Que penser alors du rôle de sa théorie harmonique dans cette découverte? Un tel lien aurait pu être évident si, par exemple, le rapport entre les périodes et les distances des planètes avait pu être déterminé directement par un intervalle musical précis; mais il n'en va pas ainsi du rapport sesquialtère. Est-ce à dire que cette loi n'est que le fruit d'un tâtonnement empirique indépendant de ses conceptions harmoniques? Une telle conception serait fautive, selon nous. Il est vrai que la *musica mundana* ne permet pas de déduire directement le rapport 3/2. Il semble même que Kepler lui-même n'était pas fixé sur la signification de cette loi ni sur son statut. Comme le relève B. Stephenson :

*Probably Kepler in 1618, trying furiously to assimilate the new discovery into his harmonic speculations and physical theories, was not altogether certain whether the harmonic law was itself one of the Creator's archetypal principles (and hence exact "by construction") or whether it was instead a consequence of other archetypes.*¹⁶⁹

Mais lorsque nous suivons l'itinéraire rationnel exposé dans le cinquième livre de l'*Harmonice Mundi*, il est clair que les considérations harmoniques ont au moins le mérite

¹⁶⁷ Il ne s'agit là que d'une hypothèse, que Kepler corrige dans la deuxième édition du *Mysterium Cosmographicum* en proposant de remplacer « âme » <anima> par « force » <vim>, laquelle est « quelque chose de corporel, sinon au sens propre, au moins d'une manière équivoque, tout comme nous disons que la lumière est quelque chose de corporel, c'est-à-dire une *species* qui provient d'un corps, mais qui est immatérielle. » <corporeum aliquid, si non proprie saltem aequivoce; sicut lumen dicimus esse aliquid corporeum, id est, speciem a corpore delapsam, sed immateriatam.> *Opera Omnia*, I, p. 176; *Le secret du monde*, XX, n. 3 de Kepler, p. 172.

¹⁶⁸ Cf. G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 287.

¹⁶⁹ B. Stephenson, *The Music of the Heavens : Kepler's Harmonic Astronomy*, p. 141.

d'avoir permis de poser le problème en des termes différents de ceux que l'on retrouve dans le *Mysterium Cosmographicum*. Nous avons ainsi constaté que les recherches harmoniques ont amené Kepler à étudier les mouvements de chaque planète en chaque moment de sa trajectoire, en tenant compte des variations de sa vitesse; Kepler allait forcément être amené à se réinterroger sur le lien entre ces vitesses et les positions de la planète dans son parcours orbital. Nous avons vu aussi que Kepler, au fil de sa quête des proportions harmoniques, a étudié les rapports des vitesses extrêmes entre planètes voisines (comme dans la figure III.1), ce qui était encore un pas vers la troisième loi, laquelle concerne les rapports entre deux planètes. Nous sommes donc en accord avec une affirmation comme celle de G. Simon : « La spéculation harmonique fut donc ici le guide spécifique qui maintint sa réflexion dans les limites étroites d'une investigation de la relation différentielle, d'un astre à l'autre, des temps en fonction des distances. »¹⁷⁰

Si la vision harmonique du cosmos ne permettait pas de déduire la troisième loi, il n'en demeure pas moins qu'elle a joué un rôle heuristique important en dirigeant l'attention du chercheur vers l'étude de paramètres importants (périodes, distances au Soleil et vitesses variantes); et une fois formulée, la troisième loi n'a pas eu besoin d'être justifiée davantage puisqu'elle s'inscrivait au sein d'un édifice théorique suffisamment développé¹⁷¹.

III.5. Cosmos géométrique vs cosmos harmonique

L'approche différentielle est parfaitement compatible avec une conception harmonique du mouvement céleste, où les « chants » individuels des planètes se déploient en chœur au fil du temps selon des proportions remarquables. Kepler, dans l'avant-dernier chapitre de l'*Harmonice Mundi*, remarque que ses recherches harmoniques lui ont permis de passer d'une conception statique (purement spatiale et géométrique) à une conception dynamique de l'ordre (*kósmos*) du monde. Il compare d'ailleurs son ancienne quête à celle d'une matière dont il manquait le principe de vie, l'âme :

Bien entendu, je ne cherchais dans cette maison du Monde rien d'autre que des pierres, de forme très élégantes, mais ignorant ce qui conviendrait à ces pierres;

¹⁷⁰ G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 413.

¹⁷¹ Nous reviendrons sur les valeurs heuristique et justificatrice de l'harmonie dans notre dernier chapitre, qui porte sur l'abduction.

l'Architecte les a modelées dans l'image très articulée d'un corps animé. Ainsi peu à peu, surtout dans ces trois dernières années, j'en suis venu aux Harmonies [...]; c'est-à-dire qu'elles procuraient le nez, les yeux et les membres restants à la statue à laquelle les figures avaient prescrit seule la quantité externe de masse brute.¹⁷²

Cette citation montre bien que, pour Kepler, la conception harmonique du monde permet de compléter le projet initial et de mieux répondre aux questions cosmographiques concernant le mouvement des planètes. En d'autres mots, Kepler conçoit maintenant le monde comme ayant été créé selon des archétypes non seulement géométriques, mais aussi harmoniques. Comme le résume bien J. Kozhamthadam : « *God is not just a dry mathematician, not just a dry logician, but is also a lover of aesthetic beauty. God is a musician. In creating the universe, God used not only the laws of geometry but also those of harmony, particularly the laws of musical harmony.* »¹⁷³

Les considérations géométriques demeurent toutefois pertinentes lorsqu'il s'agit de voir le monde selon son organisation purement spatiale. Nous avons vu, à la fin de la section III.2, que ce modèle fondé sur les solides platoniciens permet même de combler certaines lacunes propres au modèle harmonique, surtout lorsqu'il s'agit de justifier les proportions entre planètes voisines. D'où la remarque de J.V. Field : « *However, the justifications of the musical ratios found between motions of neighbouring pairs of planets generally depend upon the polyhedron associated with their orbs.* »¹⁷⁴

Certes, la théorie de l'*Harmonice Mundi* a permis de préciser, corriger, dynamiser et compléter le système du *Mysterium Cosmographicum*; mais l'apport de ce dernier comme élément justificateur de certaines considérations harmoniques n'est pas à négliger non plus. En fin de compte, plutôt que de caractériser cette relation comme une simple continuité¹⁷⁵ ou, au contraire, comme une relation de remplacement, nous pourrions envisager une

¹⁷² « *Scilicet in hac mundi domo quaerebam nil nisi saxa, formae elegantioris, sed quae saxis conveniret, ignarus, Architectum illa finxisse in articulatissimam effigiem animati corporis. Ita paulatim, his praesertim ultimis 3 annis, ventum ad harmonias [...]; illae scilicet nasum, oculos et reliqua membra conciliabant statuae, cui istae solam externam rudis massae quantitatem praescripserant.* » *Opera Omnia*, I, p. 322; *Le secret du monde*, V, p. 378 (trad. modifiée).

¹⁷³ J. Kozhamthadam, *The Discovery of Kepler's Laws : The Interaction of Science, Philosophy, and Religion*. Notre Dame et Londres : University of Notre Dame Press, 1994, p. 77.

¹⁷⁴ J.V. Field, *Kepler's Geometrical Cosmology*, pp. 154-155.

¹⁷⁵ Un commentateur comme W. Diederich voit le système de l'*Harmonice Mundi* comme étant la somme du *Mysterium Cosmographicum* et de l'*Astronomia Nova*, d'où sa formule : $MC + AN = HM$. Cf. W. Diederich, "The Structure of the Copernican Revolution", *Diálogos*, Vol. 36 (2001), no. 77, pp 7-24.

relation dynamique où l'une et l'autre s'influencent afin de mieux répondre à des questions cosmographiques communes.

Notons que certains philosophes des sciences ont mis en valeur l'apport du réalisme¹⁷⁶ à la volonté képlérienne de formuler des explications complètes, originelles et cohérentes des phénomènes astronomiques. Il est vrai que son présupposé métaphysique à l'effet qu'il existe des proportions mathématiques stables dans la nature lui a servi de moteur dans sa quête de l'ordre harmonique du monde. Mais pour mener à terme une recherche colossale comme celle de Kepler, encore faut-il avoir confiance que nous puissions connaître ces régularités mathématiques. À cet effet, nous avons vu¹⁷⁷ par exemple que seules les figures régulières pouvant être construites avec un compas sont admises pour rendre compte des consonances musicales, car ce sont les seules qui puissent être connues, c'est-à-dire mesurables à partir d'elles-mêmes. Cette affirmation illustre un point capital chez Kepler : l'ordre harmonique est intimement relié à sa connaissance. Nous allons donc tourner maintenant notre enquête vers l'activité de l'âme qui consiste à saisir ces archétypes géométriques et harmoniques.

¹⁷⁶ Par opposition à un instrumentalisme visant uniquement à rendre compte des phénomènes. Cf. P. Duhem, *Sauver les apparences. Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*. Paris : Vrin, 1990, 160 p.

¹⁷⁷ Au premier chapitre du présent mémoire, section I.4.

Chapitre IV

L'harmonie comme activité de l'âme

Le propos des ouvrages képlériens étant essentiellement scientifique, nous n'y retrouvons pas de théorie de la connaissance proprement dite. Cependant, de nombreux éléments nous montrent clairement que sa recherche des régularités mathématiques présentes dans le monde s'appuie sur l'assurance que nous puissions les connaître. Jusqu'à présent, nous avons vu les présupposés métaphysiques qui justifiaient, aux yeux de l'astronome, que le monde soit ordonné, et ce, en suivant des proportions tirées de la géométrie; nous avons vu également comment l'ordre du monde pouvait se comprendre ensuite de façon dynamique, tant sur le plan de la *musica humana* que sur celui de la *musica mundana*, par le biais de proportions harmoniques. Pour compléter notre portrait épistémologique de cette quête cosmographique, il nous reste à voir maintenant comment Kepler justifie le fait que nous puissions connaître cet ordre du monde : autrement dit, comment avoir l'assurance que nous ayons bel et bien un accès rationnel aux « vraies » proportions harmoniques? Certes, une correspondance avec les données expérimentales n'est pas une preuve négligeable; mais Kepler, nous l'avons vu, ne saurait se contenter d'une conception instrumentale et uniquement prédictive de sa science. Son projet s'inscrit dans une volonté de connaître véritablement le monde. Or en vertu de quoi une telle science est-elle possible? Dès son premier ouvrage, nous pouvons trouver de nombreux éléments en faveur d'une conception innée de la connaissance, suivant la tradition platonicienne de la réminiscence. Mais c'est grâce à la notion d'harmonie que son système prendra de nouvelles fondations : c'est que pour Kepler, l'harmonie en son sens le plus fondamental est inséparable de la connaissance juste des proportions. D'où la formule de H.F. Cohen au sujet de la conception képlérienne: « *harmony is not something given from outside; rather harmony is an activity of the soul.* »¹⁷⁸. C'est que l'harmonie est pleinement réalisée lorsqu'elle se confond avec l'activité même de l'âme qui consiste à connaître, ou plutôt reconnaître les proportions harmoniques (sonores ou visuelles) présentes dans le monde.

¹⁷⁸ H.F. Cohen, *Quantifying Music : The Science of Music at the First Stage of the Scientific Revolution, 1580-1650*, p. 25.

Nous allons maintenant étudier l'harmonie sous cet aspect, tel que développé dans certains passages de l'œuvre képlérienne. Pour ce faire, nous commencerons par nous pencher sur (1) sa conception innée de la connaissance, afin de bien saisir les influences platoniciennes et néo-platoniciennes (particulièrement Proclus). Nous passerons ensuite (2) à la distinction entre harmonies sensibles et intelligibles. Nous serons alors en mesure de mieux saisir comment la connaissance du monde peut se concevoir comme une (3) reconnaissance des proportions archétypales, laquelle consiste en la pleine réalisation de l'harmonie. Nous soulignerons ensuite (4) la valeur théologique de ce processus de réminiscence. Pour terminer cette étude de la connaissance harmonique, nous aborderons (5) le rôle de l'harmonie comme fondement *a priori* d'une connaissance mathématique vraie du mouvement céleste.

IV.1. Les idées archétypales innées

Nous avons vu, au chapitre II, que l'un des présupposés métaphysiques de Kepler est de concevoir le monde comme ayant été créé selon des archétypes mathématiques. À cette étape de notre analyse, il est pertinent de noter que, pour Kepler, ces archétypes sont également présents dans notre âme de toute éternité. Comprendre la nature de façon géométrique, c'est donc faire correspondre un objet extérieur avec une idée qui préexiste dans notre esprit. Cela n'est pas sans nous rappeler la théorie platonicienne des Idées, où connaître équivaut à une réminiscence des Idées déjà présentes dans l'âme. Comme le relève W. Pauli :

Cette conception de la nature remonte, on le sait, à Platon, et est également soutenue de façon très claire [...] par Kepler. De fait, ce dernier parle d'idées qui préexistent dans l'esprit de Dieu et qui furent créées dans l'âme, image de Dieu, en même temps qu'elle. Il qualifie d'*archétypales* ces images primordiales que l'âme pourrait percevoir grâce à son instinct inné.¹⁷⁹

Tout comme le monde, l'âme humaine est une *imago Dei*, et par le fait même elle contient ces Idées qui sont essentiellement géométriques :

¹⁷⁹ W. Pauli, *Le cas Kepler*, trad. par M. Carlier. Paris : Albin Michel, 2002, pp. 32-33.

La Géométrie, qui avant l'origine des choses était coéternelle à l'esprit divin, et qui est Dieu lui-même (car quoi donc serait en Dieu qui ne soit Dieu lui-même?), a fourni à Dieu des modèles pour créer le monde, et est passée dans l'homme avec l'image de Dieu; précisément, elle n'a pas été reçue intérieurement par les yeux.¹⁸⁰

Ainsi, il n'est pas nécessaire d'avoir recours aux choses ou de les regarder avec les yeux pour avoir accès mentalement à la quantité, cette dernière se trouvant dans notre âme, accessible par cet instinct inné. À ceux qui, comme Aristote, objecteraient que les êtres mathématiques sont plutôt abstraits directement à partir des choses, Kepler répond en se réclamant de Proclus :

On se demande sans doute comment il peut exister une science d'une chose que l'esprit n'a jamais apprise et peut-être est incapable d'apprendre, s'il est privé de sensibilité aux choses extérieures. C'est ce à quoi répond Proclus ci-dessus, dans la terminologie usuelle de sa philosophie : quant à nous aujourd'hui, nous emploierions si je ne m'abuse à très juste titre le vocable d'instinct. Car l'esprit humain, comme toutes les autres âmes, connaît par instinct la quantité, même s'il est privé de toute sensibilité à cette fin : car par lui-même il conçoit la ligne droite, ainsi qu'un intervalle constant à partir d'un point, et donc par lui-même il imagine le cercle. S'il en est ainsi, il peut *a fortiori* trouver en celui-ci une démonstration, et par conséquent remplir l'office de l'oeil dans la considération d'une figure [...].¹⁸¹

L'esprit peut donc, par lui-même, connaître les réalités mathématiques, en vertu d'un instinct naturel; et s'il comprend une chose de façon mathématique, c'est qu'il a reconnu en elle une beauté parfaite, celle d'une Idée archétypale innée.

Mais qu'advient-il si la proportion mathématique n'est pas une proportion archétypale? À cet effet, Kepler fait une distinction entre ce qui est *proprement* connaissable et ce qui est *improprement* connaissable. La première catégorie englobe tout ce qui correspond à quelque chose qui est déjà présent comme archétype dans l'âme, et que

¹⁸⁰ « *Geometria ante rerum ortum menti divinae coaeterna, Deus ipse (quid enim in Deo, quod non sit ipse Deus?) exempla Deo creandi mundi suppeditavit et cum imagine Dei transivit in hominem, non demum per oculos introrsum est recepta.* » *Opera Omnia*, V, p. 222 (ma traduction).

¹⁸¹ « *Quaeras, qui possit inesse scientia rei, quam nunquam mens didicit nec fortasse discere potest, si sensu rerum externarum destituatur? Ad hoc respondit supra Proclus, verbis in sua philosophia tritis; nos hodie, ni fallor, vocabulo instinctus rectissime utemur. Menti quippe humanae ceterisque animis ex instinctu nota est quantitas, etiamsi ad hoc omni sensu destituatur; illa se ipsa lineam rectam, ipsa intervallum aequale ab uno puncto intelligit, ipsa per haec sibi circulum imaginatur. Si hoc, potest multo magis in eo demonstrationem invenire itaque oculi officium in adspiciendo diagrammate [...] supplere.* » *Opera Omnia*, V, p. 222; *L'harmonie du monde*, IV, p. 222 (trad. G. Simon, dans *Kepler astronome astrologue*, p. 140, modifiée).

celle-ci peut reconnaître (par exemple, les proportions harmoniques); la deuxième catégorie contient tout le reste, incluant les dissonances par exemple. En ce qui concerne ces dernières, elles ne peuvent siéger auprès des consonances, sinon elles gagneraient en pureté et leur audition créeraient à leur tour une impression de beauté et d'agrément :

[...] les limites des intervalles consonants sont proprement connaissables, celles des dissonants, improprement connaissables ou inconnaissables. Car si celles-ci sont connaissables, elles peuvent donc venir dans une Pensée et être adoptées pour conformer un archétype [...].¹⁸²

Notons qu'une telle conception de la connaissance laisse peu de place à des intervalles approximativement consonants. Ou bien nous avons affaire à une proportion qui possède son parfait équivalent archétypal, ou bien nous avons affaire à une relation entre deux sons ne relevant plus du domaine de la connaissance, à savoir, un intervalle faux. Cette affirmation peut toutefois être nuancée en vertu du fait que Kepler, comme nous l'avons vu au chapitre précédent, reconnaît qu'une différence d'une fraction de comma entre la note idéale et celle qui est effectivement entendue serait à peine perceptible par l'oreille¹⁸³.

Le dualisme platonicien de Kepler se manifeste également dans sa conception de l'harmonie, notamment dans la distinction qu'il pose entre harmonies sensibles et intelligibles.

IV.2. Harmonies sensibles et intelligibles

Supposons que deux notes, do et fa, soient produites par un monocorde, sans que notre oreille ne soit là pour les entendre. Peut-on parler d'une harmonie si ces notes ne sont ni reliées entre elles ni reconnues comme une quarte juste? À ce stade, comme aucune union n'a été faite entre les termes et qu'aucune oreille n'a pu être charmée par l'intervalle, ce n'est pas encore une harmonie à proprement parler. Les termes sont tout de même consonants entre eux, d'où la remarque de H.F. Cohen : « *the consonances exist outside the*

¹⁸² « [...] *termini consonorum intervallorum proprie scibiles sunt, dissonorum aut improprie scibiles aut inscibiles. Nam si scibiles illi, in mentem igitur venire et ad conformandum archetypum adscisci possunt* [...] » *Opera Omnia*, V, p. 133; *L'harmonie du monde*, III, p. 92.

¹⁸³ Cf. *L'harmonie du monde*, V, p. 322.

sense of hearing. »¹⁸⁴ Les termes qui forment une proportion harmonique se retrouvent donc bel et bien hors de notre âme, selon Kepler. Si la consonance est entendue par le sens de l'oreille, une première forme d'union est créée. Les harmonies envisagées selon ce point de vue, liées à leurs éléments auditifs, sont qualifiées de sensibles. Elles se distinguent des harmonies intelligibles (Kepler emploie parfois le qualificatif « archétypales »), présentes dans l'âme et indépendantes du sensible, qui correspondent aux proportions mathématiques ayant été rendues explicites par les démonstrations géométriques : « Mais les termes des harmonies sensibles sont sensibles et doivent se trouver présents hors de l'Âme; les termes des harmonies archétypales sont présents auparavant à l'intérieur de l'âme. »¹⁸⁵ Cette distinction nous apprend que l'harmonie se produit selon deux modalités : d'une part, elle a lieu sous une forme sensible, constitutive du monde sonore ou lumineux, et y procure un plaisir sensoriel esthétique; mais en même temps, cette harmonie est déjà présente sous une forme purement mathématique, dans notre âme, siège de la vraie connaissance. Il y a donc bien deux formes d'harmonies, ou deux facettes pour reprendre les mots de J. Kozhamthadam : « *Harmony, therefore, has objective and subjective facets.* »¹⁸⁶

Cette distinction en recoupe d'autres que l'on retrouve tout au long de l'*Harmonice Mundi* : *proportiones harmonicae in abstracto / proportiones harmonicae introductae in mundo, archetypus / res, forma / materia, mathematica / physica* pour n'en nommer que quelques-unes¹⁸⁷. Ces couples d'opposés où le premier élément, relevant d'un principe spirituel, s'oppose au second, appartenant au monde matériel, reprennent les idées pythagoriciennes et platoniciennes. Contrairement à Aristote, pour qui les éléments distingués sont unis dans la chose même et en sont séparables uniquement par un acte de l'esprit¹⁸⁸, Kepler considère qu'ils sont réellement séparés. De plus, tout comme dans la tradition platonicienne, le monde sensible est subordonné au monde intelligible. Ce dualisme ontologique est particulièrement évident dans le cas des harmonies. Sa critique

¹⁸⁴ H.F. Cohen, *Quantifying Music : The Science of Music at the First Stage of the Scientific Revolution, 1580-1650*, p. 25.

¹⁸⁵ « *Sed sensilium termini sensiles sunt extraque animam praesentes adesse debent; archetypalium termini sunt antea intus in anima praesentes.* » *Opera Omnia*, V, p. 223; *L'harmonie du monde*, IV, p. 223 (trad. modifiée).

¹⁸⁶ J. Kozhamthadam, *The Discovery of Kepler's Laws : The Interaction of Science, Philosophy, and Religion*, p. 76.

¹⁸⁷ Cf. M. Dickreiter, *Der Musiktheoretiker Johannes Kepler*, p. 56.

¹⁸⁸ Cf. Aristote, *Métaphysique*. Trad. par J. Tricot. Paris : Vrin, 1991, 2 vol., 625 p.

envers Aristote peut se résumer ainsi : « *without an archetype with which to compare them, the soul would be unable to recognize quantities and harmonies.* »¹⁸⁹ Les harmonies sont donc préexistantes dans l'âme, et cette condition est nécessaire pour que le monde puisse être connu selon les lois harmoniques.

IV.3. Le processus de reconnaissance des harmonies intelligibles

Nous pouvons dire que l'harmonie archétypale a une primauté épistémologique sur son homologue sensible en ce qu'elle est indispensable à la reconnaissance d'un intervalle harmonieux comme tel. Mais cette primauté doit surtout se comprendre comme une primauté ontologique : présentes de toute éternité avec Dieu, les proportions archétypales se sont matérialisées dans le monde sensible lors de la création, tout en laissant une trace dans notre âme. Connaître le monde, c'est donc retrouver en notre âme quelque chose d'éternel, autonome, séparé de la matière, ayant tenu lieu de modèle *<paradigmatio>* à son équivalent sensible. Nous avons vu au chapitre précédent que la *musica humana* et la *musica mundana* semblaient s'imiter l'une l'autre en vertu du fait qu'elles découlaient d'un même paradigme. En termes képlériens, nous pourrions dire maintenant qu'il s'agit de deux formes d'harmonies sensibles, lesquelles se rapportent aux mêmes harmonies intelligibles dont elles tirent leurs origines.

Le processus de connaissance qui est en jeu lors d'une harmonie requiert plusieurs étapes. Kepler nous éclaire à ce sujet dans le quatrième livre de l'*Harmonice Mundi*, nous livrant les éléments¹⁹⁰ de l'harmonie sensible, qui est la première étape du processus:

- 1) Deux choses sensibles, du même genre, pouvant être comparées selon la quantité;
- 2) Une âme pouvant effectuer ladite comparaison;
- 3) La réception intérieure des éléments sensibles;
- 4) La proportion appropriée, définie comme une harmonie.

Une fois cette harmonie sensible obtenue, l'âme ressent un certain plaisir esthétique. Mais c'est lorsqu'elle parvient à retrouver en elle l'harmonie intelligible adéquate que l'âme

¹⁸⁹ R. Martens, *Kepler's Philosophy and the New Astronomy*, p. 119.

¹⁹⁰ Cf. *Opera Omnia*, V, p. 214; *L'harmonie du monde*, IV, p. 209.

réalise pleinement le processus de connaissance et a accès à la vraie beauté du monde. Kepler se réclame de Proclus dans sa reprise de la théorie de la réminiscence :

Car reconnaître, c'est comparer une perception sensible extérieure avec des idées intérieures et la juger concordante avec elles. Ce que Proclus exprime à merveille par le mot « éveiller », comme d'un sommeil. En effet, de même que les choses sensibles qui surviennent à l'extérieur nous rappellent le souvenir de celles que nous connaissions auparavant, de même les choses mathématiques sensibles, si elles sont reconnues, excitent les intellectuelles qui étaient présentes avant à l'intérieur, si bien que, désormais, elles resplendent en acte dans l'âme où elles étaient auparavant comme cachées sous le voile de la puissance.¹⁹¹

Cet acte de l'âme qui, au contact du monde sensible, reconnaît les proportions mathématiques présentes en elle, réalise pleinement l'harmonie: « *Harmony, musical or of any other kind, consists in the mind's recognizing and classing certain proportion between two or more continuous quantities by means of comparing them with archetypal geometrical figures.* »¹⁹²

C'est donc cette activité de l'âme qui, ultimement, réalise pleinement l'harmonie. Nous pouvons voir là l'objet de la quête de Kepler : dévoiler la prodigieuse beauté de la symphonie céleste qui se déploie à chaque instant via les variations de chaque instrument, ce qu'effectue notre âme par un processus dynamique de perpétuelle reconnaissance. Cette beauté du monde perçue par l'âme n'est autre qu'un retour vers sa propre beauté, les archétypes y étant déjà présents; et cette beauté intérieure ne fait qu'exprimer celle du Créateur, grand chef d'orchestre de la *musica mundana*.

IV.4. Théologie et cosmographie

Cet acte de reconnaître dans le monde les proportions harmoniques permet donc à l'âme d'avoir accès simultanément à elle-même, à la nature et à Dieu. Pour Kepler, la

¹⁹¹ « *Nam agnoscere est, externum sensile cum ideis internis conferre eisque congruum judicare. Quod pulchre exprimit Proclus vocabulo suscitandi, velut e somno. Sicut enim sensilia foris occurrentia faciunt nos recordari eorum, quae antea cognoveramus, sic mathemata sensilia, si agnoscuntur, eliciunt igitur intellectualia ante intus praesentia, ut nunc actu reluceant in anima, quae prius veluti sub velo potentiae latebant in ea.* » *Opera Omnia*, V, p. 224; *L'harmonie du monde*, IV, p. 224 (trad. W. Pauli, dans *Le cas Kepler*, p. 45, modifiée).

¹⁹² D.P. Walker, "Kepler's Celestial Music", p. 237.

valeur théologique de ses recherches est loin d'être négligeable. Dès ses premières recherches en astronomie et en cosmographie, Kepler considère qu'il réalise par le fait même son projet initial, celui auquel ses études en théologie le menaient. Il écrit d'ailleurs à son maître Michael Maestlin, dans une lettre datée du 3 octobre 1595 : « Je voulais être un théologien : longtemps j'ai été tourmenté : voilà que, par mon œuvre, Dieu est aussi glorifié dans l'astronomie. »¹⁹³ Par le biais de ses recherches scientifiques, Kepler croit donc pouvoir étudier et servir Dieu .

Avec son *Harmonice Mundi*, Kepler est convaincu d'avoir enfin rempli cette tâche. Comme le remarque J. Kozhamthadam au sujet des harmonies archétypales: « *He [sc. Kepler] was convinced that this assisted him greatly in his goal to read the mind and plan of God.* »¹⁹⁴ En effet, reconnaître les archétypes, c'est avoir accès aux modèles de la création, c'est-à-dire au plan divin. Par conséquent, l'harmonie pleinement réalisée est une forme de relation avec Dieu, comme une prière, et les recherches harmoniques remplissent une fonction théologique : « *Understanding God's will, as expressed in this Creation, becomes simultaneously the praising of God. Consequently, natural science on a quantitative basis is for Kepler at once the study and the service of God.* »¹⁹⁵

En outre, cette quête théologique a donné à Kepler des motifs sérieux pour poursuivre ses recherches cosmographiques. Dieu ayant créé le monde selon un modèle géométrique, non seulement pouvons-nous saisir mathématiquement l'empreinte divine dans le monde, mais nous le devons afin d'honorer le Créateur. Le philosophe Jean-Luc Marion va jusqu'à prétendre que le Dieu képlérien correspond aux mathématiques elles-mêmes : « Dieu [*sc.* selon Kepler] est connu mathématiquement parce que lui-même est mathématicien; bien plus, Dieu ne pratique pas tant les mathématiques qu'il ne consiste en elles. »¹⁹⁶ Une telle affirmation nous semble difficile à défendre à la lumière des textes que Kepler nous a laissés. Car si l'astronome croit profondément en un Dieu géomètre, il ne

¹⁹³ « *Theologus esse volebam : diu angebar : Deus ecce mea opera etiam in astronomia celebratur.* » *Opera Omnia*, I, p. 14 (ma traduction).

¹⁹⁴ J. Kozhamthadam, *The Discovery of Kepler's Laws : The Interaction of Science, Philosophy, and Religion*, p. 77.

¹⁹⁵ Krafft, Fritz. "The New Celestial Physics of Johannes Kepler". In *Physics, Cosmology and Astronomy, 1300-1700 : Tension and Accommodation*. Sous la dir. de Sabetai Unguru. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1991, p. 205.

¹⁹⁶ J.L. Marion, *Sur la théologie blanche de Descartes. Analogie, création des vérités éternelles et fondement*, p. 182.

semble pas que ce dernier doive pour autant se réduire aux mathématiques. Celles-ci semblent plutôt former le langage divin par lequel Dieu s'exprime dans la création, langage que l'âme a également reçu en partage. Dans cette optique, Dieu se laisse connaître mathématiquement parce que l'âme partage en commun avec lui ces idées archétypales. Nous préférons donc une interprétation comme celle de G. Simon : « Mais si la mathématique peut servir de langage commun, c'est que plus fondamentalement elle révèle une étroite parenté d'essence. Elle n'est rien d'autre que la connaissance réflexive de ce qui dans l'homme est semblable à Dieu. »¹⁹⁷

IV.5. L'assurance d'une connaissance vraie des régularités mathématiques

Par le biais de sa théorie musicale et de ses positions épistémiques, Kepler a donc construit un système qui permet de justifier simultanément deux choses essentielles à une connaissance mathématique des mouvements célestes: 1) qu'il y ait des régularités dans le monde, celui-ci ayant créé suivant la volonté divine qui a pris les proportions harmoniques comme modèle; 2) que l'on puisse les connaître, puisque ces régularités se retrouvent aussi dans notre âme, séparées des phénomènes sensibles, reconnaissables par le biais d'une correspondance effectuée par l'âme entre la proportion mathématique pure et son équivalent matérialisé. En exposant un tel développement de la théorie harmonique, Kepler se trouve à justifier le saut conceptuel entre les phénomènes sensibles et leur connaissance sous forme de régularités mathématiques.

Nous voudrions ici souligner le caractère *a priori* de cette approche et la distinguer d'une simple généralisation à partir des phénomènes, ce que pourrait à tort nous laisser croire une interprétation trop hâtive de la méthode par essais et erreurs utilisée parfois dans l'*Harmonice Mundi*. Certes, l'harmonie permet de saisir quelque chose de commun aux phénomènes, quelque chose de *généralisable*, et Kepler cherche assurément des relations mathématiques qui soient valables pour tous les phénomènes célestes. Nous avons vu qu'il a probablement procédé par tâtonnement pour découvrir sa troisième loi et que bien des essais et tableaux numériques furent nécessaires pour établir des proportions harmoniques entre les vitesses des planètes. S'il est vrai qu'une certaine forme de généralisation – à

¹⁹⁷ G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 143.

saveur heuristique – ait été nécessaire pour accéder aux proportions mathématiques régissant le mouvement des planètes, Kepler refuserait toutefois de considérer la connaissance mathématique du monde comme une véritable généralisation conceptuelle à partir des données d'observation.

En effet, une connaissance par généralisation ne s'accorde pas avec la conception képlérienne de l'harmonie. Supposons qu'une consonance, par exemple une quinte, soit jouée et mise en contact avec une âme pour la première fois. Cet unique exemplaire d'une quinte serait alors suffisant pour que l'âme puisse la reconnaître comme une harmonie, car pour ce faire, il lui suffirait d'effectuer une comparaison entre les deux notes de musique pour en tirer un élément correspondant à une harmonie intelligible, qui se trouve déjà en elle. La reconnaissance de la quinte ne découle donc pas d'un ensemble d'expériences auditives qui seraient ensuite généralisées sous le vocable « quinte juste »; une seule quinte est suffisante pour réveiller en soi la proportion archétypale (2:3) qui lui correspond. Une fois cet archétype mis au jour, d'autres expériences ne sont plus nécessaires pour vérifier que toutes les quintes répondent bien à la proportion 2:3. Car une fois trouvée, la proportion archétypale est dispensée de justification expérimentale supplémentaire : tout au plus faut-il s'assurer d'avoir véritablement trouvé le bon archétype, ce qui est indéniable une fois que les harmonies sonores ont été démontrées *a priori*, à partir des figures régulières de la géométrie.

C'est la même chose pour les harmonies visuelles : Kepler passe de longues années à traiter les données d'observation de Tycho Brahé dans le but de trouver les bonnes régularités qui régissent les mouvements célestes; mais une fois la troisième loi formulée, nul besoin de la prouver empiriquement. Une démonstration de cette loi¹⁹⁸ se trouve dans l'*Epitome astronomiae Copernicanae*, publié en 1618. Il est d'ailleurs intéressant de constater qu'elle fait peu références aux données d'observation; elle met plutôt en lumière sa cohérence avec d'autres notions théoriques dynamiques telles que la *species motrix*. Au bout du compte, l'intention de Kepler est bel et bien de parvenir à une « théorie cohérente

¹⁹⁸ Pour une analyse détaillée de cette démonstration, voir R. Martens, *Kepler's Philosophy and the New Astronomy*, pp. 147-160.

par laquelle se révèlent les étonnantes relations métriques et cinématiques qui font du monde une œuvre d'art merveilleusement organisée. »¹⁹⁹

Les présupposés métaphysiques, la portée théologique et la théorie de la connaissance inhérents à sa vision harmonique du monde permettent donc à Kepler de construire un système complet, cohérent et justifié *a priori*. Il n'est pas étonnant alors qu'il ait considéré son *Harmonice Mundi* comme le couronnement de toutes ses recherches : « *It was not AN [sc. Astronomia Nova], his most scientific book, but HM [sc. Harmonice Mundi] that he considered his best and greatest book, his greatest achievement.* »²⁰⁰ Max Caspar, qui a écrit la biographie de référence de Kepler, résume ainsi la valeur de cette œuvre :

*So his Harmonice appears as a great cosmic vision, woven out of science, poetry, philosophy, theology, mysticism, a vision risen from the abyss of the human mind, seen as a radiation from the countenance of God, nourished from the supply of the senses, molded in the belief in ratio, inflamed by the inspiration of the prophet. It belongs to the most sublime, which has been thought and devised by the human intellect, locked in the material world, and desiring to lift itself out of it. It is a grandiose fugue on the theme "world, soul, God".*²⁰¹

En d'autres mots, la notion d'harmonie képlérienne réunit le monde, l'âme et Dieu dans un seul et même acte de connaissance, qui se renouvelle en chaque moment de la symphonie céleste.

Pour compléter notre étude du rôle de l'harmonie, il nous reste à éclairer le rôle des éléments de ce système *a priori* face aux données d'observation (*explananda*). Car si une justification *a posteriori* n'était pas nécessaire une fois que les démonstrations géométriques ont été fournies, il n'en demeure pas moins que les *explananda* ont eu un rôle à jouer dans les étapes menant aux découvertes scientifiques de Kepler. Ainsi, les données expérimentales ont parfois inspiré à Kepler certaines proportions; d'autres fois, elles l'ont plutôt incité à rejeter ses hypothèses; enfin, il est arrivé aussi que Kepler conserve ses positions théoriques malgré le désaccord entre les *explananda* et les données prédites par les *explanantia*. Comment comprendre alors cette relation dynamique entre un système

¹⁹⁹ G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, pp. 435-436.

²⁰⁰ J. Kozhamthadam, *The Discovery of Kepler's Laws : The Interaction of Science, Philosophy, and Religion*, p. 74.

²⁰¹ M. Caspar, *Kepler*, trad. D. Hellman, pp. 289-290.

explicatif solide et les données d'observation dont il est supposé rendre compte? À cet effet, l'opinion courante chez les commentateurs est que les éléments théoriques du système képlérien ont tenu le rôle de prémisses au cœur d'une méthode scientifique utilisant une logique abductive. C'est donc la relation dynamique entre *explanantia* et *explananda* qui sera le sujet de notre prochain chapitre, afin d'éclairer le rôle de l'harmonie comme élément de l'itinéraire rationnel képlérien.

Chapitre V

Abduction, harmonie et rationalité scientifique

Deux principaux éléments se dégagent des recherches cosmographiques de Kepler telles qu'elles sont exposées dans ses écrits : d'une part, une volonté d'élaborer un système *a priori*, avec des présupposés métaphysiques solides ; d'autre part, un souci de concordance avec les données expérimentales, *a posteriori*. Nous avons vu, à la fin de notre deuxième chapitre, qu'à l'époque du *Mysterium Cosmographicum*, Kepler ne croyait pas disposer de données expérimentales suffisamment nombreuses et fiables pour rejeter son modèle géométrique, malgré les divergences entre les données prédites et celles qui étaient effectivement observées. Cette attitude allait-elle changer suite aux nouvelles données – fiables et détaillées – recueillies auprès de Tycho Brahé? Et quel destin Kepler réserve-t-il vraiment au système élaboré dans l'*Harmonice Mundi* si les données prédites ne s'accordent qu'approximativement avec les observations? De prime abord, il n'est pas aisé de trancher cette question. Car bien que l'astronome affirme à plusieurs reprises son souci de tenir parfaitement compte des données expérimentales, dans les faits il semble plutôt relativiser leur importance face à son système harmonique ; nous avons vu comment il en expose soigneusement les fondements mathématiques, théologiques et métaphysiques. Ces deux attitudes épistémologiques font certainement partie intégrante de ses recherches scientifiques: « *Kepler's proposal, in broad strokes, was that one can access truth by moving dialectically between the a priori and the a posteriori.* »²⁰² Mais comment comprendre la dialectique entre le système explicatif (*explanans*) et les observations (*explananda*) dont il doit rendre compte ?

Si la plupart des philosophes et logiciens contemporains, suite aux contributions de C. S. Peirce (1839-1914) et de N.R. Hanson (1924-1967), s'entendent sur le fait que Kepler ait été un éminent praticien de l'abduction (laquelle se distingue de la déduction et de l'induction quantitative), cette notion même d'abduction ne fait pas l'objet d'un consensus chez les philosophes des sciences contemporains. Conçue habituellement comme une simple inférence à la meilleure explication, l'abduction permettrait de formuler des hypothèses probables à partir des faits observés – comme c'est le cas lors d'un diagnostic,

²⁰² R. Martens, *Kepler's Philosophy and the New Astronomy*, p. 38.

par exemple – et jouerait certes un rôle crucial dans l'interprétation théorique des données expérimentales ; mais la façon dont elle remplit ce rôle fait toujours l'objet de vifs débats.

Nous croyons qu'une étude de l'abduction peut nous éclairer quant à la question de la dynamique propre à l'itinéraire rationnel de Kepler. Dans le cadre de ce chapitre, nous exposerons les principaux enjeux du raisonnement abductif afin de mieux comprendre le statut particulier de son système harmonique par rapport aux évidences empiriques. Nous commencerons d'abord par (1) relever les opinions de Kepler quant à la nature de ses hypothèses astronomiques. Nous aborderons ensuite (2) l'abduction telle qu'elle a été conçue par Peirce et Hanson puis (3) par d'autres épistémologues qui en ont proposé des variantes. Cela nous donnera les outils pour (4) réapprécier l'harmonie au cœur d'un raisonnement abductif particulièrement fécond. Nous terminerons (5) en nous interrogeant sur la valeur à accorder aux contre-exemples empiriques.

V.1. Le statut des *explanantia*

Les positions de Kepler au sujet de la méthode scientifique en général sont exprimées dans un ouvrage qu'il a écrit en 1600-1601 à la demande de Tycho Brahé, l'*Apologia pro Tychone contra Ursum*, dans lequel il défend l'originalité du système tychonien contre les attaques de Raimarus Ursus²⁰³. L'on retrouve, entre autres, une formulation du procédé scientifique qui consiste à vérifier expérimentalement des hypothèses :

Car nous décrivons d'abord la nature des choses dans les hypothèses, à partir desquelles nous construisons ensuite une méthode de calcul, c'est-à-dire que nous démontrons les mouvements ; enfin, nous expliquons aux apprenants les vraies règles de la méthode de calcul, en retraçant nos étapes.²⁰⁴

²⁰³ Pour plus de détails sur les origines de ce texte et pour une traduction commentée (en anglais), voir N. Jardine, *The Birth of History and Philosophy of Science : Kepler's A defence of Tycho against Ursus with essays on its provenance and signifiante*. New York : Cambridge University Press, 1984, 301 p.

²⁰⁴ « *Primum enim in hypothesibus rerum naturam depingimus, post ex iis calculum exstruimus h.e. motus demonstramus, denique indidem vera calculi praecepta via reciproca discentibus explicamus.* » *Opera Omnia*, I, p. 244 (ma traduction).

Il s'agit donc, à partir d'hypothèses, de dériver des calculs pouvant décrire les mouvements célestes. Ensuite, une vérification empirique²⁰⁵ de ces résultats est requise; mais Kepler est au fait qu'une simple concordance entre les calculs tirés d'une hypothèse et les observations correspondantes ne valide pas cette hypothèse pour autant, puisque – et c'est là l'argument des sceptiques – une fausse prémisse peut parfois générer une conclusion vraie, ne serait-ce que par chance. Kepler croit toutefois qu'une hypothèse erronée finira toujours par être décelée étant donné qu'elle ne pourra jamais s'accorder parfaitement avec tous les autres syllogismes du système dont elle fait partie, syllogismes qui conduisent eux-mêmes à d'autres prédictions empiriques. Au bout du compte, une hypothèse erronée conduira à des incohérences étant donné l'interdépendance de toutes les hypothèses du système entre elles :

Et comme dans le proverbe les menteurs doivent se souvenir de ce qu'ils ont raconté, de même ici les hypothèses fausses, qui conduisent ensemble par hasard à la vérité, ne maintiennent pas ce caractère de mener vers une conclusion vraie lorsqu'elles ont été, au cours d'une démonstration, combinées ensemble avec d'autres ; mais elles se trahissent elles-mêmes. De la sorte, il arrive à la fin que, à cause de l'entrelacement des syllogismes dans les démonstrations, d'une seule erreur suivent une infinité d'erreurs.²⁰⁶

D'où l'importance de développer un système où de nombreuses hypothèses sont reliées entre elles par des syllogismes, de sorte qu'une erreur puisse générer beaucoup de contradictions.

Cet argument n'est pas sans nous rappeler ce passage du *Mysterium Cosmographicum*, où Kepler argumente en faveur du système héliocentrique copernicien :

À ce propos, je n'ai jamais pu être d'accord avec les gens qui s'appuient sur l'exemple d'une démonstration accidentelle qui, à partir de prémisses fausses, par la nécessité syllogistique, produit quelque chose de vrai. [...] En effet, la consécution à partir de

²⁰⁵ Nous rappelons que Kepler a une position réaliste de la science (vs. instrumentale), où le système théorique a une portée ontologique, décrivant ce qui se passe effectivement dans le monde (vs. un système dont l'objectif serait uniquement de servir à formuler des prédictions expérimentales). Par conséquent, les observations s'accorderont avec les résultats des calculs théoriques dérivés d'une hypothèse vraie en vertu du fait que celle-ci décrit la vraie nature des choses.

²⁰⁶ « *Atque, ut in proverbio monentur mendaces ut sint memores, ita hic falsae hypotheses, verum simul fortuito conducentes, in progressu demonstrationis, ubi aliis atque aliis fuerint accommodatae, morem hunc verum concludendi non retinent, sed se ipsas produunt. Ita tandem fit, propter syllogismorum in demonstrationibus implexum, ut uno inconvenienti dato sequantur infiniti.* » *Opera Omnia*, I, pp. 239-240 (ma traduction).

prémises fausses est fortuite, et ce qui est faux par nature se trahit sitôt qu'on le rapproche d'une autre chose apparentée ; à moins que l'on ne concède sans discussion à son contradicteur d'assumer une infinité d'autres propositions fausses, jamais, ni dans la déduction ni dans la remontée, il ne pourra être d'accord avec lui-même.²⁰⁷

Kepler spécifie ensuite qu'une hypothèse vraie, contrairement à la fausse, ne sera jamais en contradiction avec aucun phénomène observé : la « trahison » dont il parle concerne cette fois-ci davantage les observations que les autres syllogismes. Comme le remarque R. Martens :

*In the *Mysterium* Kepler argued that a false hypothesis will betray itself when applied to diverse data. [...] In the *Apologia*, he made the more general claim that a false hypothesis will betray itself when linked with other hypotheses during demonstrations.*²⁰⁸

Il s'agit là sans doute de deux critères importants pour l'astronome dans son évaluation de la valeur de vérité d'une hypothèse : 1) elle doit s'accorder avec les autres hypothèses du système ; 2) aucun phénomène, présent ou à venir, ne doit entrer en contradiction avec elle.

Le premier critère, qui relève de la logique interne, semble plus facile à appliquer que le second. Nous avons vu à quel point Kepler prend le temps d'exposer la cohérence interne de ses systèmes géométrique et harmonique. Mais comment montrer que tous les phénomènes s'accordent et s'accorderont toujours avec le système ? Une justification *a priori* est proposée par l'astronome par le biais de la notion d'archétype, laquelle permet de fonder l'idée d'un monde ordonné selon certaines régularités mathématiques que nous pouvons connaître. L'astronome est toutefois conscient qu'une perpétuelle justification *a posteriori* de la cohérence du système avec les données d'observation n'est pas superflue.

Cela se traduit notamment par une certaine prudence à l'égard du statut de ses hypothèses. Dans le *Mysterium Cosmographicum*, Kepler porte le jugement suivant avant de confronter son système fondé sur les polyèdres réguliers avec les données de Copernic : « Jusqu'ici tout ce qu'on a dit, ce ne sont que certains indices vraisemblables ou « *arguments probables* » en faveur du théorème dont nous avons entrepris l'étude. »²⁰⁹ À maintes reprises dans cet ouvrage, l'astronome utilise le qualificatif « vraisemblable »

²⁰⁷ *Le secret du monde*, I, p. 44.

²⁰⁸ R. Martens, *Kepler's Philosophy and the New Astronomy*, p. 63.

²⁰⁹ « *Hactenus nihil dictum, nisi consentanea quaedam signa et 'eikota' suscepti theorematis.* » *Opera Omnia*, I, p. 148; *Le secret du monde*, XIII, p. 117.

lorsqu'il expose les éléments de son système. Gardons-nous toutefois de voir là un caractère péjoratif qui pointerait l'aspect incertain de sa théorie : nous avons vu à quel point Kepler a confiance d'avoir effectivement percé le « secret du monde ». Mais puisque la théorie doit rendre compte des observations, il est impossible d'affirmer de façon honnête qu'il y a un parfait accord entre l'une et les autres sans passer d'abord par une vérification empirique, laquelle sera d'ailleurs toujours à refaire puisque les événements s'inscrivent dans une dimension temporelle.

Et même une fois cette vérification accomplie, un système explicatif en astronomie ne pourra jamais faire l'objet de la même certitude que les vérités tirées des mathématiques pures; c'est là le destin de toutes les sciences qui doivent utiliser à la fois des axiomes *a priori* et des observations *a posteriori*. Kepler nous en avertit dans l'introduction de son *Astronomia Nova* :

[...] selon la coutume des physiciens, j'incorporerai le probable au nécessaire, et de ces choses ainsi mélangées j'extraurai une conclusion probable. En effet, puisque dans cette œuvre j'ai mélangé la physique céleste avec l'astronomie, personne ne doit s'étonner si quelques conjectures sont employées. Car c'est la nature de la physique, de la médecine et de toutes les sciences qui emploient, outre les indications très sûres offertes par les yeux, d'autres axiomes en plus.²¹⁰

Encore une fois, le caractère uniquement « probable » des conjectures astronomiques n'est pas dû à une mauvaise pratique de la science; c'est qu'il est impossible de faire autrement là où la physique est impliquée. Comme le résume C. A. Wilson :

*He [sc. Kepler] is not only aware of employing conjectures; he does not see the possibility of doing otherwise, where physics is concerned. For physics has to do with causes – invisible causes – and what we observe are effects.*²¹¹

Le caractère probable qui émerge des propos képlériens au sujet de ses hypothèses astronomiques est une caractéristique importante de la logique abductive. C'est sur

²¹⁰ « [...] *more physicorum necessariis admiscuero probabilia, exque iis sic mixtis probabilem extruxero conclusionem. Nam quia hoc in opere physicam coelestem astronomiae permiscui, nemo mirari debet, conjecturas etiam nonnullas adhiberi. Haec enim physicae, haec medicinae, haec omnium scientiarum natura est, quae praeter oculorum certissimas indicationes alia etiam adhibent axiomata.* » *Opera Omnia*, III, p. 147 (ma traduction).

²¹¹ C.A. Wilson, "From Kepler's Laws, So-called, to Universal Gravitation : Empirical Factors", *Archive for History of Exact Sciences*, Vol. 6 (1970), p. 99.

celle-ci que nous allons maintenant porter notre attention, en relevant les origines et les principaux débats dont elle fait l'objet.

V.2. Abduction et voie anagogique

L'abduction est un terme employé en logique pour caractériser un type particulier de raisonnement : l'inférence plausible. Peirce qualifie d'abduction le processus anagogique qu'Aristote décrit dans le passage suivant :

S'il est exact que pour les phénomènes qui échappent à nos sens, nous estimons en avoir donné une explication satisfaisante pour la raison, quand nous les avons ramenés à des faits possibles < *eis tò dúnaton anagógomen* >, on peut penser que cela est surtout vrai pour ceux que nous étudions présentement.²¹²

Le verbe utilisé, *an-ágô*, a le sens de se conduire de bas en haut. Il s'agit de remonter, à partir des phénomènes, vers des principes *probables* auxquels on peut *raisonnablement* faire confiance. Or comment conjuguer (logiquement) raison et plausibilité ? Comment défendre la validité d'un argument dont la conclusion n'est que possible, c'est-à-dire ni affirmée ni niée ? C'est ce que Peirce a voulu faire : donner à ce type de raisonnement sa place en logique.

Pour ce faire, Peirce place l'abduction aux côtés de la déduction et de l'induction. Afin de nous éclairer sur cette tripartition des types d'inférences, la distinction²¹³ suivante se révèle utile : « *Deduction proves that something must be; Induction shows that something actually is operative; Abduction merely suggests that something may be.* »²¹⁴. On le voit, l'abduction a un caractère réductif : si elle peut correspondre, selon les termes contemporains, à « l'inférence à la meilleure explication », ce n'est qu'*a posteriori* qu'elle pourra être admise (ou rejetée) comme telle²¹⁵. C'est pour exprimer ce caractère provisoire

²¹² Aristote, *Météorologiques*, I, 7. Trad. par P. Louis. Tome I, Paris : Belles Lettres, 1982, p. 19.

²¹³ Il y a bien sûr des points communs entre l'abduction et l'induction – notamment le caractère hypothétique de la conclusion – qui les opposent toutes les deux à la certitude démonstrative de la déduction. Pour notre propos, nous nous en tiendrons à l'abduction et à ce qui en fait un type particulier d'inférence.

²¹⁴ C.S. Peirce, *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. Cambridge : Harvard University Press, 1931-1958, vol. V, § 171.

²¹⁵ Contrairement à l'induction qui, par un acte de l'esprit, aspire à regrouper un ensemble de faits pour produire une loi *a priori*.

et révisable que Peirce utilise parfois le terme « rétroduction » pour faire référence à ce processus.

Peirce, avec qui Hanson s'accorde sur ce point, a caractérisé ainsi les étapes de l'abduction :

1. *Some surprising phenomenon P is observed;*
2. *P would be explicable as a matter of course if H were true;*
3. *Hence there is reason to think that H is true*²¹⁶.

Les deux auteurs insistent sur le fait qu'il s'agit bien d'une inférence logique, parfaitement définie, bien que la conclusion soit posée uniquement de façon conjecturale ou problématique. Et cela leur permet de bâtir une logique de la découverte scientifique, c'est-à-dire de trouver une base rationnelle pour introduire de la nouveauté dans la connaissance scientifique²¹⁷ sans que cela ne relève uniquement d'une explication psychologisante.

Hanson, qui reprend les idées de Peirce en grande partie, défend sa conception de l'abduction pour s'opposer à la méthode hypothético-déductive. Car s'il est vrai que les scientifiques proposent des hypothèses qu'ils corroborent ou infirment par la suite, c'est dans les phénomènes qu'ils trouveraient leur véritable point de départ : « *Physicists do not start from hypotheses; they start from data.* »²¹⁸ C'est donc une véritable voie anagogique qui est proposée par Hanson, puisque l'inférence cruciale se déroule de bas en haut : « *from explicanda to an explicans* »²¹⁹. Cette voie abductive consiste, plus précisément, à percevoir les structures dans les phénomènes : « *Perceiving the pattern in phenomena is central to their being 'explicable as a matter of course'* »²²⁰. Selon cette position, les scientifiques procéderaient en inférant *H* à partir de *P*, de sorte que les conditions inhérentes aux deux premières étapes de Peirce seraient immédiatement remplies. Mais est-ce la seule façon d'inférer *H*? Est-elle valable et/ou factuelle? C'est sur ce point que portent notamment les

²¹⁶ Cf. N. R. Hanson, *Patterns of Discovery : An Inquiry Into the Conceptual Foundations of Science*. New York : Cambridge University Press, 1965, p. 86.

²¹⁷ Cf. S.A. Kleiner, "A New Look at Kepler and Abductive Argument", *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol. 14 (1983), No. 4, p. 282.

²¹⁸ N. R. Hanson, *Patterns of Discovery : An Inquiry Into the Conceptual Foundations of Science*, p. 70.

²¹⁹ *Ibid.*, p. 71.

²²⁰ *Ibid.*, p. 87.

critiques de Kleiner et de Lugg : Hanson, du moins dans le cas de Kepler²²¹, se serait trompé en posant les données de Tycho Brahé comme point de départ de l'inférence. Une telle reconstruction rationnelle ferait perdre de vue que l'essentiel se déroule au niveau de la théorie, donc des hypothèses, et non du côté des *data* :

*the Keplerian revolution in astronomy, as Hanson describes it, cannot be reduced to the discovery of a hypothesis that explains Tycho's data as a matter of course; it should rather be seen as having involved the radical revision of a powerful and well-established theoretical framework.*²²²

Un indice en faveur d'une telle interprétation est déjà présent dans l'étape 1) : si un événement est *surprenant*, ne l'est-il pas nécessairement par rapport à une théorie? Le cas échéant, l'abduction n'a-t-elle pas son point de départ dans la sphère purement logique, hypothétique? Ou au contraire faut-il tout de même la concevoir comme une inférence qui a le grand avantage de s'enraciner dans les faits bruts? La plupart des épistémologues s'entendent sur le fait que Kepler a effectivement utilisé l'abduction comme méthode rationnelle, mais il n'y a toujours pas de consensus quant à la nature de cette abduction.

V.3. Variantes de l'abduction peircienne

Certains ont proposé des variantes pour améliorer le modèle de Peirce-Hanson, de façon à mieux expliquer la démarche képlérienne. Nous pouvons schématiser ainsi le processus abductif selon Kleiner :

1. Un phénomène *P* est observé;
2. *P* est expliqué de façon satisfaisante par *H*, alors qu'il demeure inexpliqué par la théorie concurrente *H'*;
3. Il y a de bonnes raisons de préférer *H* à *H'*.

²²¹ Le cas étudié est celui des recherches de l'*Astronomia Nova*; mais nous considérons que l'argument est valide également pour ce qui est esquissé dans les autres ouvrages de Kepler, notamment dans l'*Harmonice Mundi*.

²²² A. Lugg, "The Process of Discovery", *Philosophy of Science*, Vol. 52 (1985), No. 4, p. 210. La critique de Kleiner va également en ce sens : « *Contrary to Hanson's suggestion, [...] Kepler's problem was set initially when he embraced a metaphysical blueprint in which traditional astronomy appears to be insufficient in the explanations it offers to suggest.* » (S.A. Kleiner, "A New Look at Kepler and Abductive Argument", p. 296).

Kleiner nomme son alternative un « *comparative abductive argument* »²²³, variante avantageuse de la version peircienne, puisqu'elle comporte la précision suivante: l'adoption d'une hypothèse *H* se fait par rapport à une autre hypothèse *H'*. Il s'agit bien de choisir la meilleure explication possible, et cette dernière est conçue comme étant celle qui permet de rendre compte d'un plus grand nombre de phénomènes. De plus, la prémisse (1) de Peirce se voit précisée : si *P* était surprenant, c'était par rapport à *H'*. Par conséquent, *H'* est donc aussi nécessaire que *P* pour que l'abduction ait lieu, et le processus d'inférence de *H* n'est plus une sorte d'analogie unidirectionnelle : il est plutôt le résultat d'une relation dynamique entre principes métaphysiques et phénomènes observés. Kleiner réussit bien à systématiser ce qui, selon lui, échappait à Hanson : « [...] *Hanson has not really examined the dynamics of scientific research* [...] »²²⁴

Myrstad va plus loin dans sa réforme de Hanson : il propose de comprendre la démarche képlérienne comme une abduction régressive (« *converse abduction* »), c'est-à-dire une analogie procédant à l'inverse (*i.e.* vers le bas) :

*This kind of abduction is in a sense the converse of the Keplerian abduction from facts according to Peirce and Hanson, since it moves from the dynamical principles in the direction of a sanctioning of the description of the observations.*²²⁵

Nous pouvons schématiser sa méthode de la façon suivante :

1. *H* permet de décrire *P*;
2. *P* est observé;
3. Donc *H* est possible.

À première vue, le seul changement est celui d'avoir interverti les prémisses (1) et (2) de Peirce, ce qui n'aurait aucun impact logique sur l'évaluation de la validité de l'argument. Néanmoins, dans notre débat, il s'agit d'un changement crucial puisqu'il en va de la logique de la découverte, qui ne concerne pas uniquement la reconstruction logique mais qui cherche aussi à mettre au jour la rationalité propre au cheminement scientifique. Dans cette optique, que ce soit *P* ou *H* qui apparaisse dans la première étape est important, puisque cela équivaut à choisir entre deux alternatives fort différentes : a) les hypothèses sont inférées à partir des *data* (analogie au sens littéral du mot, à la Peirce-Hanson); ou b)

²²³ S.A. Kleiner, "A New Look at Kepler and Abductive Argument", p. 292.

²²⁴ *Ibid.*, p. 287.

²²⁵ J.A. Myrstad, "The Use of Converse Abduction in Kepler", *Foundations of Science*, Vol. 9 (2004), p. 328.

les hypothèses sont le point de départ en ce qu'elles permettent de remarquer ou de déterminer les phénomènes P qui importent dans le processus (abduction selon Kleiner ou abduction régressive selon Myrstad).

Ici, les recherches exposées dans l'*Astronomia Nova* nous sont utiles pour mieux comprendre la conception de Myrstad. Cet ouvrage contient notamment les deux premières des trois lois célèbres retenues par les scientifiques modernes (les fameuses « lois de Kepler ») sous la forme suivante :

- Première loi de Kepler (K_1) : Les planètes décrivent autour du Soleil des orbites en forme d'ellipse.
- Deuxième loi de Kepler (K_2) : La ligne qui relie la planète au Soleil balaie des aires égales en des temps égaux.

Si l'on applique le modèle de Myrstad en prenant K_1 comme un phénomène P que l'on peut observer (puisque'il s'agit de la forme de la trajectoire des planètes) et en prenant K_2 comme une hypothèse H (puisque'il s'agit d'une relation que l'on ne peut pas vérifier directement, sans effectuer des calculs), nous obtenons :

1. K_2 permet de décrire K_1 ;
2. K_1 est observé;
3. Donc K_2 est possible.

Dans ce modèle, c'est K_2 , soit la relation théorique « $T^2 = ka^3$ » (où T : période sidérale; a : demi-grand axe; k : constante) qui permet de « voir » K_1 , la forme elliptique, et non l'inverse. Et, de fait, les historiens des sciences s'accordent sur le fait que Kepler a élaboré K_2 avant d'accepter K_1 ; une telle façon de procéder, qui nous paraît si surprenante²²⁶, nous semble d'autant plus utile pour nous renseigner sur ce qui se passe réellement lors d'un raisonnement abductif. Cependant, adopter une telle position anagogique régressive apporte un défi supplémentaire : si H est déjà présumé dans l'argument, de surcroît dans la première prémisse, l'abduction ne permet plus de rendre compte logiquement de l'apparition de nouveauté en science. Au mieux, elle s'occupe de la possibilité d'hypothèses déjà « abduites », ce qui la confine au contexte de justification ; de sorte que l'abduction comme processus de découverte ne semble pas suffisamment expliquée. Certes,

²²⁶ Comme l'exprime Myrstad : « *It is an astonishing fact that Kepler did not first find the geometry of the planetary orbits [...] and thereafter the kinematics.* » (*Ibid.*, p. 327).

ce problème se retrouve aussi dans l'abduction selon Peirce et Hanson, où *H* apparaît déjà à la deuxième étape, en tant que structure tirée des phénomènes : bien que l'on puisse voir dans ce modèle dans quelle mesure le statut de *H* est conjectural suite à l'abduction, on ne voit pas bien comment cette abduction se produit. C'est en ce sens que l'apport de Paavola peut nous être utile, puisqu'il interprète l'abduction de façon à mieux répondre aux critiques²²⁷ qui la rejettent comme processus logique de découverte.

L'argument de Paavola se fonde sur la distinction suivante²²⁸ qui pose deux types de règles logiques : les règles de définition (« *definitory rules* ») et les règles stratégiques (« *strategic rules* »). Les premières nous dictent ce qu'il faut faire pour raisonner : ce qui est permis ou interdit, ce qui est valide ou non, etc. Quant aux secondes, elles concernent l'excellence d'un raisonnement : ce sont celles qui nous permettent de bien raisonner. Paavola éclaire sa distinction par un exemple, celui du jeu d'échecs : les règles qui définissent les coups permis (*i.e.* le fou se déplace uniquement en diagonale, le roi ne peut bouger qu'une seule case à la fois, etc.) ne sont pas celles qui vont permettre à un joueur de bien jouer (*i.e.* prévoir plusieurs coups à l'avance, tromper son adversaire, inventer des tactiques pour optimiser ses chances de gagner, etc.); et un champion d'échecs n'est tel que s'il maîtrise suffisamment ces règles stratégiques.

C'est sur ces dernières que Paavola va mettre l'accent pour redonner à l'abduction son pouvoir d'apporter rationnellement de la nouveauté en science²²⁹. Pour ce faire, il met en valeur une caractéristique propre aux règles stratégiques : « [...] *in strategies more than one step or move can and must be taken into account at the same time.* »²³⁰. Autrement dit, la force d'une stratégie consiste à comprendre et à saisir ses objets dans un réseau conceptuel, dynamique, plutôt que d'en rester à des définitions individuelles statiques. Par exemple, dans le cas du jeu d'échecs, le maître n'arrivera à créer rationnellement des stratégies gagnantes que s'il prépare chacun de ses coups en les mettant en relation avec un ensemble de données (qui peuvent inclure des éléments sortant du cadre normatif, par

²²⁷ Paavola répond principalement aux critiques contre l'abduction formulées par Frankfurt, Nickles et Kapitan. Pour les références, voir S. Paavola, "Abduction as a Logic and Methodology of Discovery : The Importance of Strategies", *Foundation of Science*, Vol. 9 (2004), p. 267.

²²⁸ Cette distinction est attribuée à Hintikka. *Ibid.*, p. 269.

²²⁹ « *I think that abduction can still be defended as a very promising candidate for a logic of discovery if the meaning of strategies is taken into account.* » (*Idem.*)

²³⁰ *Ibid.*, p. 270.

exemple, des souvenirs d'anciens tournois). La critique de Paavola porte donc sur l'isolement apparent de *H* :

*The force of abductive inference is much strengthened if one takes into account that the hypotheses are to be searched for in relationship to various phenomena and background information and not just in order to explain one, surprising phenomenon.*²³¹

Une des règles stratégiques de l'abduction consisterait à inférer une hypothèse *H* qui soit compatible avec l'arrière-plan théorique accepté; en effet, cela diminuerait les chances que *H* soit rejetée à long terme. De même, si le modèle de Peirce-Hanson prend son point de départ dans un phénomène surprenant, ce serait uniquement, selon Paavola, parce qu'il s'agit d'une bonne stratégie : les détectives n'utilisent-ils pas une méthode qui se penche principalement sur les anomalies²³²?

Une telle comparaison doit cependant nous inciter à la prudence : comment comparer une science exacte (par exemple, la physique) à une pratique policière sans tomber dans une description caricaturale de la science, niant ses fondements? L'article de Paavola a néanmoins le mérite d'élargir notre champ d'étude de l'abduction : « *Besides validity considerations (which are in themselves important in abduction) there is the art of using (abductive) reasoning.* »²³³

En fin de compte, une étude pratique de l'abduction permettrait de comprendre comment se forme une nouvelle hypothèse stratégique *H* à l'intérieur d'un réseau, celui des théories acceptées ou, comme c'est le cas chez Kepler, celui des *a priori* métaphysiques formant un système harmonieux. Par la suite, un examen de la validité nous permettrait d'attribuer le statut de « provisoire » ou de « hautement probable » et de comprendre le lien, donc la force d'explication, entre ce nouvel *explanans* (s'ajoutant aux autres) et les *explananda*.

²³¹ *Idem.*

²³² *Cf. Ibid.*, p. 274.

²³³ *Ibid.*, p. 281.

V.4. L'harmonie comme réseau conceptuel

Nous privilégions une approche comme celle de Paavola pour mieux comprendre le rôle des présupposés métaphysiques de Kepler. Nous nous rappelons que les recherches cosmographiques de Kepler ont pour tâche de dériver *a priori*, au sein d'un système harmonieux issu du projet architectonique divin, les causes *H* des phénomènes *P* observés. Si l'on envisage les *explanantia* de Kepler comme les éléments d'un réseau conceptuel, restreignant les conditions dans lesquelles un nouvel *explanans* puisse être stratégiquement « abduit », on voit bien la force et l'importance des *a priori* de Kepler : ils offrent un cadre théorique permettant ensuite d'inférer de nouvelles hypothèses. Nous avons vu (en section IV.4) que le développement de la *musica mundana* avait eu un rôle important à jouer dans la naissance de la troisième loi de Kepler : nous pouvons maintenant interpréter ce rôle comme celui d'un arrière-plan théorique qui limite les hypothèses admissibles et qui dirige l'attention du scientifique vers un type de relations mathématiques *H* visant à expliquer les phénomènes *P*.

Le philosophe G. Simon reconnaît la très grande fécondité des présupposés métaphysiques képlériens : « Nous retrouvons ici une fois encore le rôle inducteur de spéculations théoriques en elles-mêmes complètement dénuées de scientificité, mais à l'usage se révélant singulièrement fructueuses. »²³⁴ Autrement dit, l'utilisation de la notion d'harmonie a été, *dans la pratique*, profitable en ce qu'elle a permis de faire naître de nombreuses inférences pouvant rendre compte des mouvements célestes. Nous croyons cependant qu'il est erroné de juger que les spéculations harmoniques sont « complètement dénuées de scientificité » ou que leur fécondité n'est qu'une heureuse coïncidence. Au contraire, de telles spéculations semblent jouer un rôle de premier plan dans le raisonnement abductif, lequel conduit à la formation de nouvelles hypothèses scientifiques en créant un cadre pour « lire » les phénomènes. Certes, les spéculations théoriques ne peuvent être garantes de la véracité des nouvelles hypothèses qui en émergent, puisque ces dernières doivent également passer par une vérification empirique *a posteriori*. Mais si elles ne donnent naissance qu'à des hypothèses plausibles, il n'en demeure pas moins que les spéculations théoriques constituent le point de départ pour générer rationnellement des

²³⁴ G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 413.

explications qui soient cohérentes entre elles et qui soient stratégiquement susceptibles de résister à bien des vérifications empiriques.

V.5. Le pouvoir des *explananda*

Mais quelle valeur accorder à cette vérification empirique? Les différentes conceptions de l'abduction exposées précédemment (aux sections V.II et V.III) ont quelque chose d'important en commun : toute hypothèse issue d'un raisonnement abductif a un statut uniquement probable, provisoire, possible. En tant qu'inférence à la « meilleure » explication, l'hypothèse « abduite » pourra toujours être remplacée par une autre jugée meilleure. Kepler lui-même prétend que ce ne serait que « divertissement » que de démontrer *a priori* ce qui ne correspondrait pas aux phénomènes²³⁵; c'est donc qu'il se montre prêt à réviser ses positions en cas d'incohérence. Nous avons vu qu'à l'époque du *Mysterium Cosmographicum*, Kepler considère que les données d'observation qu'il a sous la main – ce sont en fait celles de Copernic – ne sont pas en nombre suffisant et que leur fiabilité est trop douteuse pour que de « légères » incohérences fassent tomber un modèle aussi prometteur. Mais que se passe-t-il à partir du moment où Kepler a accès aux précieuses données de Tycho Brahé?

L'opinion la plus courante est que Kepler, précurseur de la méthode expérimentale moderne, s'est employé à rejeter les conjectures qui entraient en conflit avec les données empiriques. Par exemple, W. Diederich souligne que ce fut l'attitude de Kepler lorsqu'il recherchait un lien entre astrologie et météorologie :

*Over a period of several decades Kepler collected meteorological data. After realizing that these data conflicted with certain parts of the traditional (and his own early) theory of astrological "aspects", he revised his system considerably – thus proving to be a good Popperian!*²³⁶

De même, nous avons vu (en section III.2) les différents tableaux numériques qui permettent à Kepler, dans l'*Harmonice Mundi*, de rejeter certaines hypothèses harmoniques qui sont clairement en désaccord avec les proportions observées. Ce pouvoir que l'on peut

²³⁵ Cf. *Opera Omnia*, I, p. 148; *Le secret du monde*, XIII, p. 117. Voir aussi la section II.5 du présent mémoire.

²³⁶ W. Diederich, "The Structure of the Copernican Revolution", p. 17.

conférer aux *explananda* pour invalider une hypothèse est toutefois remis en question lorsque l'incohérence est relativement faible. Ainsi, Kepler conserve son système harmonique même si les proportions observées ne sont pas exactement les mêmes que celles prédites par son modèle. Dans ce cas, ce n'est pas parce qu'il remet en doute la fiabilité des observations; l'astronome fait notamment appel à un autre système, celui des polyèdres réguliers, pour pallier ces « légères » contradictions, qu'il reconnaît comme telles. Celles-ci ne seront jamais parfaitement résolues, même en modifiant le système, mais Kepler permettra quand même à son édifice théorique de résister à une réfutation empirique.

La ténacité qu'a Kepler de croire en son modèle malgré les incohérences peut, d'un point de vue logique, nous sembler en contradiction avec son souci d'exactitude empirique. Or cela s'explique mieux si l'on comprend sa démarche rationnelle comme une abduction plutôt qu'une méthode hypothético-déductive. En effet, en cas d'incohérence, une logique hypothético-déductive s'appliquerait comme suit (*modus tollens*):

1. H implique P ;
2. $\neg P$;
3. Donc $\neg H$.

Mais si l'on applique plutôt une logique abductive qui part elle aussi de H , par exemple celle de Myrstad, nous obtenons ceci :

1. H permet de décrire P ;
2. P n'est pas observé;
3. Donc H n'est pas possible.

Pour mieux rendre compte de la situation, il serait plus juste de dire que P est tout de même approximativement obtenu, ce que le raisonnement de Myrstad nous permet de faire puisqu'il concerne l'observation d'un phénomène et non son affirmation logique:

1. H permet de décrire P ;
2. P est approximativement observé;
3. Donc H est ? (possible).

D'une part, nous remarquons que H n'y est pas réfuté logiquement pour autant; d'autre part, nous pouvons voir qu'une telle forme d'abduction permettrait de placer les théories sur un *continuum* : plus le phénomène observé se rapprocherait de P , plus nous aurions de

bonnes raisons de croire que H soit possible. Le degré de rapprochement par rapport à P nous donnerait alors un critère de sélection pour choisir la candidate H à la meilleure explication. Dans cette optique, Kepler fait parfaitement preuve de rationalité scientifique lorsqu'il conserve son système harmonique malgré les désaccords empiriques, puisque ces derniers sont les plus petits qu'il ait pu obtenir.

L'abduction, en plus de nous renseigner sur la génération d'hypothèses, peut donc également fournir des fondations logiques pour la survie de théories crédibles qui ne concordent pas totalement avec l'expérience; ce qui peut clairement s'appliquer à la démarche képlérienne. Comme quoi la primauté épistémique des fondements métaphysiques sur les observations peut se conjuguer avec la rationalité scientifique. Notons qu'il ne s'agit pas de dénigrer le pouvoir des *explananda*, mais plutôt de rappeler qu'ils ne prennent sens qu'au sein d'un système théorique les reliant ensemble. Comme l'affirme R. Martens : « *Kepler's advocacy of the a priori method is not a denial of the importance of empirical data but an emphasis of the role reason plays in uncovering the order underlying the data.* »²³⁷

En fin de compte, les deux sortes de justifications – *a priori* et *a posteriori* – font partie intégrante de la dynamique rationnelle képlérienne, et peut-être est-ce cette union dialectique qui a fait de lui un scientifique aussi remarquable : « Mais ce qui constitue son originalité, c'est la liaison de deux démarches qui ne sont antagonistes qu'en apparence : le besoin d'un fondement absolu et le souci de la précision technique. »²³⁸ Une lecture attentive de *l'Harmonice Mundi* nous montre comment ces deux pôles peuvent entrer en relation dynamique et permettre à la notion d'harmonie d'être aussi riche en répercussions scientifiques. En ce sens, nous croyons que l'abduction est une clef indispensable pour nous permettre de mieux apprécier le génie propre de Kepler.

²³⁷ R. Martens, *Kepler's Philosophy and the New Astronomy*, p. 62.

²³⁸ G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, p. 420.

Conclusion

L'objectif principal de ce travail était d'étudier les recherches cosmographiques de Kepler en utilisant, comme fil conducteur, la notion d'harmonie. Nous avons commencé par aborder la solution képlérienne au problème de la consonance, qui à l'époque divisait les différents théoriciens au sujet de la musique. Nous avons vu comment Kepler, pour rendre compte des harmonies sonores, développe un système théorique trouvant ses assises dans la géométrie, suite à de vives critiques des approches arithmétiques des pythagoriciens, de Ptolémée et de Zarlino. La compréhension des rouages de la *musica humana* et de ses fondements mathématiques et philosophiques était une étape essentielle pour analyser la théorie de Kepler au sujet des mouvements célestes, qui consiste en l'application de cette théorie musicale aux mouvements planétaires.

Nous avons ensuite abordé les recherches de Kepler eu égard aux questions directrices initiales auxquelles la notion d'harmonie allait fournir une piste de solution. L'étude du *Mysterium Cosmographicum* nous a permis de voir que le projet de Kepler consiste à bâtir un système explicatif pouvant rendre compte *a priori* des observations astronomiques *a posteriori*. Il est apparu clairement que Kepler, dans son modèle construit à partir des cinq polyèdres réguliers, récupère les positions héliocentriques de Copernic pour les réinterpréter à l'intérieur d'un système rendant compte de l'ordre du monde en se fondant sur des présupposés métaphysiques, mathématiques et théologiques. Nous avons pris soin d'éclairer ces derniers puisqu'ils allaient être toujours opérants dans l'élaboration par Kepler de son système ultérieur, fondé sur l'harmonie plutôt que sur les polyèdres.

C'est ce système que nous avons ensuite analysé, tel qu'exposé dans le cinquième livre de l'*Harmonice Mundi*. Nous avons vu comment Kepler passe de la *musica humana* à la *musica mundana* et que cette conception lui permet d'étudier les planètes de façon dynamique, en tenant compte de leurs variations de vitesses durant leurs trajets autour du Soleil. Le rôle des présupposés métaphysiques fut particulièrement mis en évidence en ce qu'ils ont incité l'astronome à traiter des vitesses angulaires observées à partir du Soleil. Il nous est apparu que c'est la volonté de Kepler de saisir le chœur polyphonique des planètes, soit sa quête de l'harmonie cosmique, qui lui a permis de rechercher avec confiance des proportions mathématiques significatives entre les vitesses extrêmes (à

l'aphélie et au périhélie) des planètes et d'inclure le paramètre temporel dans sa quête des relations mathématiques régissant le monde céleste. Cette entreprise allait aboutir à l'énonciation de la troisième loi de Kepler, au sujet de laquelle nous avons conclu qu'elle était indissociable de ses recherches harmoniques.

Nous avons ensuite mis au jour la théorie de la connaissance sous-jacente aux écrits scientifiques de Kepler. Il fut montré que l'harmonie trouvait sa pleine réalisation lorsqu'elle se confondait avec l'activité même de l'âme qui reconnaît, dans le monde, les proportions archétypales mathématiques déjà présentes en elle. Nous avons constaté que cette reprise de la théorie néo-platonicienne de la connaissance comme réminiscence donnait au scientifique l'assurance que nous pouvions effectivement connaître l'ordre harmonique du monde et que, ce faisant, nous remplissions la mission prescrite par la théologie. La thèse selon laquelle l'harmonie pleinement réalisée est indissociable de la connaissance par l'âme des régularités mathématiques qui sont présentes dans le monde a conféré un autre rôle à l'harmonie : celui d'être garante d'une connaissance juste du monde.

Enfin, le statut particulier de ce système harmonique par rapport aux données empiriques probantes a été éclairé via une étude de l'abduction. Bien que cette dernière ne fasse pas l'objet d'un consensus quant à sa nature propre, elle a permis d'envisager la démarche rationnelle de Kepler comme une relation dialectique entre raisonnements *a priori* et preuves *a posteriori*. Nous avons suggéré que l'harmonie pouvait être interprétée comme un réseau conceptuel permettant à Kepler d'inférer ensuite des hypothèses stratégiquement plausibles permettant de « lire » les phénomènes observés. Il fut montré aussi que, dans ce cas, l'essentiel de la démarche scientifique se déroulait au sein du système théorique, et que par conséquent l'importance des vérifications empiriques devait être nuancée. Nous avons vu également que cette mise en valeur de la justification *a priori* par rapport aux preuves *a posteriori*, tout comme le caractère uniquement « probable » des hypothèses explicatives, faisaient partie intégrante de la rationalité propre à la science astronomique selon Kepler. Nous avons finalement montré que la concordance entre le système harmonique et les faits observés, bien qu'elle ne pût jamais être parfaitement obtenue, n'en était pas pour autant négligée. L'entreprise scientifique de Kepler nous est alors apparue comme une dynamique entre la volonté de construire de solides raisonnements théoriques – fondés sur des présupposés métaphysiques, mathématiques et

théologiques – et le souci de les voir concorder avec les données observées. Nous avons conclu que l'étonnante fécondité scientifique de l'harmonie trouvait une explication rationnelle si on l'envisageait au cœur d'un processus abductif.

Cette enquête sur la dynamique propre aux recherches scientifiques de Kepler pourrait éventuellement se poursuivre dans un cadre débordant celui de ce mémoire. Par exemple, une œuvre comme l'*Astronomia Nova* a été très peu étudiée ici puisqu'elle ne touche pas de près la notion d'harmonie. Elle contient toutefois l'énonciation des deux premières lois de Kepler qui permettent de concevoir, pour la première fois dans l'histoire de la science occidentale, la forme des orbites planétaires comme étant des ellipses et non des cercles. Un changement conceptuel aussi significatif gagnerait à être éclairé par les notions contemporaines de raisonnements abductifs. Inversement, nous croyons également qu'une telle étude pourrait enrichir la philosophie des sciences contemporaine en fournissant un exemple particulièrement instructif d'une génération féconde d'hypothèses explicatives; elle pourrait ainsi amener d'autres éléments pour nourrir le débat concernant l'abduction.

Enfin, l'harmonie nous a permis d'aborder deux facettes de la démarche scientifique de Kepler : celle, archaïque, se fondant sur les traditions néo-platonicienne et pythagoricienne, de même que sur des conceptions théologiques, pour construire un système du monde harmonique; l'autre, plus novatrice, critiquant certains aspects de la tradition et proposant une vérification empirique qui annonçait déjà la période moderne. Le philosophe Alexandre Koyré qualifie l'astronome de « véritable *Janus bifrons* »²³⁹, porteur de cette dualité qui a fait de lui un scientifique aussi prolifique que singulier. La question peut se poser : Kepler est-il véritablement un des derniers penseurs de la Renaissance ou plutôt un des premiers scientifiques de l'époque moderne? Une lecture attentive de l'ensemble de son œuvre scientifique et de ses lettres personnelles pourrait nous éclairer davantage sur cette question. Toujours est-il que les recherches harmoniques de Kepler, qui se sont intéressées tant aux chants individuels des planètes qu'au chœur polyphonique observé depuis le Soleil, annoncent la transformation qui allait s'opérer pour donner le coup d'envoi à une nouvelle conception dynamique de la physique céleste, couronnée en 1687 avec les *Philosophiae naturalis principia mathematica* de Newton.

²³⁹ A. Koyré, *Études d'histoire de la pensée scientifique*. Paris : Gallimard, 1973, p.56.

Kepler était d'ailleurs lui-même conscient du caractère novateur de sa quête des harmonies cosmiques. Il doutait que les gens de son époque pussent le comprendre parfaitement, mais il ne s'en formalisait point puisqu'il avait confiance que l'avenir lui donnerait raison. Nous lui laissons le mot de la fin :

Maintenant, dix-huit mois après la première lumière, trois mois après l'aube, mais très peu de jours après que le pur Soleil de cette très admirable étude se mît à luire, rien ne me retient. Il me plaît de m'abandonner à cette frénésie sacrée, il me plaît de braver les mortels par une noble confession, révélant que j'ai volé les vases d'or d'Égypte afin d'en construire un tabernacle à mon Dieu, très loin des frontières d'Égypte. Si vous me pardonnez, je m'en réjouirai, si vous vous enflamez, je le supporterai ; voilà, je jette les dés et j'écris mon livre. Qu'il soit lu par mes contemporains ou par la postérité, peu importe; qu'il attende son lecteur pendant cent ans, si Dieu lui-même a attendu son contemplateur pendant six mille ans.²⁴⁰

²⁴⁰ « *Jam postquam a mensibus octodecim prima lux, a tribus dies justa, a paucissimis vero diebus Sol ipse merus illuxit contemplationis admirabilissimae, nihil me retinet, lubet indulgere sacro furori, lubet insultare mortalibus confessione ingenua, me vasa aurea Aegyptiorum furari, ut Deo meo tabernaculum ex iis construam, longissime ab Aegypti finibus. Si ignoscitis, gaudebo, si succensetis, feram ; jacio en aleam librumque scribo seu praesentibus seu posteris legendum, nihil interest ; exspectet ille suum lectorem per annos centum, si Deus ipse per annorum sena millia contemplatorem praestolatus est. » *Opera Omnia*, V, p. 269 (ma traduction).*

Bibliographie

- Aristote. *Du ciel*. Trad. par P. Moraux. Paris : Belles Lettres, 1965, 167 p.
- . *Météorologiques*. Trad. par P. Louis. Tome I. Paris : Belles Lettres, 1982, 226 p.
- . *Métaphysique*. Trad. par J. Tricot. Paris : Vrin, 1991, 2 vol., 625 p.
- Bruhn, Siglind. *The Musical Order of the World : Kepler, Hesse, Hindemith*. Hillsdale, NY : Pendragon Press, 2005, 256 p.
- Burt, Edwin Arthur. *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*. 2^{ème} édition. London : Routledge & Kegan Paul Ltd, 1964, 343 p.
- Caspar, Max. *Kepler*. Trad. et éd. par C. Doris Hellman. New York : Abelard Schuman, 1959, 401 p.
- Charrak, André. *Musique et philosophie à l'âge classique*. Coll. "Philosophies". Paris : Presses universitaires de France, 1998, 125 p.
- Cohen, H. Floris. *Quantifying Music : The Science of Music at the First Stage of the Scientific Revolution, 1580-1650*. Dordrecht : D. Reidel Publishing Company, 1984, 308 p.
- . "Music as a Test-Case ", *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol. 16 (1985), no. 4, pp 351-378.
- Copernic, Nicolas. *De revolutionibus orbium cælestium : libri VI*. Bruxelles : Culture et civilisation, 1966. Fac-sim. de l'édition de Norimbergae : J. Petreium, 1543, 196 p.
- Cromwell, Peter R. *Polyhedra*. Cambridge : Cambridge University Press, 1997, 451 p.
- Dickreiter, Michael. *Der Musiktheoretiker Johannes Kepler*. Berne : A. Francke AG Verlag Bern, 1973, 252 p.
- Diederich, Werner. "The Structure of the Copernican Revolution", *Diálogos*, Vol. 36 (2001), no. 77, pp. 7-24.
- . "Kepler's *Harmonice Mundi* : Dead End Road or Final Theory?", *Diálogos*, Vol. 36 (2001), No. 78, pp. 7-17.
- Duhem, Pierre. *Sauver les apparences. Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*. Paris : Vrin, 1990, 160 p.
- Euclide. *Elementa*. Vols. 1-3. Leipzig : Teubner BSB, 1969.

- Field, Judith Veronica. *Kepler's Geometrical Cosmology*. Chicago : University of Chicago Press, 1988, 243 p.
- Galilée. *Discours et démonstrations mathématiques concernant deux sciences nouvelles*. Intro., trad. et notes par Maurice Clavelin. Paris : A. Colin, 1970, 263 p.
- Gingerich, Owen. "The Origins of Kepler's Third Law". In *Kepler : Four Hundred Years*. Coll. "Vistas in Astronomy". Sous la dir. de Arthur Beer et Peter Beer. New York : Pergamon Press, 1975, pp. 595-601.
- Gozza, Paolo (éd.). *Number to sound : The Musical Way to the Scientific Revolution*. Boston : Kluwer Academic Publishers, 2000, 322 p.
- Hallyn, Fernand. *La structure poétique du monde : Copernic, Kepler*. Paris : Seuil, 1987, 311 p.
- Hanson, Norwood Russell. *Patterns of Discovery : An Inquiry Into the Conceptual Foundations of Science*. New York : Cambridge University Press, 1965, 241 p.
- Hübner, Jürgen. *Die Theologie Johannes Keplers zwischen Orthodoxie und Naturwissenschaft*. Tübingen : Mohr, 1975, 334 p.
- Jardine, Nicholas. *The Birth of History and Philosophy of Science : Kepler's A defence of Tycho against Ursus with essays on its provenance and signifiante*. New York : Cambridge University Press, 1984, 301 p.
- Kepler, Johannes. *Opera Omnia*. Vols 1-8. éd. par C. Frisch. Frankofurti & Erlangae, Heyder und Zimmer, 1858-1870.
- , *Gesammelte Werke*. Vols. 1-22 éd. par Walther von Dyck, Max Caspar et Franz Hammer. München : Beck, 1937-1969.
- , *Le secret du monde*. Trad. par Alain Segonds. Paris : Gallimard, 1984, 294 p.
- , *L'harmonie du monde*. Trad. par Jean Peyroux. Paris : A. Blanchard, 1977, 425 p.
- Kleiner, Scott A. "A New Look at Kepler and Abductive Argument", *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol. 14 (1983), No. 4, pp. 279-313.
- Koenigsberger, Dorothy. *Renaissance Man and Creative Thinking : A History of Concepts of Harmony 1400-1700*. Atlantic Highlands : Humanities Press, 1979, 282 p.
- Koyré, Alexandre. *La révolution astronomique : Copernic, Kepler, Borelli*. Paris : Hermann, 1961, 525 p.

- Koyré, Alexandre. *Études d'histoire de la pensée scientifique*. Paris : Gallimard, 1973, 412 p.
- Kozhamthadam, Job. *The Discovery of Kepler's Laws : The Interaction of Science, Philosophy, and Religion*. Notre Dame et Londres : University of Notre Dame Press, 1994, 316 p.
- Krafft, Fritz. "The New Celestial Physics of Johannes Kepler". In *Physics, Cosmology and Astronomy, 1300-1700 : Tension and Accommodation*. Sous la dir. de Sabetai Unguru. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1991, pp. 185-227.
- Kuhn, Thomas Samuel. *La révolution copernicienne*. Trad. par A. Hayli. Paris : Fayard, 1973, 333 p.
- Lugg, Andrew. "The Process of Discovery", *Philosophy of Science*, Vol. 52 (1985), No. 4, pp. 207-220.
- Marion, Jean-Luc. *Sur la théologie blanche de Descartes. Analogie, création des vérités éternelles et fondement*. Paris : Presses universitaires de France, 1981, 488 p.
- Martens, Rhonda. *Kepler's Philosophy and the New Astronomy*. Princeton : Princeton University Press, 2000, 201 p.
- Mittelstrass, Jürgen. "Methodological Elements of Keplerian Astronomy", *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol. 3 (1972), No. 3, pp. 203-232.
- Myrstad, Johan Arnt. "The Use of Converse Abduction in Kepler", *Foundations of Science*, Vol. 9 (2004), pp. 321-338.
- Newton, Isaac. *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Vols. 1-2. Cambridge : The University Press, 1972.
- Paavola, Sami. "Abduction as a Logic and Methodology of Discovery : The Importance of Strategies", *Foundation of Science*, Vol. 9 (2004), pp. 267-283.
- Pauli, Wolfgang. *Le cas Kepler*. Trad. par M. Carlier. Paris : Albin Michel, 2002, 147 p.
- Peirce, Charles Sanders. *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. Vols. 1-6, éd. par C. Hartshorne et P. Weiss; vols. 7 et 8, éd. par A.W. Burks. Cambridge : Harvard University Press, 1931-1958.
- Platon. "Timée". Trad. par L. Robin. In *Oeuvres complètes*, vol. II. Paris : Gallimard (Pléiade), 1950, 1673 p.
- Popper, Karl Raimund. *The Logic of Scientific Discovery*. Toronto : University of Toronto Press, 1959, 479 p.

Reichenbach, Hans. *Experience and Prediction; an Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*. Chicago : The University of Chicago Press, 1938, 410 p.

Simon, Gérard. *Kepler astronome astrologue*. Coll. "Bibliothèque des sciences humaines". Paris : Gallimard, 1979, 488 p.

------. *Sciences et savoirs aux XVI^e et XVII^e siècles*. Paris : Septentrion, 1996, 225 p.

Stephenson, Bruce. *Kepler's Physical Astronomy*. Princeton : Princeton University Press, 1994, 217 p.

------. *The Music of the Heavens : Kepler's Harmonic Astronomy*. Princeton : Princeton University Press, 1994, 260 p.

Van Wymeersch, Brigitte. "La musique comme reflet de l'harmonie du monde : L'exemple de Platon et de Zarlino", *Revue Philosophique de Louvain*, Vol. 97 (1999), no. 2, pp. 289-311.

Walker, Daniel Pickering. "Kepler's Celestial Music", *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes*, Vol. XXX (1967), pp. 228-250.

Westman, Robert S. "Kepler's Theory of Hypothesis and the Realist Dilemma", *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol. 3 (1972), no.3, pp. 233- 264.

Wilson, Curtis A. "From Kepler's Laws, So-called, to Universal Gravitation : Empirical Factors", *Archive for History of Exact Sciences*, Vol. 6 (1970), pp. 89-170.

------. "Newton and Some Philosophers on Kepler's Laws", *Journal of the History of Ideas*, Vol. 35 (1974), No.2, pp. 231-258.