UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

ÉCOLE DOCTORALE DES HUMANITES

Centre de recherches en philosophie allemande et contemporaine : histoire, problématiques, enjeux - UR 2326

THÈSE présentée par :

Pierre JEANDILLOU

soutenue le : **07 décembre 2022**

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université de Strasbourg**

Discipline/ Spécialité : Philosophie

Équivalence des hypothèses et système du monde

Copernic, Kepler, Galilée

THÈSE dirigée par :

Monsieur MEHL Edouard	Professeur des universités, université de Strasbourg
Madame ROUX Sophie	Professeure des universités, ENS-PSL (Paris)

RAPPORTEURS :

Monsieur HAMOU Philippe	Professeur des universités, Sorbonne Université (Paris)
Monsieur SEVE Bernard	Professeur émérite, Université de Lille

---

AUTRES MEMBRES DU JURY :

Madame BELLIS Delphine	Maîtresse de conférences, Université Montpellier-III (Paul-Valéry)
Madame FABBRI Natacha	Professeure associée, Musée Galilée (Florence)

Résumé

Nous partons pour cela d'une situation historique, ou plutôt d'un problème, tel qu'il s'est posé aux astronomes à partir du milieu du XVIe siècle. L'astronomie copernicienne s'est à ce moment trouvée face à une alternative qui paraissait insoluble : d'un côté, elle s'est toujours affirmée comme une astronomie vraie, c'est-à-dire produisant avec l'hypothèse héliocentrique une description du monde réel. De l'autre côté, ce réalisme copernicien se heurtait à l'absence de preuve observationnelle : entre autres, la parallaxe annuelle des fixes, qu'aurait *dû* produire le mouvement de la Terre, demeurait inobservable, contraignant Copernic à concéder l'éloignement démesuré de la sphère des fixes. Cette situation, de laquelle nous partons, a été nommée « équivalence des hypothèses ».

La lecture que nous proposons de la révolution astronomique identifie les efforts et les effets produits par les coperniciens pour faire sa peau à l'équivalence des hypothèses, en soumettant leur hypothèse à un idéal de systématicité constituant de fait une preuve de sa supériorité sur les autres hypothèses. Nous essayons de montrer que l'idéal de systématicité de la connaissance est né comme tentative de dissiper l'équivalence des hypothèses astronomiques. Dans une première partie, nous définissons cet idéal de systématicité. Dans une deuxième partie, nous en cherchons la trace chez Copernic, Kepler et Galilée.

Summary

We start from a historical situation, or rather a problem, as it arose for astronomers from the middle of the 16th century. At that time, Copernican astronomy was faced with an alternative that seemed unsolvable: on the one hand, it always asserted itself as a true astronomy, i.e. producing with the heliocentric hypothesis a description of the real world. On the other hand, this Copernican realism came up against the absence of observational evidence: among other things, the annual parallax of the fixed bodies, which should have been produced by the motion of the Earth, remained unobservable, forcing Copernicus to concede the inordinate distance of the sphere of the fixed bodies. This situation, from which we start, has been called « equivalence of hypotheses ».

The reading that we propose of the astronomical revolution identifies the efforts and the effects produced by the Copernicans in order to undermine the equivalence of hypotheses, by subjecting their hypothesis to an ideal of systematicity constituting in fact a proof of its superiority over the other hypotheses. We try to show that the ideal of systematicity of knowledge was born as an attempt to dispel the equivalence of astronomical hypotheses. In a first part, we define this ideal of systematicity. In a second part, we look for its trace in Copernicus, Kepler and Galileo.

Remerciements

Je souhaite que toutes les personnes qui ont rendu possible l'achèvement de ce travail trouvent ici le témoignage de ma reconnaissance et de ma gratitude.

Je remercie en premier lieu Madame Sophie Roux, ma Directrice, pour avoir soutenu ma candidature à un contrat doctoral de l'ENS de Paris en 2015, ainsi que pour sa grande patience, sa bienveillance, sa réactivité dans les conseils scientifiques depuis lors.

Je remercie Monsieur Edouard Mehl, mon Directeur, pour avoir accueilli mon projet dès le début, pour sa générosité, sa patience et sa présence dans les moments difficiles.

Je remercie Madame Delphine Bellis, Madame Natacha Fabbri et Monsieur Philippe Hamou pour avoir accepté de faire partie de mon jury ; c'est pour moi un immense honneur que d'avoir été lu par elles et eux.

Je remercie Madame Anne-Lise Rey, membre de mon comité de suivi de thèse, pour ses encouragements et ses précieux conseils.

Je remercie tout particulièrement Bernard Sève, pour sa participation à mon comité de suivi, et surtout pour son amitié, son immense bienveillance et son soutien sans faille.

Ce travail n'aurait pas vu le jour sans l'accueil de l'équipe du Caphès et de son centre documentaire ; que Nathalie Queyroux et David Denéchaud soient ici particulièrement remerciés.

TABLE DES MATIERES

Résumé 3

Summary 4

Remerciements 5

Introduction 12

PARTIE I 25

CHAPITRE 1 – EQUIVALENCE DES HYPOTHESES 26

I. Rappel historique 28

A. Le Timée 28

B. Les Lois 33

II. Position de l'équivalence 38

A. Le phénoménisme d'Osiander 38

B. Le phénoménisme de Bellarmin 41

III. Définition képlérienne des hypothèses et refus de l'équivalence 50

Conclusion 59

CHAPITRE 2 - SYSTEME 61

I. La notion grecque de système 64

II. Rheticus : systématicité et musicalité 68

III. Kepler : systématicité et nécessité 74

Conclusion 78

CHAPITRE 3 - CENTRE 81

I. Copernicianisme et centralité 82

II. Le centre comme lieu 86

III. Le repos de la Terre 92

IV. Le lieu chez Duhem 96

A. Duhem et la mutation conceptuelle du lieu aristotélicien 96

B. La reconfiguration de la notion de centre chez Rheticus 102

Conclusion 106

CHAPITRE 4 - LE SCEPTICISME INVINCIBLE 109

CHAPITRE 5 - PARALLAXE 118

Introduction 119
I. La parallaxe des nouveautés *122*
A. Tycho et la comète de 1577 122
B. Une révolution cométaire ? 124
C. La démonstration de Barker et Goldstein 126
II. La Nova de 1572 ..... *132*
A. L'étoile ne se trouve pas dans la région sublunaire. 132
B. L'étoile ne se situe pas dans les sphères planétaires. 133
C. L'interprétation du résultat 136
III. La parallaxe des fixes *138*
A. La banalité du monde 143
B. Maestlin et l'expérience comme mesure propre des calculs rationnels 146
IV. La parallaxe et le pouce *152*
Conclusions sur la parallaxe post-copernicienne 155
PARTIE II 157
CHAPITRE 6 – COPERNIC 158
CHAPITRE 7 - KEPLER 175
Partie I - L'enquête sur les enquêteurs 185
I. Wolfgang Pauli lecteur de Kepler *186*
II. Kepler illogique ? Duhem et le « système » du monde *197*
A. Logique duhémienne versus logique képlérienne 199
B. Copernic et les levers et couchers 206
III. Cassirer : Kepler et le problème de la connaissance *224*
A. Cassirer et la légalité képlérienne de la nature 228
B. Idéalisation et harmonie du monde 231
C. Cassirer et la question du mouvement 238
IV. Kepler, Leibniz et Descartes : les interprétations de G. Simon et J.-L. Marion *244*
V. KOYRE *256*
Partie II - Retour à Kepler 260
Conclusion 279
CHAPITRE 8 - GALILÉE 280
Introduction 281
I. Galiléisme, copernicianisme et systématicité du monde *285*

II. Astronomie, cosmologie et empirisme de Galilée à l'épreuve des nouveautés célestes 295
A. Précédents antiques de l'observation des taches solaires 295
B. Nouveautés célestes et conception du travail de l'astronome 299
C. Nouveautés célestes et cosmologie 303
III. L'homogénéisation des deux domaines 309
A. Empirisme et nouveautés célestes 312
B. L'analogie entre la Terre et les Cieux 321
C. Analogie, systématicité et limites de la connaissance 348
IV. Nouveautés célestes et mathématisation 353
A. La preuve mathématique de la localisation des taches 353
B. La mesure de l'Enfer de Dante (1585) : un précédent ? 358
C. Remarques finales 368
CONCLUSION 377
BIBLIOGRAPHIE 382
I. Sources primaires 383
II. Commentaires classiques 386
III. Etudes 388

[...] il avait de réelles et fortes inclinations pour les mathématiques ; il les avait appliquées à l'astronomie et en avait tiré des reconnaissances publiques suffisantes et des joies personnelles très savoureuses. Il suffit de dire que chez lui l'orgueil et l'analyse mathématique s'étaient à tel point associés qu'ils pouvaient lui donner l'illusion que les astres obéissaient à ses calculs [...]

Giuseppe Tomasi di Lampedusa,

Le Guépard

Introduction

Connaît-on jamais les choses qui existent réellement ? Dans la douzième des *Règles pour la direction de l'esprit*, Descartes écrit :

> *Il faut considérer chacune des choses quand elles sont ordonnées à notre connaissance autrement que si nous parlions des mêmes pour autant qu'elles existent réellement.*[1]

Cette phrase pose une distinction entre deux manières de considérer les choses : nous pouvons les considérer telles qu'en elles-mêmes, c'est-à-dire telles qu'elles existent indépendamment de nous et de la connaissance que nous pouvons en avoir ; mais nous pouvons aussi les considérer selon ce que nous connaissons d'elles, par exemple selon sa masse et son volume s'il s'agit d'une chose matérielle que nous avons pu peser et mesurer.

Nous voudrions, dans les pages qui suivent, contribuer modestement à la compréhension de cette phrase. Nous ne proposons pas un travail sur Descartes, mais sur le réalisme en astronomie. Nous voudrions simplement montrer que la question que nous venons de poser, la question du réalisme de la chose connue, a trouvé son domaine d'application avec le statut des hypothèses astronomiques tel qu'il s'est posé de manière nouvelle, c'est-à-dire dans des termes et avec des enjeux nouveaux, à partir du milieu du XVI^{e} siècle.

1 Descartes, R., *Regulae ad directionem ingenii*, AT X, p.418, traduction française par Marion, J.-L., *Règles utiles et claires pour la direction de l'esprit et la recherche de la vérité*, Archives internationales d'histoire des idées, Martinus Nijhoff, La Haye, 1977, p.45.

Posons, de façon un peu schématique, les termes du débat astronomique. Lorsque Copernic écrit au livre I du *De Revolutionibus* que le Soleil occupe le milieu du monde[1], *la difficulté principale consiste à savoir s'il s'agit de la description d'un état réel du monde ou d'une fiction mathématique*. Cette question a agité l'épistémologie sous la forme du débat bien connu entre réalisme et instrumentalisme. Nous voudrions nous insérer dans ce débat, par la porte historique que voici.

Ici s'impose la restitution, brève, du contexte historique : au moment où Galilée, au milieu des années 1610, est sommé de rendre des comptes aux autorités religieuses quant à sa défense de l'astronomie copernicienne, une des portes de sortie qui lui est proposée – mais à laquelle il n'adhère en aucune façon, consisterait à dire la chose suivante : l'héliocentrisme de Copernic est une hypothèse, parmi d'autres hypothèses, qui, tant que l'on aura pas prouvé avec certitude sa vérité, doit être tenue pour *équivalente aux autres hypothèses*. C'est cette position épistémologique de repli, *l'équivalence des hypothèses*, que propose à Galilée le cardinal Bellarmin.

Pour quelles raisons fallait-il tenir l'héliocentrisme copernicien comme équivalent au géocentrisme ptoléméen ? Dit autrement : quelles raisons y a-t-il pour ne pas admettre la vérité de l'hypothèses copernicienne. Ces raisons sont de deux ordres, observationnel et épistémologique, qui se conjuguent pour mettre les coperniciens en situation de devoir *défendre* leur hypothèse malgré les succès calculatoires de l'héliocentrisme.

Il y a une première raison, qui est de nature observationnelle. Les astronomes coperniciens ont dû affronter la difficulté, et même, à l'époque qui nous intéresse, l'impossibilité, d'apporter une preuve observationnelle du mouvement de la Terre – quand

1 *De revolutionibus orbium caelestium. Des révolutions des orbes célestes*, éd., trad, et notes par Michel-Pierre Lerner, Alain-Philippe Segonds et Jean-Pierre Verdet, avec la collab. de Concetta Luna, Isabelle Pantin et Denis Savoie, Paris, Belles Lettres, 2015, t.II, p.23.

bien même cette impossibilité serait due non pas au repos effectif de la Terre, mais à *l'incapacité provisoire d'observer une parallaxe annuelle des fixes*. En effet, si la Terre est en mouvement, alors on devrait observer comme effet de ce mouvement réel observer une variation apparente de la position de étoiles au cours de l'année. Or, à l'époque, on n'observait rien de tel. Aristarque avait déjà dû affronter cette difficulté, et elle se pose dans les mêmes termes pour Copernic et les coperniciens au XVIe siècle. L'argument de la parallaxe est un outil très puissant de destruction du copernicianisme, car il l'attaque sur ce qui est pourtant supposé le légitimer : son rapport à l'observation. En l'absence d'une preuve du mouvement de la Terre, on pouvait faire aux coperniciens le reproche d'outrepasser ce qu'autorisait les données observationnelles en affirmant la réalité de leur hypothèse, et de ne fournir qu'une hypothèse *ad hoc* en expliquant, comme le firent Aristarque et Copernic, que l'absence de parallaxe visible était due à un éloignement immense de la sphère des fixes, rendant l'angle de parallaxe certes réel, mais trop petit pour être apparent. Comme le note Alexandre Koyré dans une note de *La Révolution astronomique*[1] :

> *L'absence de parallaxe des fixes a toujours été l'argument astronomique le plus fort contre l'héliocentrisme. Et la réponse d'Aristarque et de Copernic a toujours paru n'être qu'une échappatoire, contrevenant aux règles les plus strictes de la logique. Il faut avouer que si l'on se place au point de vue d'une science rigoureusement expérientielle, on doit leur donner raison.*[2]

Les coperniciens sont deux fois en tort : comme astronomes, ils sont incapables d'observer ce qui est pourtant prévu par leurs calculs. Mais, plus grave encore peut-être, ils commettent une faute logique et enfreignent les règles d'une science fondée sur l'observation. L'argument de la parallaxe n'implique pas, à strictement parler, une

1*La Révolution astronomique*, *Copernic, Kepler, Borelli* (1961), coll. L'Âne d'Or, Les Belles Lettres, Paris, 2016.
2 *Ibidem*, n.13 de la page 51 ; cette note se trouve page 106.

équivalence *de droit* de toutes les hypothèses ; mais il a mis les coperniciens dans l'impossibilité supposée de montrer la supériorité *de fait* de leurs hypothèses.

Plus largement, cette thèse de *l'équivalence des hypothèses* repose sur une conception des hypothèses astronomiques en général, abstraction faite de la question de la parallaxe annuelle des fixes. Cette thèse épistémologique, qui a été défendue entre autres par Osiander dans son *Ad lectorem* inséré au *De Revolutionibus* de Copernic, par Bellarmin au moment de l'affaire Galilée, et par Duhem dans son petit ouvrage *Sozein ta phainomena*, affirme essentiellement la chose suivante : par nature - et non pas seulement compte tenu de l'état des observations à une date donnée – par nature donc, les hypothèses astronomiques sont des fictions mathématiques destinées à calculer les apparences, et ne peuvent en aucune manière prétendre être une description de la réalité. Son intérêt stratégique, notamment (en ce qui concerne par exemple le texte d'Osiander) réside dans le fait d'empêcher tout conflit entre les hypothèses des astronomes et le texte des Ecritures ; si l'astronome présente ses hypothèses comme des fictions mathématiques sans prétention à décrire la réalité, alors on ne saurait lui reprocher quelque contradiction que ce soit avec le texte biblique.

Qu'est-ce qui, d'un point de vue proprement scientifique (et non du point de vue de la conciliation entre science et religion), pousse à adopter cette doctrine de l'équivalence des hypothèses ? Le fait suivant : il existe plusieurs manières de rendre raison des mêmes phénomènes. Autrement dit, il tout autant possible de produire une description géométrique correcte des mouvements planétaires en prenant comme centre la Terre ou bien le Soleil, ou bien même n'importe quel astre. Cela est peut-être plus *facile* dans un cas que dans l'autre, mais la facilité n'est pas un critère de vérité. Certaines hypothèses sont

plus commodes que d'autres, et sans doute l'astronomie ptolémaïque pose de redoutables difficultés calculatoires, mais *du point de vue de la réalité* elles sont équivalentes. L'astronome doit bien se garder de choisir entre les différentes hypothèses laquelle produit une description correcte de la réalité : rien ne l'autorise à le faire, et une fois ses calculs faits avec l'hypothèse qui lui sied le mieux, il doit suspendre son jugement quant à la vérité de ladite hypothèse. L'équivalence est hypothèses est une thèse sceptique : elle est l'*épochè* de l'astronome.

Dans ce travail, nous proposons de lire l'histoire de l'astronomie copernicienne, entre le *De Revolutionibus de Copernic* et le *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* de Galilée, comme une série d'efforts pour sortir de l'équivalence des hypothèses, autrement dit pour refuser le scepticisme et prouver sa prétention légitime à considérer l'hypothèse héliocentriste comme proposant une description du monde réel. Nous voudrions défendre ici la thèse suivante : c'est dans l'horizon d'un idéal de systématicité du copernicianisme que le rejet de l'équivalence des hypothèses prend sens.

A supposer que les hypothèses astronomiques soient équivalentes d'un point de vue observationnel, l'effort pour sortir de l'équivalence des hypothèses est-il vain ? Nous allons voir que non, en montrant les deux voies par lesquelles cet *effort* pour éloigner l'équivalence a produit des *effets*.

Il y avait deux manières d'écarter le spectre de l'équivalence des hypothèses, une manière *a priori,* par la logique, et une manière *a posteriori,* par l'observation.

- *a posteriori* : l'astronomie des nouveautés célestes a constitué une seconde voie observationnelle : en l'absence d'une preuve empirique de la parallaxe des fixes, l'observation des nouveautés célestes a fourni des éléments à charge contre l'ancien système du monde. Pour dire les choses le plus brièvement

possible : en montrant, grâce à la parallaxe, que des phénomènes nouveaux (des étoiles nouvelles, des comètes, des taches solaires) pouvaient apparaître dans le domaine céleste, tombaient à la fois l'immuabilité et la perfection de la région « supralunaire » et le « monde des sphères » (selon l'expression de Michel Lerner). Ainsi, l'astronomie des nouveautés célestes a détruit la cosmologie traditionnelle, qui était solidaire de l'astronomie ptoléméenne ;

– *a priori* : l'hypothèse copernicienne n'était pas suffisamment supérieure d'un point de vue calculatoire pour emporter la mise parmi les hypothèses en présence ; qui plus est, deux hypothèses portant sur le mouvement étant par nature équivalentes (en vertu de la relativité du mouvement), ce n'était pas du point de vue des phénomènes que sa supériorité pouvait être affirmée. Sa supériorité pouvait s'apprécier *a priori*, par sa *systématicité*, c'est à dire sa *nécessité*. Citons brièvement une phrase d'Alexandre Koyré, dans *La Révolution astronomique* : « ce n'est pas dans la diminution du nombre des mouvements célestes (et des cercles qui leur correspondent) que consiste la grande supériorité du système de Copernic sur celui de Ptolémée : c'est dans leur uniformisation, régularisation, *systématisation* »[1].

Mais aussi évidentes que puissent paraître ces deux voies pour disqualifier l'idée d'une « équivalence des hypothèses », elles se heurtent toutes deux à des difficultés que nous voudrions esquisser ici, et sur lesquels nous allons travailler dans les pages qui suivent.

1 *Nous soulignons.*

1) En ce qui concerne la « seconde voie observationnelle » constituée par les nouveautés célestes dans la démolition de l'ancienne cosmologie, deux difficultés se posent devant l'astronomie copernicienne :

- Tout d'abord, l'outil mathématique utilisé pour établir la supralunarité des nouveautés célestes est le même que l'outil mathématique utilisé comme arme contre l'astronomie copernicienne : la parallaxe. En effet, c'est ce même outil qui, en même temps, indique que les comètes se situent très au-delà de la Lune, et que, au cours de l'année, les étoiles, manifestement, ne changent pas de position. Cette ambivalence de la parallaxe vis-à-vis de l'astronomie copernicienne devra faire l'objet d'une attention toute particulière.

- Ensuite, et c'est le deuxième caillou dans la chaussure de cette voie observationnelle des nouveautés célestes, il n'y a pas de lien nécessaire entre l'abolition du géocentrisme aristotélico-ptoléméen et l'héliocentrisme copernicien. Expliquons-nous : il est tout à fait possible de saper le *cosmos* géocentriste et le monde des sphères, sans adhérer pour autant au copernicianisme ; ceci est tellement vrai que le premier à avoir établi avec certitude la supralunarité d'une comète, Tycho Brahe, n'était précisément pas copernicien.

2) La systématisation de l'astronomie, qui serait le privilège du monde copernicien, présuppose la compréhension d'une notion, celle de *système* qui fait figure de concept clandestin dans toute l'histoire de l'astronomie ; clandestin car il figure là, dans les textes et même dans les titres – à commencer par le titre de l'un des ouvrages les plus importants de toute l'histoire de la pensée, le *Dialogue sur les deux*

grands systèmes du monde de Galilée, sans jamais avoir fait l'objet d'une définition véritable. Le concept *système* du monde est un concept non conceptualisé, ni par les savants eux-mêmes, ni même, comme l'a remarqué Michel Lerner, par l'historiographie qui, à l'instar de Duhem et de sa monumentale somme *Le Système du monde*, utilise le concept de système associé à celui de monde sans fournir la réponse aux deux questions immédiatement sous-jacentes à l'emploi d'un tel concept : que signifie ici *système* ? Et, sous cette définition, *en quoi* le monde peut-il être connu comme étant un système ?

Cette difficulté, proprement conceptuelle, c'est-à-dire philosophique, se redouble d'une perplexité du point de vue de l'histoire des sciences elle-même : en effet, à supposer que la systématicité constitue la supériorité de l'hypothèse copernicienne et qu'elle soit ainsi de nature à rejeter l'équivalence des hypothèses, elle ne fait pas partie des critères explicitement revendiqués par Copernic lui-même. L'expression est absente de l'œuvre de Copernic, et il semblerait que ce ne soit pas là qu'il ait lui-même trouvé le mérite principal de son œuvre ; c'est son disciple Rheticus qui l'a introduite dans l'histoire de l'astronomie en générale, et dans le vocabulaire copernicien en particulier. Cette remarque n'est pas nôtre : elle est avancée par le grand Koyré, dans la *Révolution astronomique* ; comme souvent, il ramasse de son génie, en quelques mots, l'essentiel – tellement essentiel qu'il ne reste plus par la suite qu'à le déplier pour comprendre ce qui s'est vraiment produit à ce moment de l'histoire des sciences : « G. J. Rheticus [...] souligne plus fortement encore que son maître combien l'hypothèse du mouvement de la Terre simplifie et systématise l'explication des phénomènes célestes. Copernic, en revanche, n'appuie pas trop sur ces avantages, théoriques aussi bien que concrets, de sa doctrine. Pour lui, sans doute, ce ne

sont là, en quelque sorte, que *des sous-produits de la vérité* »[1]. En toute rigueur de lecture, le système est donc un sous-produit de la vérité. Qu'est-ce que cela signifie ? Et d'abord, en insistant, que signifie ici *système* ? Koyré ne le dit pas explicitement, mais renvoie à Rheticus.

Il va donc nous falloir travailler avec le concept de *système*, en traquant une définition parmi les nombreux usages qui furent faits de ce mot à partir du XVIe siècle ; et en essayant également de faire la part des choses entre un usage cosmologique – le monde comme système – qui n'a jamais eu de véritable pertinence, et son usage proprement épistémique – le système comme idéal de connaissance, qui se met en place à ce moment-là.

À ce propos, nous voudrions faire une remarque de méthode, sur notre rapport à l'historiographie des sciences. Notre travail ne comporte pas d'apports du point de vue de l'historiographie des sciences : nous n'avons pas étudié, à quelques exceptions près peut-être, de textes inédits, et, de ce point de vue-là, nous n'avons rien découvert. Nous avons plutôt voulu prendre à bras le corps un problème conceptuel que, nous a-t-il semblé, l'histoire des sciences a affronté sans nécessairement le faire explicitement – à savoir le problème de la signification conceptuelle de la notion de système. La notion a été abondamment utilisée par les commentateurs de la révolution copernicienne, et le sens ne leur était évidemment pas inconnu : ne serait-ce que parce qu'en en faisant l'*histoire*, on en fait nécessairement l'*usage*, il faut bien qu'au départ et chemin faisant la signification du concept ne soit pas totalement énigmatique. En ce qui concerne la notion de système, il nous a semblé nécessaire d'effectuer ce travail d'explicitation conceptuel. Ce choix d'un travail beaucoup moins érudit que les volumes remarquables qui ont été publiés en foule sur cette période explique aussi le choix des grandes figures que nous traitons : bien des

1 Koyré, A., *La Révolution astronomique*, *Copernic, Kepler, Borelli* (1961), coll. L'Âne d'Or, Les Belles Lettres, Paris, 2016, 53.

textes et des auteurs qui auraient eu leur place dans une histoire des nouveautés célestes ne figurent pas dans ces pages, car nous avons voulu aller le plus directement possible vers ce qui nous a occupé : la tentative de dégager la naissance d'une norme du savoir – la systématicité.

Compte tenu du contexte empirique que nous avons présenté, et faute de preuve, l'affirmation de la vérité de l'hypothèse copernicienne, c'est-à-dire de la réalité du monde tel qu'il se trouve décrit, ou plus exactement *supposé*, par cette hypothèse, cette affirmation donc paraît au premier abord comme un coup de force épistémologique. Koyré l'affirme sans ambages[1] : du point de vue des exigences d'une science observationnelle, il est difficile de donner tort, en première approche du moins, à ceux qui réclamaient des copernicien davantage de prudence dans l'affirmation de la vérité de leur hypothèse.

Comme nous l'avons déjà annoncé, nous allons lire les textes que nous nous proposons non pas tant pour y recueillir une série de contenus mais pour y repérer une succession d'efforts – efforts dirigés vers une fin particulière : la sortie de l'équivalence des hypothèses par la systématisation des hypothèses. Nous ne prétendons nullement que les auteurs que nous allons lire visaient exclusivement cette fin, ni même du reste qu'ils la visaient tous et toujours consciemment ; en revanche, la prise en considération de cette orientation de l'activité scientifique entre Copernic et Galilée présente selon nous deux vertus majeures – une vertu historiographique et une vertu philosophique.

Sur le plan historiographique, cela permet de conférer de l'unité non seulement à ce que l'on appelle communément la Révolution scientifique, mais cela confère de l'unité également à des travaux scientifiques de nature extrêmement variée, notamment en

1 Koyré, *La Révolution astronomique, op.cit*. pp. 50-51.

montrant les ressorts de l'intégration au programme de l'astronomie (copernicienne et non-copernicienne) d'objets qui en étaient jusque-là exclus. Sur le plan philosophique, nous voulons montrer que le réalisme astronomique n'est pas une position épistémologique choisie de manière arbitraire ou « illogique », pour reprendre le mot sévère de Duhem, mais qu'il est le produit des effets de résistance rencontrés dans cette tentative de sortir de la situation d'équivalence des hypothèses. *Ces résistances ont été l'occasion d'éprouver ce qu'il y a de réel dans une chose en tant qu'elle est connue, à condition que l'on définisse réel comme ce qui résiste, ce qui se présente comme une contrainte, ce qui ne dépend pas de nous.*

Pour ce faire, nous procédons en deux temps.

Dans une première partie, nous tentons de proposer les définitions et de décrire les reconfigurations conceptuelles concernant les hypothèses astronomiques et le système du monde dans la deuxième moitié du XVIe siècle. Nous commençons par montrer d'où vient l'idée que les hypothèses astronomiques puissent être équivalentes entre elles. Puis nous montrons comment les efforts coperniciens pour mettre à bas cette prétendue équivalence, par la recherche de systématicité de leurs hypothèses, dans cette voie *a priori*, se heurtent nécessairement à la nature relative du mouvement, qui rend toutes les hypothèses cinétiquement équivalentes. Nous étudions alors la voie a posteriori, observationnelle, en nous penchant sur les transformations de la parallaxe.

Dans une deuxième partie, nous proposons, à la lumière de l'idéal de systématicité que nous avons précédemment tenté de définir, un parcours à travers trois copernicianismes majeurs : celui de Copernic lui-même, celui de Kepler, et pour finir celui de Galilée.

PARTIE I

CHAPITRE 1 – EQUIVALENCE DES HYPOTHESES

Nous ne voulons pas ici faire un exposé systématique sur la notion d'hypothèse ni retracer son histoire, mais nous voudrions faire l'archéologie conceptuelle d'une opposition qui structure l'interprétation de l'astronomie, notamment dans la période qui nous intéresse, opposition parfaitement assumée et présentée de manière très claire dans les dernières pages de l'essai classique de Duhem *Sozein ta phainomena*[1], et que l'on peut décrire comme une opposition sur le statut des hypothèses astronomiques lui-même, sur laquelle se fonde plus largement une opposition entre deux positions épistémologiques rivales, réaliste et anti-réaliste. Pour une grande part, et sans nier l'importance de ce qui sépare ces deux positions et ceux qui les ont défendues, il se pourrait que cette opposition repose sur un malentendu qui concerne à la fois la signification et l'usage même du terme d'hypothèse. C'est ce que nous voudrions élucider ici.

1 Duhem, P., *Sozein ta Phainomena, Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*, Vrin-Mathesis, Paris, 1989.

I. Rappel historique

La question ne prend son sens qu'à remonter, comme le fait Duhem lui-même, à l'élaboration même du programme de l'astronomie, tel que défini par Platon, et ce, nous semble-t-il, dans deux textes essentiellement – dans le dialogue cosmologique du *Timée* d'abord, et au livre VII des *Lois* ensuite.

A. Le Timée

Penchons-nous pour commencer sur le texte du *Timée* :

> *Puis les corps célestes qui reviennent sur leurs pas et qui en ce sens ont une course errante, sont, comme nous l'avons dit plus haut, nés en même temps [que les astres fixes].*
>
> *[...]*
>
> *Or, décrire les danses de ces mêmes corps célestes, leurs juxtapositions les unes avec les autres, déterminer les rétrogradations et les progressions de leurs courses circulaires les unes par rapport aux autres, dire quand elles se trouvent en conjonction, lesquelles de ces divinités se mettent les unes devant les autres et combien se trouvent à l'opposite, montrer lesquelles se font l'une à l'autre écran et au bout de quel temps chacune se cache à nos yeux pour de nouveau reparaître, provoquant ainsi l'effroi et fournissant des présages sur les événements à venir aux gens qui ne sont point capables de les prévoir grâce au calcul, expliquer tout cela, ce serait peine perdue, si on n'avait pas sous les yeux une représentation mécanique des mouvements considérés.*[1]

D'entrée de jeu, le statut des hypothèses astronomiques, quoi que non nommées ici, semble revêtir deux aspects : un aspect calculatoire et un aspect mécanique. De cette ambivalence découle bien des ambiguïtés ultérieures dans le rapport aux hypothèses astronomiques.

1 Platon, *Timée*, traduction Luc Brisson, Paris, GF, 2017, p. 132.

Le point délicat est la traduction du grec *mimématon* : l'expression représentation mécanique, choisie par Luc Brisson, ne rend pas le sens mimétique littéral, étymologique ; mais traduire *mimétaton* par imitations ne rendrait pas non plus compte de ce qui est exactement en jeu ici, et introduirait un biais disons phénoméniste dans la lecture du texte. En effet, cela ferait du rapport entre la description astronomique du cours des astres (qui est donc l'objet de la science astronomique ici définie) et cette course elle-même un rapport de modèle, ou paradigme à copier : les hypothèses des astronomes *imiteraient* la réalité céleste, avec cette dévaluation ontologique que fait subir le passage du modèle à la copie, c'est-à-dire à l'image. Or, une telle lecture ne paraît pas faire justice à ce que dit ici Platon, dans la mesure où la tâche qu'il fixe à l'astronome est bien de nous donner à voir les mouvements célestes. C'est là tout le paradoxe extrêmement fécond de ce texte, c'est que le travail de l'astronome consiste à donner à voir ce que l'on voit ; car les mouvements célestes certes sont *visibles*, mais d'une vision qui est précisément celle de l'apparence : car les mouvements planétaires, ceci est bien connu, apparaissent irréguliers et cette apparence est trompeuse, car ils sont réellement circulaires et réguliers. Si les mouvements produits par l'astronome sont des *mimèmata*, c'est donc en vertu d'une *mimèsis* très particulière, presque à sens inverse, qui, partant d'une apparence trompeuse, produit une représentation correcte de la réalité ; en ceci, l'idéal de l'astronome platonicien est donc celui qui parviendra à construire une machine permettant de représenter les mouvements des cieux, à la manière dont le fera la sphère armillaire. Si les hypothèses de l'astronome sont des *mimèmata*, c'est donc par une mimèsis de la représentation et non de la ressemblance.

Ceci appelle le deuxième point de commentaire ; là encore, il ne s'agit pas ici de faire une exégèse du texte platonicien lui-même mais de dégager des options interprétatives

possibles qui nous semblent avoir été minorées (notamment dans la perspective de Duhem). En effet, si les calculs de l'astronome ont bien pour objet la prédiction des mouvements planétaires, des conjonctions, des rétrogradations, l'élaboration de la construction mécanique, la mécanisation du ciel en quelque sorte, constitue alors la condition *sine qua non* de cette détermination calculatoire. D'où l'on voit immédiatement que toute opposition, concernant les théories astronomiques, entre une position instrumentaliste (les théories ont pour fonction le calcul des phénomènes) et une position réaliste (les théories sont des descriptions de la réalité) méconnaît ce rapport initial de subordination des calculs aux représentations de la réalité : il est très clair dans ce texte qu'en l'absence d'une représentation mécanique, d'une description de la machinerie céleste, on se trouve dans l'incapacité de calculer. Pour le dire autrement, il y a une fausse alternative entre représentation de la réalité et détermination calculatoire des apparences, car celle-ci a pour condition celle-là.

Du reste, cette interprétation de la fonction calculatoire de l'astronomie se trouve corroborée par une remarque que fait Platon lui-même au *livre VII* des *Lois*, alors que le propos porte sur la théologie astrale ; reprenant la question de savoir si les astres ont une âme, voici ce que dit l'Athénien :

> *Tout s'oppose aujourd'hui, comme je le disais, à l'état d'esprit qui prévalait au temps où les penseurs se disaient que les astres n'avaient pas d'âme. D'ailleurs, même à cette époque les astres suscitaient l'étonnement, et l'on soupçonnait ce qui, désormais, tient véritablement lieu de doctrine : ceux qui se consacraient à leur étude avec tout l'exactitude requise se demandaient comment des astres dépourvus d'âme pourraient se prêter à des calculs d'une exactitude si étonnante, à moins de posséder un intellect ;*

quelques-uns avaient même l'audace de se risquer à dire, dès cette époque, que l'intellect est l'organisateur de tout ce qui existe dans le ciel.[1]

Il est évident ici que le calcul n'est en rien lié aux apparences : l'argument que restitue l'Athénien, et dont Kepler, comme nous le verrons plus tard, se souviendra au moment de se débarrasser lui-même des âmes planétaires, consiste à dire que le mouvement de la planète est beaucoup trop complexe, son calcul beaucoup trop élaboré, pour qu'un corps dépourvu d'un intellect soit capable de l'effectuer, c'est-à-dire soit capable de savoir quelle est la trajectoire qu'il doit suivre : plus le calcul du mouvement est compliqué, plus l'agent véritable du mouvement planétaire doit être intelligent. Il ne s'agit donc pas du tout, ici, du mouvement apparent : il n'aurait aucun sens de penser que le moteur de la planète se règle sur les calculs d'apparences, mais le calcul dont il doit être capable est bien le calcul de la trajectoire de la planète elle-même. En conséquence de quoi l'audace évoquée à la fin paraît en réalité très raisonnable : l'organisation du ciel nécessite un intellect capable de calculer l'ensemble des mouvements, c'est-à-dire de mettre en rapport l'ensemble des rapports entre eux.

Pourquoi est-ce que les deux dimensions – calcul des phénomènes célestes et représentation mécanique des mouvements – sont-elles indissociables ? La réponse se situe dans le passage lui-même : les phénomènes qui sont ceux de l'astronome peuvent faire l'objet d'un calcul, d'une détermination quantitative qui les rend prédictibles parce que ce sont non pas des êtres mais des *rapports* : si l'on regarde attentivement la liste des phénomènes que cite Platon – les juxtapositions, les progressions des courses « les unes par rapport aux autres », les conjonctions, les oppositions, les éclipses – tous peuvent être rangés sous la catégorie de la relation, du rapport ; c'est d'abord et avant tout cela

1 Platon, *Les lois*, traduction française Anissa Castel-Bouchouchi, Folio, Paris, 1997, p.214

qu'évoque la « danse » ici décrite par Platon, la *khoréias* : car il n'est pas de danse sans rapports mouvants entre plusieurs danseurs. La chorégraphie céleste est d'abord et avant tout affaire de rapports, en sorte que quelle que soit la conception ontologique du mouvement sous-jacente, les mouvements que l'astronome prend pour objets sont toujours-déjà compris de manière relative ; l'astronomie est la discipline qui par nature mobilise, même sans le faire consciemment, une conception relative du mouvement. Il est d'ailleurs frappant de voir que parmi les premiers exemples pris par Timée on trouve non pas seulement les mouvements mais les juxtapositions, les conjonctions et les oppositions : il s'agit là de phénomènes célestes qui sont doublement relatifs : ils désignent des positions d'astres relativement à d'autres (il n'y a de conjonctions que de plusieurs astres), mais aussi des positions qui, comme l'expliquera de façon définitive Pic de la Mirandole[1], n'existent que relativement à telle ou telle position depuis laquelle les astres sont observés : si vous supprimez l'observateur, ou si vous le déplacez, alors la conjonction disparaîtra également ; ce n'est pas ce qui est explicitement dit ici, mais c'est ce que cette conception des phénomènes astronomiques comme des *rapports* implique avec nécessité. Ainsi, quand on oppose réalité et apparence, notamment dans l'interprétation de l'expression « *sozein ta phainomena* », il faut bien avoir à l'esprit qu'il s'agit de la réalité et de l'apparence de rapports. Dans cette perspective, il n'est pas possible de comprendre autrement le sauvetage des phénomènes que comme la substitution de rapports réels à des rapports apparents, c'est-à-dire de rapports qui peuvent faire l'objet d'une saisie rationnelle à des rapports qui ne font l'objet que d'une saisie sensible, mais qui, s'y substituant, les rendent intelligibles : l'astronome doit présenter les rapports réels, rationnellement déterminés, qui existent entre les objets célestes, lesquels rapports se manifestent à l'observateur sous

1 A ce sujet, voir le travail d'Eric Weil sur la critique de l'astrologie par Pic de la Mirandole : *La Philosophie de Pietro Pomponazzi ; Pic de la Mirandole et la critique de l'astrologie*, Vrin, Paris, 2000.

une certaine *image* – le *phénomène* céleste. Le phénomène devient rationnel (est « sauvé ») lorsqu'à la détermination du rapport entre les objets célestes eux-mêmes s'ajoute la détermination de la place de l'observateur ; le rapport entre les deux objets célestes et le rapport entre ces objets et l'observateur peuvent alors être eux-mêmes mis en rapport et rendre intelligible le phénomène. Du reste, le phénomène astronomique par excellence en demande d'explication – et qui à ce titre constitue selon Aristote l'exemple paradigmatique de l'étonnement[1], l'éclipse, est ce qui illustre peut-être le plus évidemment cet aspect : l'explication du phénomène est une mise en rapport du rapport entre Lune et Soleil et du rapport de l'observateur à ces objets.

Retenons donc ici deux éléments importants : 1/ l'opposition entre réalité et apparence porte en réalité moins sur les mouvements eux-mêmes que sur l'ensemble des *rapports* célestes, dont les mouvements font partie et 2/ les rapports apparents peuvent être reconduits à la rationalité par la mise en rapport des rapports réels entre l'observateur et les objets observés.

B. Les Lois.

Ce programme est présenté de manière plus explicite encore au livre VII des *Lois* : il y consiste entièrement en ceci : montrer que les astres errants ne sont errants qu'*en apparence*, mais qu'*en réalité* ils peuvent être reconduits à une combinaison de mouvements réguliers. L'astronome devra montrer que, contrairement aux apparences, les mouvements planétaires ne dérogent pas aux mouvements célestes et décrivent eux aussi des mouvements parfaits, c'est-à-dire des mouvements circulaires uniformes.

1 Aristote, *Métaphysique A*, 982b-983a.

Un condensé de cette doctrine est fourni par Platon dans les *Lois*, au livre VII, 821 ; quatre éléments en sont constitutifs et permettent de définir avec netteté la tâche qui est dévolue à l'astronome :

1) Il y a une *errance apparente de certains mouvements astraux* : « j'ai vu, moi-même, dit Clinias, que l'étoile du matin et l'étoile du soir et certaines autres ne courent jamais la même piste, mais errent (*planoménous*) en tous sens » ;

2) Il y a le *refus que cette errance apparente soit le fait d'une irrégularité réelle de leurs mouvements* : « elle est fausse, en effet, mes très chers, cette croyance, que la lune, le soleil et les autres astres sont parfois errants : c'est le contraire qui est vrai » ;

3) Il y a une *reconduction du mouvement irrégulier au mouvement circulaire* : « Chacun d'eux, en effet, parcours la même route, non pas changeante, mais unique et circulaire, encore qu'elle paraisse changeante » ;

4) Est alors fixé le *programme de l'astronomie* : montrer que la réalité « est vraiment telle ».

Nous insistons là-dessus : les phénomènes sont sauvés s'ils sont, en quelque sorte, rationalisés.

L'interprétation duhémienne

La figure de Duhem est tout à fait incontournable dans cette enquête sur la systématisation du savoir d'un côté, et sur Kepler, de l'autre. À la différence de ce que qu'il en est pour Alexandre Koyré et Gérard Simon, la raison principale réside moins dans

l'analyse qu'il propose de la science képlérienne, que dans deux éléments à première vue externes :

1) D'une part, sa somme monumentale et si précieuse d'histoire de la science médiévale, *Le Système du monde*[1], ne propose aucune définition formelle de la notion de « système du monde », ni *a fortiori* de ce qu'est un système en général ; comme chez la majorité des auteurs, du reste, et comme nous l'avons remarqué dans notre introduction, le « système » est une prénotion, un terme opératoire qui ne fait l'objet d'aucune conceptualisation spécifique.

2) Kepler, comme nous allons le voir, est explicitement traité comme la figure idéale-typique d'une certaine position épistémologique qui s'est constituée aux XVIe et XVII[e] siècles, celle du réalisme des hypothèses – position que Duhem combat ; du point de vue de notre méthode, le traitement duhémien de Kepler est donc tout à fait favorable, mais fonctionne à contre-emploi : la lecture qu'il en fait exprime bien son propre idéal de connaissance, mais à travers une figure qui s'oppose à cet idéal, qui en a incarné le *contraire* ; pour paraphraser encore la formule de Cassirer, s'exprime dans la lecture que fait Duhem de Kepler le reflet inversé *et contrarié* de son idéal de connaissance.

Ce que nous voudrions montrer dans cette sous-partie, c'est que ces deux éléments sont étroitement liés.

1 Duhem, *Le Système du Monde, histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, t.I-X, Paris, Hermann, 1956-1958, gr. in-8°.

Dans l'histoire du statut des hypothèses astronomiques que Duhem brosse dans son petit ouvrage classique intitulé *Sauver les apparences*, *Sur la notion de Théorie physique*[1], Kepler est moins présenté pour lui-même que comme l'un des illustres représentants, au côté de Copernic, Maestlin et Galilée, d'une position épistémologique réaliste, qui assume la réalité des hypothèses qu'elle met en œuvre pour sauver les mouvements astraux, et qui par conséquent exige « que les hypothèses de l'Astronomie [soient] en accord avec les enseignements de la Physique ». L'hostilité de Duhem à cette thèse est bien connue : dans ce petit livre de 1908, elle n'est pas à proprement parler réfutée, comme elle l'est de manière plus systématique dans la *Théorie physique*, mais elle est marginalisée en regard de l'histoire des conceptions des théories physiques, qui, comme il l'explique dans les premières pages, coïncide, jusqu'à la naissance de la science moderne, avec l'histoire des conceptions des hypothèses astronomiques. Il ne nous appartient pas ici d'étudier la position de Duhem quant à la nature des hypothèses astronomiques, mais nous voudrions montrer comment le jugement de Duhem sur Kepler et les astronomes coperniciens est orienté par une certaine conception de la systématicité.

Pour ouvrir ce propos, nous partirons du reproche que fait Duhem au réalisme de Kepler et des coperniciens, et plus exactement de la façon dont il le formule dans sa conclusion du *Sozein ta phainomena* : « les coperniciens se sont entêtés dans un réalisme illogique » [REF Hermann P.136]. Nous ne commenterons pas d'emblée ce reproche, mais il nous invite à nous pencher sans attendre sur les réflexions logiques que mène Kepler à propos précisément du problème qui occupe Duhem : celui de l'équivalence des hypothèses

1 Duhem, *Sozein ta Phainomena, Sauver les Apparences ; sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée* (1908), Vrin, Paris, 2003.

astronomiques. Pour cela, nous nous appuierons, lorsque nous étudierons le cas de Kepler, sur les réflexions que mène ce dernier au début du *Mysterium cosmographicum*.

II. Position de l'équivalence

La logique était du parti d'Osiander, de Bellarmin et d'Urbain VIII, et non pas du parti de Kepler et de Galilée ; [...] ceux-là avaient compris l'exacte portée de la méthode expérimentale, et qu'à cet égard ceux-ci s'étaient mépris. [1]

Quelle base textuelle forte soutient l'interprétation duhémienne du statut des hypothèses astronomiques ? Nous voudrions nous pencher sur les deux textes qui, selon nous, ont porté à son plus haut niveau de clarté, et aussi, ce qui revient au même, de radicalité, la position de l'équivalence des hypothèses :

- Le premier texte, d'Osiander, a un statut quasi-frauduleux : il a été inséré au *De Revolutionibus*, comme adresse au lecteur, sans qu'il ne reflète en aucune façon (comme cela a déjà été montré à de nombreuses reprises), le point de vue de Copernic ;

- Le deuxième texte est de la main du Cardinal Robert Bellarmin, qui fut l'artisan de la première affaire Galilée : il s'agit d'une lettre envoyée au P. Paolo Antonio Foscarini le 12 avril 1615.[2] C'est sur le fondement épistémologique de ces réflexions (nous ferons ici abstraction de la dimension politique de l'affaire[3]) que s'est faite la condamnation de 1616.

A. Le phénoménisme d'Osiander

1*Sozein ta Phainomena, Sauver les Apparences ; Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée* (1908), Vrin, Paris, 2003.

2 Bellarmin, R., *Lettre à Foscarini du 12 avril 1615*, tr.fr. G. de Santillana in *Le proècs de Galilée*, Paris, 1955, pp. 119-121.

3 Voir à ce sujet l'article de M.-P. Lerner, « De Copernic à Galilée : brève histoire d'une condmnation », in *Bruniana e campanelliana : ricerche filosofiche e materiali storico-testuali* : XXIII, 2, 2017, Fabrizio Serra Editore, 689-708 p.

Nous ne reviendrons pas ici sur le contexte d'écriture et d'édition de ce texte en avertissement du *De Revolutionibus* : tout ceci est bien connu, et nous restituons ici ce texte dans le seul but d'en extraire ce qui est essentiel à notre réflexion.

Voici donc ce qu'écrit Osiander :

AU LECTEUR SUR LES HYPOTHÈSES DE CET OUVRAGE

Je ne doute pas que certains savants, une fois que se sera répandue la rumeur de la nouveauté des hypothèses de cet ouvrage, qui pose que la Terre est mobile tandis que le Soleil est immobile au milieu de l'univers, ne soient vivement choqués et ne pensent qu'on ne doit pas ébranler les arts libéraux, alors qu'ils sont solidement établis de longue date. Mais en vérité, s'ils veulent considérer la chose avec soin, ils trouveront que l'auteur de cet ouvrage n'a rien commis qui mérite reproche. Il revient en effet en propre à l'astronome de faire l'histoire des mouvements célestes par une observation diligente et habile, puis, comme il ne peut d'aucune façon atteindre les véritables causes de ces mouvements, ou hypothèses, de concevoir et d'inventer des hypothèses quelles qu'elles soient par la supposition desquelles on puisse calculer avec exactitude, à partir des principes de la géométrie, ces mouvements tant pour le futur que pour le passé. Or, l'auteur de cet ouvrage a excellemment accompli l'une et l'autre tâche. Il n'est en effet pas nécessaire que ces hypothèses soient vraies, ni même vraisemblables, mais il suffit qu'elles fournissent un calcul qui s'accorde avec les observations, à moins que par hasard l'on ignore à ce point la géométrie et l'optique que l'on tienne pour vraisemblable l'épicycle de Vénus, ou que l'on croie qu'il est cause que Vénus tantôt précède, tantôt suit, le Soleil de 40° et plus. Qui ne voit en effet, si l'on admet cela, qu'il s'ensuit nécessairement que le diamètre de la planète au périgée apparaîtra plus de quatre fois plus grand qu'à l'apogée, et son corps plus de seize fois plus grand – ce que dément pourtant l'expérience de tous les siècles. Il y a dans cette science d'autres choses encore non moins absurdes, qu'il n'est pas nécessaire pour l'instant d'examiner. Car il est tout à fait évident que cet art ignore purement et simplement les causes des mouvements apparents non-uniformes. Et si l'astronome invente fictivement des causes, et à coup sûr il en invente beaucoup, cependant il ne les invente nullement pour persuader quiconque qu'il en va bien ainsi dans la réalité, mais uniquement pour que ces causes permettent de calculer correctement. Et puisqu'il arrive que différentes hypothèses s'offrent pour rendre compte d'un seul et même mouvement (comme dans le cas du mouvement du Soleil, l'excentrique et l'épicycle), l'astronome choisira de préférence celle qui est la plus aisée à comprendre. Peut-être le philosophe réclamera-t-il plutôt la vraisemblance, mais ni lui, ni l'astronome, ne sauraient appréhender ou enseigner rien de certain à moins que Dieu ne le leur ait révélé. Laissons donc à ces nouvelles hypothèses aussi le droit de se faire connaître de concert avec les anciennes, sans qu'elles soient en rien plus vraisemblables que ces dernières, et cela surtout parce qu'elles sont admirables et

faciles, et qu'elles apportent avec elles un immense trésor de très savantes observations. Et que personne, en matière d'hypothèses, ne demande rien de certain à l'astronomie puisqu'elle ne peut rien offrir de tel ; ainsi, ne prenant pas pour vraies des choses qui ont été imaginées pour un autre usage, on ne quittera pas cette discipline plus stupide qu'on ne l'avait abordée.

Salut.[1]

Le texte a un mérite qu'il convient de lui reconnaître, malgré la confusion qu'il a contribué à créer sur un éventuel instrumentalisme de Copernic : l'intention stratégique n'est pas dissimulée, Osiander concluant son texte par un appel à la tolérance épistémique, réclamant que l'on accepte la publication et la diffusion de la nouvelle astronomie.

Encore une fois, il n'est point besoin pour nous, ici, d'étudier ce texte en détail. Un élément nous paraît essentiel, car il caractérise l'activité de l'astronome comme une activité d'invention – de fiction –, il s'agit d'inventer une disposition. Disposition fictive donc, à en croire le texte, qui sera choisie par l'astronome parce qu'elle est le plus commode, là où le philosophe cherchera de la vraisemblance – pour comprendre –, et point de vérité.

Mais ce que nous voudrions ici interroger, c'est précisément le statut de ces fictions, c'est-à-dire de ces choses qui sont inventées par l'astronome, dans le but de sauver les mouvements apparents des planètes. Ce que nous voudrions montrer c'est que, contrairement à ce que le texte laisse penser, il n'y a pas de lien nécessaire entre la considération des hypothèses astronomiques comme des inventions, c'est-à-dire des fictions, et le refus de considérer que ces hypothèses puissent prétendre être vraies. Autrement dit, il n' a pas de lien entre ces deux affirmations :

1 Copernic, N., *De Revolutionibus orbium coelestium*, trad. M.-P. Lerner, A.-Ph. Segonds, J-P. Verdet, vol. II, coll. Science et humanislme, Les Belles Lettres, Paris, 2015, pp.2-3.

a/ *l'inventivité de l'astronome* : « Il revient en effet en propre à l'astronome de faire l'histoire des mouvements célestes par une observation diligente et habile, puis, comme il ne peut d'aucune façon atteindre les véritables causes de ces mouvements, de concevoir et d'inventer des hypothèses quelles qu'elles soient par la supposition desquelles on puisse calculer avec exactitude, à partir des principes de la géométrie, ces mouvements tant pour le futur que pour le passé. »[1] ;

b/ *le phénoménisme de l'astronome :* « Il n'est en effet pas nécessaire que ces hypothèses soient vraies, ni même vraisemblables, mais il suffit qu'elles fournissent un calcul qui s'accorde avec les observations, à moins que par hasard l'on ignore à ce point la géométrie et l'optique et que l'on tienne pour vraisemblable l'épicycle de Vénus, ou que l'on croie qu'il est cause que Vénus tantôt précède, tantôt suit, le Soleil de 40° et plus. »[2]

Voici ce que nous devons montrer : l'hypothèse de l'astronome est une invention nécessaire. Elle tient cette nécessité d'une exigence qui est ici posée par Copernic lui-même, au chapitre X du livre I : l'exigence de produire *une liaison véritablement harmonieuse entre le mouvement des orbes et leur grandeur, telle qu'on ne peut la trouver d'aucune autre manière*[3].

B. Le phénoménisme de Bellarmin

Le deuxième texte s'inscrit dans un contexte beaucoup plus polémique, dans lequel les coperniciens n'étaient plus, comme à la publication du *De Revolutionibus*, dans la prudence, mais dans la défense. On ne va pas retracer ici l'histoire des procès que Galilée a

1 *Ibid*., p.2.
2 *Ibid*., p.2.
3 *Ibid*. p.39.

dû affronter, mais simplement rappeler le grief qui lui était fait, du moins en apparence, par ses accusateurs : Galilée aurait eu tort de vouloir affirmer la vérité du copernicianisme et de ne pas le présenter comme une simple hypothèse, parce qu'à l'époque et malgré toutes les vertus calculatoires et épistémiques de l'héliocentrisme, le géocentrisme aurait été en mesure, de sauver tous les phénomènes. Les immenses mérites de Galilée l'observateur n'excusaient pas, selon ses détracteurs, les audaces du Galilée astronome.

Voilà comment, dans un fameux article intitulé « Galilée et le refus de l'équivalence des hypothèses »[1], présente la délicate situation :

> *Il n'est donc pas douteux qu'en affirmant la vérité de facto du copernicanisme, Galilée a nettement outrepassé ce qu'autorisaient ses découvertes ou ses propres progrès dans la science du mouvement. Dans ces conditions, la solution correcte n'eût-elle pas été de parler seulement de façon hypothétique ? Convaincu (et sur ce point à juste titre) que le copernicanisme fournissait une explication plus simple et plus maniable des mouvements célestes, Galilée ne pouvait-il se borner, en raisonnant ex suppositione, à montrer sa supériorité théorique, sans chercher à l'imposer comme le modèle exact de l'ordre du monde ? Or, la question a d'autant plus de sens que cette solution fut précisément celle que certains péripatéticiens et théologiens opposèrent à l'attitude réaliste de Galilée. Tel était déjà l'avis d'Osiander dans sa préface à l'ouvrage de Copernic ; tel fut aussi celui du théologien le plus important de l'époque, le cardinal Bellarmin, dont une lettre expose de la façon la plus claire cette interprétation hypothétique à laquelle se trouvait confronté Galilée.*[2]

Bellarmin reprend donc le flambeau d'Osiander dans la croisade phénoméniste anticopernicienne. Comme l'écrit Clavelin, « Bellarmin distingue soigneusement en effet la valeur descriptive du copernicanisme et le problème de sa vérité objective. »[3]. Il s'agit là d'une position phénoméniste tout à fait classique, qui considère que « sauver les

1 Clavelin, Maurice, « Galilée et le refus de l'équivalence des hypothèses », in *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, tome 17, n°4, 1964. pp. 305-314.
2 *Ibid*., p.307.
3 *Ibid*., p.307.

phénomènes » équivaut à « calculer les apparences », et non à reconduire ces dits phénomènes à une réalité sous-jacente.

Citons ici le cardinal Bellarmin, dans sa lettre à Antonio Foscarini du 12 avril 1615 :

> *En premier lieu, il me semble qu'il est sage de votre part, mon Père, comme de la part de Monsieur Galilée de parler ex suppositione et non pas absolument, comme j'ai toujours cru qu'a parlé Copernic Car dire qu'en supposant la Terre en mouvement et le Soleil au repos, on peut mieux sauver les apparences qu'en adoptant les excentriques et les épicycles, cela est très bien et ne comporte aucun danger. Et cela suffit au mathématicien. Affirmer en revanche que le Soleil se trouve réellement au centre du monde, et que son seul mouvement consiste à tourner sur lui-même au lieu de se déplacer d'orient en occident, et que la Terre se trouve dans le troisième ciel et tourne à une vitesse immense autour du Soleil, c'est une chose très dangereuse, susceptible non seulement de contrarier tous les philosophes et théologiens des écoles, mais également de nuire à la sainte foi en rendant fausses les Écritures saintes.*[1]

Nous ne commenterons pas en détail ce passage. Est réinvestie ici l'interprétation phénoméniste du mot d'ordre « sauver les phénomènes », et la distinction qu'il y a entre parler *ex suppositione* (de ce point de vue, il n'y a aucun problème à affirmer la supériorité de l'hypothèse copernicienne) et parler en vérité de la disposition du monde. Ici encore, le phénoménisme pourrait se définir comme un scepticisme de savant, une prudence vertueuse de l'homme qui recherche, face au produit des ses recherches.

Rien de très original ni de très innovant, finalement, jusqu'ici. En revanche, quelques lignes plus loin dans la lettre, Bellarmin fait une remarque qui distingue son phénoménisme de celui d'Osiander et de Duhem ; lisons-le :

1 Bellarmin, R., l*ettre à Antonio Foscarini du 12 avril 1615*, traduction française par Philippe Hamou et Marta Spranzi, dans *Galilée, Ecrits copernicien*s, coll. Classiques de Poche, Le Livre de Poche, Paris, 2004, p.386.

> *En troisième lieu, s'il y avait une vraie démonstration de ce que le Soleil se trouve au centre du monde et la Terre dans le troisième ciel, et que ce n'est pas le Soleil qui tourne autour de la Terre, mais la Terre qui tourne autour du Soleil, il faudrait alors procéder avec beaucoup de circonspection dans l'interprétation des passages des Ecritures qui paraissent dire le contraire, et affirmer que nous ne les comprenons pas. Mais je ne croirai pas qu'une telle démonstration existe jusqu'au moment où on me la montrera.*[1]

La position de Bellarmin ici est assez subtile, et surtout, nous semble-t-il, assez habile. Il explique à Galilée qu'il ne verrait aucun obstacle à admettre la vérité du mouvement de la Terre si et seulement si une démonstration certaine pouvait lui être présentée. L'équivalence des hypothèses, chez Bellarmin, n'est donc pas une équivalence *de droit*, mais plutôt une équivalence *de fait* : il est de fait impossible, à l'heure où Bellarmin écrit ces lignes, de lui apporter une véritable démonstration du mouvement de la Terre.

C'est ici que la question de l'équivalence des hypothèses rejoint le problème majeur de l'astronomie copernicienne : l'invisibilité de la parallaxe annuelle des fixes. Michel-Pierre Lerner l'a nommée « l'Achille des coperniciens »[2], et peut s'exprimer simplement de la façon suivante : si la Terre est en mouvement, alors on doit observer une parallaxe annuelle des étoiles fixes, c'est-à-dire un changement dans la position apparente des étoiles fixes entre les deux positions les plus éloignées qu'occupe la Terre au cours de sa révolution annuelle. Or une telle parallaxe était inobservée, et de fait inobservable, à l'époque, du fait du grand éloignement des fixes.

En demandant à Galilée, par l'intermédiaire de Foscarini, de lui fournir une preuve irréfutable du mouvement de la Terre afin qu'il cesse de suspendre son jugement entre les différentes hypothèses, Bellarmin sait qu'il lui demande, de fait, l'impossible. Mais d'un point de vue épistémologique, il considère que de droit il pourrait être possible, par une

1 *Ibidem*, pp.386-387.
2*Le Monde des sphères, II, La Fin du cosmos classique*, coll. L'Âne d'Or, Les Belles Lettres, Paris, 2008, pp.85-135.

démonstration dont il doute de l'existence, de départager les deux hypothèses. L'épistémologie de Bellarmin est donc, en quelque sorte, un phénoménisme par provision, ou un scepticisme chercheur : tant que rien n'est démontré, il faut tenir les hypothèses pour équivalentes, et continuer à chercher une démonstration.

Ici, nous voudrions nous arrêter un instant et faire la remarque suivante, au sujet du rapport entre l'équivalence des hypothèses et l'absence de parallaxe annuelle des fixes (dont nous reparlerons plus tard). Les deux éléments sont liés, mais de façon non nécessaire. En effet, à strictement parler, l'équivalence des hypothèses est une thèse sur le statut des hypothèses scientifiques : que l'on observe ou non une parallaxe des fixes, l'hypothèse copernicienne n'en sera pas moins une fiction comme les autres, certes plus commode que les autres, pour décrire les mouvements planétaires. De droit, l'équivalence des hypothèses n'est pas conditionnée par la non-observation d'une parallaxe stellaire (même si le texte de Bellarmin tend, de façon stratégique pour présenter sa position comme conciliatrice, à le faire penser). Mais *de fait*, l'absence de parallaxe stellaire met bien l'hypothèse copernicienne dans une position inconfortable, contraignant les coperniciens 1) à adopter une hypothèse *ad hoc* (l'éloignement immense de la sphère des fixes) et 2) à produire une défense contre cet argument massue (ainsi que le fait notamment Galilée dans la *lettre à Ingoli*). De fait, l'absence de parallaxe observable des fixes condamne l'hypothèse copernicienne à apparaître comme était *au mieux* équivalente à l'hypothèses adverse.

Revenons-en à la justification théorique de l'équivalence des hypothèses.

Une remarque de Clavelin, a particulièrement attiré notre attention – remarque dans laquelle il note qu'il n'y a pas de difficulté particulière, et par conséquent pas de polémique, concernant la finalité d'une théorie scientifique, mais que la difficulté est ailleurs :

> *Quel est en effet le but d'une théorie astronomique comme le copernicanisme ou le ptolémaïsme ? Très sommairement, on peut dire que ce but est double ; d'abord synthétiser l'ensemble des connaissances acquises sous forme d'un système déductible de quelques principes initiaux ; ensuite fournir un modèle qui en « sauvant » tous les phénomènes, rende compte de leur production et permette, le cas échéant, de prédire leur retour avec la plus grande exactitude.*[1]

Redisons-le : ce n'est pas le mot d'ordre « sauver les phénomènes » qui pose un problème particulier.

> *Toutefois, si définir le but d'une théorie ne pose pas de difficulté, il n'en va plus de même dès qu'on en veut parler en termes de vérité ou d'erreur. Suffit-il en effet qu'une théorie soit d'accord avec l'expérience pour qu'on la puisse dire vraie ? Certainement pas, car, comme le remarque avec raison Duhem, il faudrait encore avoir « examiné complètement les diverses hypothèses auxquelles un groupe déterminé de phénomènes peut donner lieu », puis avoir établi leur incompatibilité avec l'expérience ; « or le physicien n'est jamais sûr d'avoir épuisé toutes les suppositions imaginables ». D'une théorie conforme à l'expérience, on peut donc dire qu'elle donne une image plausible du réel, et rien de plus.*[2]

Il nous faut donc maintenant nous demander ce qu'il en est dans ce que dit Galilée lui-même.

Dans le *Dialogo*, ce dernier ne fait pas un usage instrumental de l'hypothèse héliocentrique : il l'utilise bel et bien comme un principe physique, qui permet d'expliquer le phénomène des marées ; l'usage du terme « hypothèse » a ici bel et bien une dimension stratégique, ainsi que le note Francesco Berretta : « L'ambivalence de la notion d'hypothèse, qui admet en même temps une signification instrumentale et réaliste, permet d'apporter un argument physique en faveur du mouvement de la Terre, tout en donnant l'impression de respecter les dispositions de l'Index »[3]

1 Clavelin, Maurice, « Galilée et le refus de l'équivalence des hypothèses », in *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, tome 17, n°4, 1964, pp.308-309.
2 *Ibid*., p.309.
3 Berretta, Fr. (dir.), *Galilée en procès, Galilée réhabilité ?*, Éditions Saint-Augustin, 2005, p.57

Une entrevue aurait eu lieu entre Galilée et Barberini en 1616, du temps où ce dernier était encore cardinal. Luca Bianchi expose si clairement les termes du problème, que nous préférons restituer directement son propos :

> *Le futur pape avait posé, sous forme de question, l'objection suivante : en admettant et en concédant que les hypothèses relatives au mouvement de la Terre arrivent à 'sauver les apparences', il faut quand même reconnaître que Dieu, dont la puissance et la sagesse sont infinies, aurait pu et su les produire en disposant et faisant mouvoir les astres de différentes manières ; par conséquent, on ne doit pas 'soumettre la puissance et la science divine à cette manière particulière'. Autrement dit, il n'est pas possible d'affirmer la vérité du système de Copernic, car cette prétention équivaudrait à une limitation de la toute-puissance et de la science de Dieu, qui saurait sans doute trouver des manières nombreuses de produire les mouvements apparents des astres, que le système copernicien décrit en supposant le mouvement de la Terre, sans faire pour autant se mouvoir la Terre : avant d'affirmer que l'hypothèse de Copernic est vraie, il faudrait prouver que toute autre manière concevable de produire ces apparences célestes est contradictoire (la contradiction logique étant la seule limite de la puissance divine) : ce qui est évidemment impossible.*[1]

Bianchi note que l'argument est moins épistémologique que théologique, bien que le vocabulaire mobilisé par le pape dans la formulation du problème soit le même que celui utilisé pour les discussions sur le statut des hypothèses astronomiques.

Qui plus est, la notion de toute-puissance est en réalité une arme théologique susceptible d'être orientée contre à peu près n'importe quelle théorie. En effet, à prendre au mot l'argument de Barberini, on voit difficilement en quoi l'héliocentrisme tombe davantage sous son coup que n'importe quelle autre doctrine astronomique : de fait, certaines théories astronomiques sont plus utiles que d'autres pour sauver les apparences, mais en droit, aucune n'est démontrable.

1 In *Galilée en procès, Galilé réhabilité ?, op.cit.*, pp.75-76.

C'est donc une fin de non-recevoir adressée, entre autres, à l'affirmation copernicienne selon laquelle, sans son hypothèse, il est impossible de produire une liaison parmi les mouvements et les distances planétaires. Mais cet argument, dirigé contre le réalisme des coperniciens, repose sur deux présupposés, qui ouvrent la voie possible à deux contestations, l'une scientifique, l'autre métaphysique :

1) Le premier présupposé est de nature épistémique : on ne peut établir la vérité d'une hypothèse qu'en montrant que *chacune* des autres hypothèses est contradictoire. Cette perspective semble occulter tout à fait le type de rapport à l'observation qui est mis en place par Galilée, et qui est construit sur le modèle baconien de l'*instantia crucis*, de l'expérience cruciale par laquelle il est possible, dans une situation empirique donnée, de choisir entre une hypothèse et toute autre explication possible. Comme nous allons le voir dans le chapitre sur les taches solaires, c'est exactement ce que fait Galilée dans son rapport à l'observation : à un élément de la doctrine aristotélicienne peut être opposé tout un ensemble de faits d'observation qui permet de réfuter cette doctrine. On peut alors objecter, et c'est ce que fait en fin de compte Duhem, que ce n'est pas parce que l'on a éliminé une hypothèse adverse que l'on a démontré celle que l'on propose, car on n'a pas démontré par là que toutes les autres hypothèses sont fausses. Ce que nous allons essayer de montrer, c'est justement que c'est comme cela que l'astronome construit ses hypothèses : il les construit de telle sorte que les éléments d'observation falsifient toutes les autres hypothèses possibles. C'est en cela qu'une hypothèse sera systématique : chaque élément d'observation doit valoir comme test dans une expérience cruciale qui élimine d'un bloc toutes les autres observations.

2) Le fait que Dieu soit soumis au principe de contradiction : soumettre Dieu au principe de contradiction revient à le soumettre au même régime de légalité que la

pensée humaine ; quelque chose s'impose à lui comme il s'impose aux hommes. La seule tentative métaphysique contemporaine de Galilée pour s'opposer à une telle égalisation des conditions cognitives est celle que propose Descartes dans les lettres d'avril et mai 1630, dites lettres sur la création des vérités éternelles – en réalité, pour prendre le vocabulaire de Descartes et non celui qui lui est imposé par Mersenne, les vérités mathématiques. Disons-le en quelques mots : Descartes affirme dans ces lettres que les essences sont, comme les existences, des créatures. Vouloir et connaître étant, en Dieu, unis, aucune règle logique ne lui peut être imposée, opposée, pas même le principe de contradiction. Soumettre Dieu au principe de contradiction revient à le soumettre à une légalité dont il s'excepte forcément, puisqu'il est celui qui imprime ses lois à la pensée. Il conviendrait de se demander dans quelle mesure ces considérations sur la création des vérités mathématiques ne sont étrangères au problème posé à Galilée. Il est en effet tout à fait tentant de voir dans cette doctrine de 1630 une réponse métaphysique à l'argument théologique de Barberini – réponse certes presque codée, en raison, si tel était le cas, de la condamnation de 1616. En tout cas, il est possible d'affirmer plus prudemment que d'un point de vue cartésien, l'argument de Barberini contre la démontrabilité des hypothèses astronomiques n'est en aucune façon recevable.

Mais Galilée, lui, accepte l'univocité de la connaissance : comme il l'explique à la fin de la première journée du *Dialogo*, certes la connaissance divine est incommensurablement plus étendue que la nôtre, mais pour que nous savons avez certitude, nous le savons comme Dieu lui-même le sait. Ce petit traité sur la nature du savoir humain joue ironiquement contre lui, car en souscrivant à l'univocité de la connaissance, il soumet Dieu aux mêmes exigences que ses adversaires. Il n'y a pas de trace chez Galilée, à notre connaissance, d'une tentative pour surmonter cet argument *sur le fond*.

III. Définition képlérienne des hypothèses et refus de l'équivalence

L'hypothèque a été levée par Kepler lui-même, qui l'a dit fort clairement, en soulignant le caractère équivoque du mot hypothèse ; il l'écrit de la façon la plus synthétique à la fin du premier chapitre du *Contra Ursum* : « certaines hypothèses sont simplement faites, pour ainsi dire, de billon et méritent à peine ce nom, tandis que d'autres sont justes et méritent vraiment le nom d'hypothèses astronomiques »[1].

Ce texte a pour origine une querelle de priorité. Dans le *De astronomicis hypothesibus*, Ursus avait publié une lettre de Kepler, en prétendant à tort que ce dernier lui accordait la découverte d'hypothèses astronomiques qui en réalité revenait à Tycho Brahe. En publiant ce texte de Kepler, Ursus avait pris soin d'éliminer la référence élogieuse à Tycho. En conséquence de cette manipulation, Tycho a demandé à Kepler, qui a accepté, d'écrire un texte afin d'effacer l'affront. Dans le *Contra Ursum*, Kepler satisfait donc un double objectif : en même temps qu'il accomplit un devoir d'honneur en rétablissant les mérites de son ami Tycho, il réfute une certaine conception des hypothèses astronomiques.

C'est ce deuxième aspect que nous allons ici développer. Ce texte a fait l'objet d'une traduction et d'un commentaire d'une valeur inestimable par Nicholas Jardine et Alain-Philippe Segonds ; nous ne rentrerons pas dans le détail de ce texte, mais nous allons remarquer deux choses qui nous paraissent essentielles.

1 *La Guerre des Astronomes. La querelle au sujet de l'origine du système géo-héliocentrique à la fin du XVIe siècle*, Texte établi et traduit par : Nicholas Jardine, Texte établi et traduit par : Alain *La Guerre des Astronomes. La querelle au sujet de l'origine du système géo-héliocentrique à la fin du XVIe siècle*, Texte établi et traduit par : Nicholas Jardine, Texte établi et traduit par : Alain Philippe Segonds, Collection Science et humanisme, Les Belles Lettres, Paris, avril 2008, vol. II., p.270.

Kepler élimine comme un conte pour enfant l'image d'un Copernic phénoméniste telle que véhiculée de façon uniquement stratégique, et en aucun cas épistémologique, dans l'*Ad lectorem* d'Osiander :

> *Cependant, Osiander, grâce au caractère équivoque du mot, s'est joué de Copernic, ou plutôt de ses lecteurs, en transférant ce qui est vrai des hypothèses géométriques aux hypothèses astronomiques, alors que les deux types sont complètement différents.*[1]

En effet, il développe dans ce texte une conception des hypothèses astronomiques qui repose sur une analyse génétique du terme même. Pour restituer son propos de façon synthétique, Kepler rappelle que le terme « hypothèse » ne vient pas de l'astronomie mais qu'il appartient d'abord aux géomètres : ces derniers désignaient « par ce terme, tous les principes (axiomes ou postulats) qu'ils supposaient comme étant acceptés par tout le monde, et sur lesquels ils fondaient leur démonstration. » ; « ces propositions, ils les appelaient 'postulats', en tant qu'ils postulaient qu'elles leur fussent accordées dès le début par leurs disciples »[2] ; les géomètres « supposaient, en effet, des choses connues et, sur leur base, édifiaient des choses moins connues et les montraient à leurs disciples »[3].

C'est à partir de la logique que le mot d'hypothèse s'est introduit par la suite, selon Kepler, en astronomie, par contamination lexicale, et puisque « la juridiction de la logique s'étend à toutes les sciences »[4] ; qui plus est, en astronomie, il est fait usage de démonstrations géométriques. Mais si le mot est passé de la géométrie et de la logique à

1 *La Guerre des Astronomes. La querelle au sujet de l'origine du système géo-héliocentrique à la fin du XVIe siècle*, *op.cit.*, p.271.
2 *Ibid.*, p.251.
3 *Ibid.*, p.252.
4 *Ibid.*, p.252.

l'astronomie, ce n'est pas le cas de la chose qu'il désigne, en géométrie comme en logique. En effet, en astronomie, comme l'écrit Kepler quelques lignes plus loin :

> *Toutes les fois que, à partir de ce que nous avons vu au ciel à partir d'une observation attentive, nous démontrons à l'aide de nombres et de figures quelque chose relativement à l'astre que nous avons observé, dès lors l'observation dont je viens de parler, devient une hypothèse dans la démonstration que nous proposons ; et c'est là-dessus qu'est édifiée principalement notre démonstration. Telle est la notion authentique du mot hypothèse.*[1]

Il y a deux éléments à retenir de cela :

1) Une hypothèse est quelque chose qui est assumé comme certain.

Le vocabulaire de la certitude imprègne ce texte dans lequel le scepticisme d'Ursus est sans cesse révoqué comme à la fois incorrect et inutile. Ursus conclut à tort de la perfectibilité de l'astronomie de son temps l'incertitude fondamentale de tout savoir astronomique. Pour Kepler au contraire, il faut voir dans les défauts actuels de l'astronomie une raison pour travailler davantage encore à sa restitution. « Mais personne ne doit dire, à cause de cela, que tout est incertain ». Il y'a un refus catégorique du scepticisme :

> *Cinquièmement : [Ursus] désespère [de trouver] des hypothèses vraies en astronomie, parce que, à la manière des Pyrrhoniens, il déclare toutes les choses incertaines. Qu'il y ait encore aujourd'hui des défauts, même dans l'astronomie la mieux établie, et par suite, dans les hypothèses aussi, c'est ce que personne ne nie : et c'est même pour cela qu'aujourd'hui encore on déploie tant de labeur dans la restitution [de l'astronomie]. Mais personne ne doit dire, à cause de cela, que tout est incertain ! Ptolémée a découvert, à l'aide de l'astronomie, que la sphère des fixes était la plus haute et que suivaient dans l'ordre : Saturne, Jupiter et Mars ; que le Soleil venait en dessous et que la Lune venait en toute dernière position. Voilà qui est assurément vrai et en accord avec la disposition du monde. Le même auteur, dans le cas de la Lune, a supposé des mouvements d'éloignement et d'approche trop grands. Regiomontanus et Copernic ont compris qu'il résultait de cette hypothèse quelque chose de faux et en désaccord avec la grandeur*

1 *Ibid.*, p.253.

apparente de la Lune. Ils ont donc dit que la lune ne faisait pas des bonds aussi considérables vers le haut (c'est-à-dire dans la profondeur [du ciel]). Et qui doutera qu'il n'en aille ainsi réellement dans le ciel ? Pour ce qui est du rapport de la Terre, du Soleil et de la Lune « en gros », qui osera en douter sinon un individu mélancolique et désespéré ? Ainsi aujourd'hui personne ne met en doute que ce qui est commun aux hypothèses de Tycho Brahe et de Copernic – c'est-à-dire que le Soleil est le centre du mouvement des cinq planètes – n'existe réellement ainsi dans le ciel, même si, en attendant, on a, des deux côtés, quelque doute sur le mouvement ou le repos du soleil. Or, un grand nombre de [résultats] de cette sorte ont été établis grâce à l'astronomie dans le domaine de la physique, qui méritent d'être crus à l'avenir et qui se présentent effectivement de cette façon, si bien que le désespoir d'Ursus est sans fondement.[1]

Le scepticisme d'Ursus est pour Kepler un argument de paresseux, et il ne doit pas être pris au sérieux - car, comme insiste Kepler en plusieurs endroits, l'astronomie est chose sérieuse.

2) En astronomie, les hypothèses dérivent de l'observation.

Une hypothèse est ce que devient l'observation dans la démonstration ; dit autrement, l'hypothèse est l'observation rendue utilisable dans un calcul – calcul par lequel il est possible de rendre raison du mouvement observé.

Contrairement donc à ce qu'affirme Ursus, les hypothèses dérivent des observations et non l'inverse. Kepler revient sur ce point quelques lignes plus loin : Ursus « dit que les hypothèses sont imaginées pour observer les mouvements célestes » ; mais selon Kepler, « cette opinion est diamétralement opposée à la vérité ». En effet, « nous pouvons observer les mouvements célestes sans avoir la moindre opinion sur la disposition des cieux. Et de fait, c'est l'observation des mouvements célestes qui amène les astronomes à formuler correctement des hypothèses, et non pas l'inverse »[2].

1 *Ibid*., pp.263-264.
2 *Ibid*., p.260.

Le mieux est ici de prendre un exemple, et le meilleur des exemples est celui que prend Kepler : « Ptolémée a découvert, à l'aide de l'astronomie, que la sphère des fixes était la plus haute et que se suivaient dans l'ordre : Saturne, Jupiter et Mars ; que le Soleil venait en-dessous et que la Lune venait en toute dernière position. Voilà qui est assurément vrai et en accord avec la disposition du monde »[1]. Là est donc l'hypothèse : c'est la disposition des choses qui est assumée certaine et qui sert de fondement aux calculs qui vont être par la suite effectués.

Comment l'astronome constitue-t-il donc ses *hypothèses* ? L'astronome *part de* l'observation, dans le double sens de l'expression *partir de* : « en effet, ce qui se produit dans n'importe quel domaine du savoir où, éveillés par les phénomènes qui frappent nos sens, nous remontons, grâce à l'activité de notre intellect, vers des choses plus élevées, qu'aucun sens, fût-il aiguisé, ne peut saisir, cela se produit aussi dans le domaine de l'astronomie : nous remarquons d'abord à l'œil diverses positions de planètes à divers moments ; puis, le raisonnement intervenant sur ces observations, amène l'intellect à la connaissance de la disposition du monde, et la description de cette disposition du monde déduite, comme on vient de le dire, des observations, reçoit, par après, le nom d'*hypothèses* astronomiques »[2].

Le rapport entre hypothèses et observations est donc le suivant en astronomie, comme dans l'ensemble du savoir : l'hypothèse dérive de l'observation mais n'est pas elle-même quelque chose d'observé. Il y a donc un double conditionnement entre l'observation

1 *Ibid*., p263.
2 *Ibid*., p.260.

et l'hypothèse : 1/ contrairement à ce qu'affirme Ursus, il n'y a pas besoin d'hypothèses pour faire des observations, il y a *a contrario* besoin d'observations pour fournir des hypothèses. 2/ Mais il ne s'agit pas là d'un empirisme naïf, qui ferait de la chose observée une hypothèse : il est nécessaire que l'intellect s'éloigne de la chose perçue afin de produire une représentation idéale de la réalité.

Mais l'objection est évidente : plusieurs *hypothèses* sont à même de produire une justification de la chose perçue, car plusieurs combinaisons de cercle peuvent produire le même mouvement apparent. Certes, mais ce serait là, précisément, confondre hypothèse *astronomique* et hypothèse *géométrique* :

> *Au total, il y a trois choses en astronomie : des hypothèses géométriques, des hypothèses astronomiques, et enfin, les mouvements apparents eux-mêmes des astres ; par suite, il y a aussi deux tâches distinctes pour l'astronome : l'une véritablement astronomique – constituer des hypothèses astronomiques, telles qu'en découlent les mouvements apparents –, l'autre géométrique – constituer des hypothèses géométriques de n'importe quelle forme (en effet, il peut souvent y avoir des hypothèses variées en géométrie), à partir desquelles on peut et déduire et calculer les premières hypothèses – les hypothèses astronomiques – c'est-à-dire les mouvements vrais des planètes, non altérés par la parallaxe.*[1]

Ce texte, particulièrement clair et didactique, réunit l'ensemble des éléments que nous avons, tant bien que mal, tenté de déployer dans les pages qui précèdent. L'astronome a bien pour objet les mouvements réels des astres, auxquels il a accès à partir des mouvements apparents, en utilisant les outils de la géométrie. Pour essayer de rendre les choses plus claires, nous proposons de distinguer ce qui est de l'ordre des *phénomènes* et ce

1 *Ibid*., pp. 271-272.

qui est de l'ordre de la *connaissance*. Dans l'ordre des phénomènes, l'astronome part de l'apparent, ce que lui et les autres observent et ont observé dans l'histoire. Et son travail ne consiste pas à calculer les phénomènes apparents (Kepler insiste à plusieurs reprises dans le *Contra Ursum* contre la définition calculatoire de l'astronome) ; son travail consiste à remonter des mouvements apparents aux mouvements réels au moyen des outils géométriques – à ce niveau-là, il est vrai, l'astronome dispose d'une liberté dans le choix et le maniement de ses hypothèses géométriques. Les hypothèses géométriques permettent montrer comment des mouvements réels peuvent prendre telle ou telle apparence.

La fiction est un *détour* : comme dans le cas de l'expérience de pensée, qui permet de penser le réel non pas en réalisant l'idéal par la pensée, l'astronome travaille dans l'écart entre le réel et l'apparent, entre les mouvements que l'astronome observe, et les mouvements réels qui sont à même de produire les mouvements observés.

Nous voudrions terminer par le plus important, car : l'astronomie présuppose, dans son existence même, la distinction entre le réel et l'apparent. Elle se constitue comme science, c'est-à-dire comme description vraie de la nature, à partir non pas des apparences, mais du rapport entre phénomènes et apparences.

A partir de là, il est essentiel de ne pas se méprendre sur le statut du calcul. Car le malentendu, finalement, vient de là : en affirmant qu'une hypothèse astronomique a pour fonction le seul calcul des phénomènes astronomiques, et que, par voie de conséquences, les hypothèses calculatoires ne se distinguent les unes des autres que par leur surcroît de commodité calculatoire (commodité toute relative, d'ailleurs, en ce qui concerne Copernic,

ainsi que l'a noté Koyré)[1], les phénoménistes ne disent rien de faux, mais ils se méprennent sur le statut du calcul. Kepler est formel : calculer n'est pas renoncer à connaître la réalité.

> *Septièmement : [Ursus] dit qu'il suffit que les hypothèses correspondent au calcul des mouvements célestes, même si ce n'est pas aux mouvements eux-mêmes. L'admirable opinion ! – si toutefois il convient de déterminer, à partir de ces mots, ce qu'Ursus pense. Qu'est-ce donc, Ursus, qu'un calcul ? Si un calcul – c'est-à-dire la méthode qui permet de calculer les positions des astres – est bon, alors, à coup sûr, il est en accord avec les mouvements, et il est fondé sur une hypothèse qui, elle aussi, est en accord avec les mouvements. Si, au contraire, un calcul ne représente pas les mouvements, on le tient pour aussi faux que les hypothèses dont il est dérivé. Par conséquent, si nous ne nous préoccupons pas de savoir si un calcul répond aux mouvements, rien assurément ne nous empêche d'imaginer un très grand nombre d'hypothèses (ce qu'Ursus dit, comme on l'a vu, lui être facile), et de constituer autant de formes de calcul (des formes évidemment vicieuses et en désaccord avec le ciel). Bravo, Ursus, pour cette richesse d'inventions ! Mais peut-être veux-tu enfermer les hypothèses dans les classes d'astronomie, en prétendant qu'elles ont pour seul usage de permettre au professeur de montrer à son étudiant, grâce à une représentation hypothétique, pour quelles raisons il doit suivre chaque précepte dans le calcul des mouvements célestes ? Bien que cet usage ne soit pas étranger aux hypothèses, il est pourtant postérieur et n'implique qu'une dignité inférieure. En effet, dans les hypothèses, nous décrivons en premier lieu la nature, et c'est seulement ensuite que, à partir d'elles, nous fondons un calcul, c'est-à-dire que nous démontrons les mouvements ; enfin, c'est à partir de là que, par un chemin inverse, nous expliquons aux étudiants les préceptes véritables du calcul.*[2]

Autrement dit, et c'est ici le cœur de la réfutation de toute la position duhémienne concernant le rapport entre l'hypothèse et les phénomènes. Il y a mécompréhension sur le statut du calcul : une hypothèse n'est pas une manière de calculer les phénomènes ; autrement dit le calcul n'est pas l'hypothèse – c'est en confondant calcul et hypothèse que l'on obtient le caractère facultatif de l'hypothèse, et que l'on transforme l'astronomie, comme Kepler l'écrit non sans mépris, en un jeu de « classes d'astronomie ». Le calcul n'est pas l'hypothèse en elle-même, mais le calcul est la méthode qui permet, à partir d'une

1 Koyre, A., *La Révolution astronomique, Copernic, Kepler, Borelli* (1961), coll. L'Âne d'oe, Les Belles Lettres, Paris, 2016, p.50.
2 *Ibid*., pp. 264-265.

hypothèse donnée, ce qui permet de déterminer les positions des astres. Le calcul est *fondé*, tel l'écrit Kepler, sur l'hypothèse, en sorte que si les résultats du calcul correspondent aux phénomènes, alors l'hypothèse sur laquelle ils sont fondés est vraie, et inversement. Les calculs ne sont pas du tout des fictions mais des tests.

Conclusion

Faisons le bilan. Il y a deux manières de considérer les hypothèses astronomiques. Selon qu'on les utilise comme des instruments dans le sauvetage des phénomènes, c'est-à-dire comme des hypothèses mathématiques, elles se distinguent les unes des autres par leur commodité : peu importe qu'elles soient vraies ou ne le soient point car la vérité ou la fausseté des hypothèses est de toute façon indémontrable. Du point de vue de la vérité, toutes les hypothèses sont équivalentes.

Mais telle n'est pas conception que les copernicien se font des hypothèses : l'équivalence des hypothèses repose sur un double malentendu : un premier malentendu sur la nature des hypothèses astronomiques, un deuxième malentendu (partant du premier) sur les vertus épistémiques respectives de l'hypothèse copernicienne et des autres hypothèses.

L'hypothèse que nous allons maintenant tester est la suivante : l'hypothèse copernicienne n'est pas équivalente à l'hypothèse ptoléméenne, car elle est une hypothèse *systématique.* Mais qu'est-ce que cela veut dire ? N'emploie-t-on pas le mot système comme synonyme d'hypothèse ? Le mystère s'épaissit ici : car comment la notion de système, qui se popularise à l'époque pour désigner toute hypothèse sur la forme du monde peut-elle être, en même temps, un critère distinctif d'une hypothèse au détriment des autres ?

Nous allons faire l'hypothèse suivante : il y a dans le mot *système* la même équivoque que celle pointée par Kepler dans le mot *hypothèse*. Et de la même manière, seuls certains systèmes en méritent vraiment le nom – plus exactement : un seul parmi les systèmes du monde est véritablement un système.

CHAPITRE 2 - SYSTEME

Toutes les cultures, toutes les civilisations ont produit, de façon plus ou moins explicite, plus ou moins élaborée, plus ou moins rationalisée, une représentation du monde[1] ; ces représentations, esthétiques, mythologiques, scientifiques, ne sont pas des productions culturelles comme les autres. Plus que tout récit et que tout discours, que toute œuvre d'art et que tout théorie scientifique, la représentation du monde engage le sens qu'une communauté attribue à la vie, à la nature, au bien et au mal. Longtemps, les hommes trouvèrent à même le monde la source axiologique par excellence, et organisèrent (ou tentèrent d'organiser) leur vie commune et leur existence singulière à l'aune de cette « sagesse du monde »[2] . Si la source s'est tarie à partir du XVIIe siècle[3], l'inventivité cosmologique n'a cessé de produire de nouvelles représentations, de nouveaux mondes, de nouveaux *systèmes du monde*. Cette cosmologie spontanée des sociétés humaines n'est pas, répétons-le, une activité symbolique comme les autres, car c'est bien leur manière spécifique d'être au monde qui s'y projette ; la cosmologie, spontanée ou savante, est une projection dans le monde de ses idéaux théoriques et pratiques. Au début des *Somnambules*[4], Koestler l'exprime avec talent en remarquant, de manière faussement naïve, qu'il nous serait presque impossible de nous représenter le monde tel que se le représentaient les Babyloniens : non que l'on ne puisse pas se le figurer, ou même se l'imaginer, mais l'on ne peut pas à proprement parler le *voir* comme eux le voyaient. Car se plonger dans un système

1 « Dans la *Dissertation sur le système du monde des Anciens Hébreux* (Paris, 1720) Dom Calmet suggère que tout peuple, toute civilisation, si ancien soit-il dans l'histoire de l'humanité, a construit, de manière plus ou moins cohérente, un assemblage d'idées sur la naissance et la fabrique du monde. Nous pourrions dire qu'il y a une cosmologie spontanée de l'esprit humain, qui se traduit, selon les cultures, par des représentations plus ou moins élaborée et rationalisées du monde ; cité par Michel Lerner, « The Origin and Meaning of 'World System' », *Journal for the History of Astronomy*, vol.36, novembre 2005.

2 Voir le le livre passionnant de Rémi Brague, *La Sagesse du monde, Histoire de l'expérience humaine de l'univers* (1999), coll. Biblio Essais, Le Livre de Poche, Paris, avril 2006.

3 Brague, R, *La Sagesse du monde, op.cit.*

4 Koestler, Arthur, Les Somnambules, Essai sur l'histoire des conceptions de l'univers (1959), tr.fr. Georges Fradier, coll. Le goût des idées, Les Belles Lettres, Paris, 2012, p.13.

du monde, ce n'est pas se plonger dans un récit ou dans un discours, dans des images ou dans des théories, c'est se plonger dans un monde – en l'occurrence, pour celui des Babyloniens comme pour celui des Grecs, et même aussi, sans doute, pour celui de Copernic[1], un monde qui n'est pas le nôtre.

Il se pourrait que le caractère indissociable de la manière dont une culture répond à la question du *sens* et du type de système du monde qu'elle produit explique l'absence de thématisation conceptuelle de la notion elle-même de *systema mundi*, et peut-être même plus largement de système. La spontanéité de la construction des mondes a contribué à produire une indétermination conceptuelle de la notion de système.

Pourtant, objectera-t-on, le monde lui-même est une notion qui s'est constituée en problème. La cosmologie est même, en un sens, le discours pour lequel est problématique ce qui fait que le monde est monde, pour lequel la mondanéité du monde n'est pas quelque chose d'évident mais qui doit être questionné[2]. Certes, mais la cosmologie, faisant du monde le problème, ne thématise pas explicitement la notion de système du monde ; ce qu'il s'agit de comprendre, c'est ce qu'est un monde, pas ce qu'est un système.

1 Voir les remarques d'Alexandre Koyré, dans son introduction à la partie I, « Copernic et le bouleversement cosmique », in *La Révolution astronomique, Copernic, Kepler, Borelli* (1961), coll. L'Âne d'Or, Les Belles Lettres, Paris, 2016, pp 15-17.

2 Voir les analyses de Rémi Brague dans *La Sagesse du monde, Histoire de l'exéprience humaine de l'univers, op.cit.*

I. La notion grecque de système

Le terme de *systema*, en grec, désigne, ainsi qu'on le trouve dans le Bailly, « une réunion en un corps soit de plusieurs objets, soit de plusieurs parties d'un même objet ». Michel Lerner, dans son article « Origine et sens de l'expression 'système du monde' »[1], note que le terme est utilisé en grec dans différents contextes : contexte militaire, pour désigner une troupe de soldats, contexte politique (corps politique organisé), contexte artistique (composition littéraire), ou contexte médical. Ce terme qui, dans la langue philosophique et courante a acquis à l'époque moderne une signification technique, était chez les Grecs particulièrement polysémique. Mais par-delà cette polysémie évidente, ce qui nous intéresse ici de très près, ce sont deux éléments sémantiques (que l'on va pouvoir mettre en lien avec la période qui nous intéresse, le XVIe siècle) :

1) D'une part, le terme avait une utilisation et un sens précis, technique, en musique : le *systema* désignait un assemblage de quatre notes, dont les rapports entre elles étaient déterminés selon le *mode* recherché ; l'un des exemples est le tétracorde, c'est-à-dire l'assemblage de quatre notes, qui comprend donc trois intervalles. Le *systema*, c'est la détermination des rapports entre ces notes, donc les intervalles qui composent le tétracorde. Par exemple, un tétracorde diatonique : on a quatre notes, trois intervalles qui sont un ton, un ton, un demi-ton ;

1 Lerner, M.P., « Origine et sens de l'expression 'système du monde' », in Le Monde des sphères, II, La Fin du cosmos classique, coll. L'Âne d'Or, Les Belles Lettres, Paris, 2008, Appendice ,pp 195-217 ; cet appendice est la traduction française de l'article suivant : Lerner, M.-P., « The Origin and Meaning of 'World System' », *Journal for the History of Astronomy*, vol.36, novembre 2005.

2) Mais, comme le note encore Michel Lerner, on constate chez les Grecs une grande réticence à l'utiliser pour désigner le monde. Pour le dire grossièrement, dans l'Antiquité, le monde n'est pas un *système* (à une exception près, que nous n'étudierons pas ici, chez les stoïciens). Cette origine stoïcienne de la désignation du monde comme un *système* a subi le même sort que la cosmologie stoïcienne en général ; son retour a été concomitant au retour de la cosmologie stoïcienne comme cosmologie de recours, sinon de secours au XVIe siècle (avec des auteurs tels que Jean Pena, Giordano Bruno, Juste Lipse).

Lerner suggère que, du fait de l'absence de terme latin pour désigner le système – remplacé dans les traductions par des équivalents : *consistentia, constitutio, coagmentatio, compages, collectio, « mundus... constat ex »*, il est tout à fait plausible que la sous-spécification de la notion de système vienne de là[1]. L'absence de terme latin – particulièrement pénalisante, dans le vocabulaire philosophique, mais aussi, peut-être davantage encore, dans le vocabulaire scientifique – a fait du système un concept fantôme. Plus dommageable encore, l'habitude prise de le remplacer par toute une série de termes lui a conféré une grande plasticité sémantique : système peut vouloir dire à la fois ensemble, structure, composition, agencement, ordonnancement, et pourquoi pas modèle, etc. Il y a là, très certainement, l'origine historique d'un usage sous-spécifique de la notion de système, et de sa non-thématisation.

En conséquence, l'usage du terme de système n'est donc pas si anachronique que cela. Si l'on entend par anachronique l'usage d'un vocable pour une époque à laquelle ce vocable

1 Lerner, M.-P., *op.cit.*, p.199.

était absent, alors oui il l'est. Mais ce n'est pas un anachronisme au sens où l'usage du mot serait coupé de l'histoire du mot lui-même. Au contraire, il semble que l'usage, notamment duhémien, du terme de système, soit l'héritier de sa sous-spécificité ; et le passage d'un concept quasi-absent (au Moyen-Âge latin) à un concept omniprésent, prolonge cette sous-spécification.

La tâche qui nous incombe désormais est donc celle-là : quel contenu conceptuel peut-être isolé derrière l'usage qui est fait du terme ? La difficulté est accrue par le fait que, d'un côté, il semble que toute représentation du monde soit susceptible d'être considérée comme un système, et que, pour paraphraser le titre de Galilée, il y ait plusieurs (au moins deux...) grands systèmes du monde, mais que certains systèmes le sont véritablement, là où d'autres manquent de systématicité. Autrement dit, et plus trivialement, certains systèmes sont plus systématiques que d'autres.

Nous allons donc, pour mener cette enquête conceptuelle, nous tourner vers deux textes en particulier. La reconfiguration de la notion se réalise en deux endroits sur lesquels nous voudrions nous attarder ici, car ces deux textes nous permettent de comprendre ce qui se joue véritablement à la fois du point de vue de la notion de système et du point de vue du copernicianisme. Il s'agit d'un texte de Rheticus qui se trouve au sein de la *Narratio prima*, et de quelques phrases de Kepler dans le *Contra Ursum*. Ces deux moments correspondent aux deux transformations essentielles du système du monde : ils sont écrits par deux auteurs dont le rapport au copernicianisme n'est pas un rapport de simple adhésion. Comme nous avons déjà eu l'occasion de le remarquer, pour Rheticus, le copernicianisme n'est pas vrai seulement *empiriquement*, mais il est vrai *nécessairement* ;

pour Kepler, comme l'a noté E. Mehl[1], la question n'a jamais été de savoir *si* le copernicianisme était vrai, mais de savoir *pourquoi* il l'était.

1) La première transformation, chez Rheticus, place le copernicianisme sous le signe de la nécessité, et non du simple rendu calculatoire de faits empiriquement observés : nous allons donc voir que la notion de centre se trouve elle-même placée sous le signe de cette nécessité ;

2) Chez Kepler, le copernicianisme se trouve placé sous le joug d'une très stricte application du principe de raison : comme nous allons le voir, le centre devient alors ce qui, chez Kepler, fournit la *raison* ultime de l'ordonnancement des planètes : cette raison est, comme nous allons le voir, mécanique, c'est-à-dire physique.

1 Voir Mehl, Edouard, *Descartes et la fabrique du monde, Le problème cosmologique de Copernic à Descartes*, coll. Epiméthée, Puf, 2019.

II. Rheticus : systématicité et musicalité

Penchons-nous, pour essayer de comprendre cela, sur le texte auquel nous devons l'introduction de la notion de système en astronomie : il s'agit de la *Narratio Prima* de Rheticus. Dans cet abrégé d'astronomie copernicienne, ce dernier présente lui-même le terme de système par son origine grecque et musicale. C'est à notre connaissance le seul et unique texte de cette période qui propose une conceptualisation de la notion de système – il n'en donne pas une définition explicite mais il le rattache à des éléments sémantiques qui nous permettent de savoir en quel sens le terme est utilisé, et, par conséquent, pour quelles raisons il est utilisé.

Au chapitre IX, chapitre dans lequel il présentée les raisons pour lesquelles il convenait d'abandonner les anciennes hypothèses astronomiques, Rheticus écrit cela :

> *En sixième et dernier lieu, ceci surtout a déterminé mon savant maître : il voyait la cause principale de toute incertitude en astronomie dans le fait que (puisse le divin Ptolémée, père de l'astronomie, me permettre de le dire) les savants en cette science ont mis peu de rigueur à conformer leurs théories et leurs modes de correction du mouvement des corps célestes à cette règle qui veut que l'ordre et les mouvements des orbes célestes constituent un système absolument parfait. Aussi largement en effet que nous leur rendions l'hommage qui convient, il aurait été pourtant souhaitable assurément qu'en établissant le système harmonieux des mouvements, ils eussent imité les musiciens qui, lorsqu'une seule corde a été tendue ou détendue, appliquent le plus grand soin et la plus grande attention à régler et ajuster les sons de toutes les autres, jusqu'à ce que toutes ensemble rendent l'accord désiré et qu'en aucune d'elles on ne remarque une dissonance quelconque.*[1]

Nous aurons donc ici à élucider deux choses : d'une part le sens de la référence musicale pour proposer une conceptualisation de la notion de système, et d'autre part la mise en rapport entre le musicien et l'astronome.

1 Rheticus, *Narratio prima*, tr.fr. in I*ntroductions à l'astronomie de Copernic*, tr.fr. Hugonnard-Roche, H., Rosen, E., Verdet, J.-P., Librairie scientifique et technique, Blanchard, Paris, 1975, p.125.

[Compages coagmentata] sustêma graece, quae vox Musicorum est, cujusque generis (quae tria apud ipsos sunt) dispositionem certam signans, ut in Diatonico, toni, toni, semitonii, toni, ecce tetrachordon, ecce compagen, id est, ratione inter se certa, voces quatuor cohaerentes.

L'accord une fois formé, celui-ci se dit en grec système, qui est un terme employé par les musiciens, désignant une disposition déterminée d'un certain mode (modes qui, d'après eux, sont au nombre de trois), par exemple dans le Diatonique, ton, ton, demi-ton, ton, voici un tétracorde, voici un accord, c'est-à-dire quatre sons liés entre eux par un rapport déterminé.

Ce qu'il est important de relever en premier lieu, c'est que le système est un *accord,* c'est-à-dire la liaison de plusieurs sons (en l'occurrence quatre sons) par un rapport déterminé. Ce rapport établit un lien entre chacun des sons et tous les autres qui font partie de l'accord. Tous les sons sont liés entre eux, c'est-à-dire qu'il existe un rapport qui détermine la liaison de chacun des sons avec chacun des autres sons. Puisque les quatre sons sont liés entre eux par un rapport déterminé, alors il est clair que l'accord n'est pas défini par le rapport de chacun des sons à l'un d'entre eux qui aurait une propriété particulière – ainsi, en ce qui concerne le système du monde, la position d'un corps sera déterminée par rapport à tous les autres, et ne dépendra pas des propriétés spécifiques d'un corps réputé central. Expliquons-nous, en filant la métaphore musicale : dans un accord, la fondamentale n'a pas de propriété substantielle qui la distingue des autres accords ; elle est la note en fonction de laquelle se décrit l'accord (les intervalles qui composent cet accord), mais elle est une note de l'accord dont la position est, au même titre que les autres notes, déterminée par le rapport que constitue ce type d'accord-là.

Nous retenons donc, en première approche, cette dimension-là de la référence musicale : l'harmonie, comme l'hypothèse astronomique, doit déterminer le rapport entre l'ensemble des éléments constitutifs de l'ensemble. Cette mise en ordre déterminée de

l'ensemble des éléments les uns par rapport aux autres constitue l'opération de systématisation.

Lisons maintenant de plus près le texte dans lequel, de façon extrêmement ramassée, Rheticus assimile explicitement le travail de l'astronome à celui du physicien, ou plus exactement – et la nuance est importante – c'est à la manière du musicien que l'astronome doit régler ses hypothèses. Autrement dit, *une hypothèse doit être un accord*.

Le premier élément à repérer est le suivant : l'astronome est un musicien. Qu'est-ce qui est curieux ? Le musicien produit les sons, les accords ; l'astronome ne produit pas les mouvements célestes : l'astronomie est une science d'observation, qui se distingue même parmi les autres sciences par l'impossibilité de faire des expérimentations, c'est à dire de produire les phénomènes étudiés. Or, lorsque l'on établit un système harmonieux, on doit faire comme les musiciens qui doivent accorder correctement leur instrument, sous peine de jouer faux.

Ce qu'il y a donc derrière cela, et donc derrière à la fois la comparaison musicale et la notion de système, c'est donc une reconfiguration du rapport à l'observation. Les hypothèses doivent toujours se régler sur les observations qui ont été faites, comme nous l'avons vu ; mais les observations doivent se régler, dans l'autre sens, sur la juridiction des hypothèses. Un système est donc une soumission par avance des phénomènes aux règles de la pensée.

Revenons au texte de Rheticus :

> *Par les six orbes mobiles précités, l'harmonie céleste est ainsi achevée que tous les orbes s'y succèdent en sorte que de l'un à l'autre ne soit pas laissée d'intervalle immense et*

que chacun des orbes délimités par la géométrie conserve son lieu de manière que, si l'on essayait de changer de lieu l'un quelconque d'entre eux, on détruirait en même temps tout le système.

L'idée qui est sous-jacente est l'idée de *nécessité* : l'idée est que si un modèle explicatif est un système, alors tous les éléments sont reliés entre eux par un lien nécessaire, et que c'est cela qui contribue à la perfection de l'ensemble. Dans cette phrase, Rheticus parle d'harmonie : l'harmonie, c'est évidemment un critère esthétique, c'est une propriété que l'on attribuait au monde des anciens : le *cosmos* était une organisation finalisée et harmonieuse. Évidemment, cela est pour nous très intéressant, et ce à double titre :

- comme on l'a vu précédemment, le terme d'harmonie renvoie évidemment au vocabulaire musical, et porte en lui l'idée même de rapport : on n'est jamais en harmonie tout seul, mais il y a toujours harmonie entre deux choses.

- mais ce qui est encore plus intéressant, c'est que l'harmonie musicale permet de penser, outre ce primat des rapports sur les éléments, l'idée qu'il puisse y avoir des rapports entre des rapports. C'est ça qui est le fil directeur, à notre sens, de l'idée de systématicité. Prenons l'exemple d'un accord parfait : il est composé lui-même de différents rapports. Il y a des intervalles, qui sont des rapports entre les notes (une tierce, une quinte, etc.) et l'accord, lui, met en rapport les intervalles entre eux, donc les rapports entre eux. En quelque sorte, l'accord parfait est moins un rapport entre des notes qu'un rapport entre les intervalles. Donc : chaque note se trouve être mise en rapport non pas avec une autre prise séparément, mais avec toutes les autres. Et si vous modifiez une seule note, par exemple si vous baissez d'un demi ton la note supérieure, alors c'est l'accord tout entier qui est modifié, et vous obtiendrez un accord mineur au lieu d'un accord majeur.

L'idée que nous voudrions défendre, c'est qu'il en va de même pour les astres ; ce que dit Rheticus, c'est que le monde copernicien est conçu de telle sorte que l'on ne peut pas modifier un élément du système sans modifier le système tout entier. Pourquoi donc ? Parce que les planètes ne sont pas considérées séparément, mais toutes ensemble, d'un seul tenant.

Une phrase de Simon a tout particulièrement retenu notre attention, dans laquelle, rendant sur ce point hommage à Koyré, il affirme que « le monde de Ptolémée n'est *en rien* un système »[1] : la radicalité de l'affirmation « en rien » pose en creux la question suivante : se pourrait-il qu'il y ait des degrés de systématicité, qu'un modèle ou un ensemble puisse être *plus ou moins* systématique, et que celui de Ptolémée se distinguerait d'autres modèles, en ce que lui ne l'est pas même un peu ? Laissons pour l'instant en suspens la question, et regardons ce qui disqualifie le modèle de Ptolémée comme candidat à la systématicité. Son problème est que :

> *le cas de chaque astre et de chaque planète est traité pour lui-même, indépendamment des autres, selon des moyens techniques très divers, avec la seule ambition que le modèle géométrique et cinématique utilisé permette de sauver les phénomènes ; c'est bien une collection, morceau par morceau, de membres disparates*[2]

Ce que permet cette nécessité, c'est l'unité du système : tous les éléments sont embrassés ensemble et d'un même tenant. Le type d'idéal de connaissance qui est ici présent est au fond extrêmement ancien : c'est l'unité. Il s'agit d'une exigence fondamentale de la pensée – la reconduire à l'unité. Connaître, c'est toujours ramener à

1 Simon, G., *Structures de pensée et objets du savoir*, II p.996.
2 *Ibid*., pp.996-997.

une unité des éléments divers, épars. Le système est donc cette forme très accomplie d'unité dans laquelle les éléments sont liés ensemble de manière nécessaire.

Tournons-nous maintenant vers Kepler.

III. Kepler : systématicité et nécessité

Voyons maintenant, pour finir, l'usage que Kepler lui-même fait du terme système, dans le *Contra Ursum*. Nous avons déjà présenté ce texte dans notre chapitre sur les hypothèses. Nous voudrions simplement rappeler, avant toute chose, qu'il avait pour origine une querelle de priorité concernant la découverte du modèle géo-héliocentrique – Kepler prenant fait et cause pour Tycho, alors même que Kepler n'adhère pas à ce modèle-là. Ce qui nous intéresse, c'est que la question du système du monde est le cadre dans lequel s'inscrit ce texte. Nous voudrions aussi remarquer, un peu naïvement, que Kepler prenant la défense de Tycho sur son hypothèse (sans y souscrire), il doit lui trouver quelques vertus *en tant que système* du monde. Or, et c'est le problème que nous voudrions soulever, il y a dans ce texte une ambivalence dans l'usage de la notion de système – c'est du moins ce qui nous a semblé à la lecture. Cette ambivalence nous pourrions la présenter ainsi, avant d'entrer dans son détail. : le terme de système a parfois un usage global (il désigne dans ce cas une certaine manière de décrire l'organisation du cosmos), et parfois un usage local (auquel cas il désigne quelque chose comme les rapports qu'entretiennent entre eux deux ou plusieurs objets du monde) – usage qui s'apparente davantage, nous semble-t-il, à son usage contemporain.

Tournons-nous maintenant vers le texte lui-même.

Après avoir présenté les différents sens du mot *hypothèse*, afin d'en dissiper tout usage sceptique, voici ce que Kepler remarque :

> *Pourtant, en particulier, lorsque nous parlons d'hypothèses astronomiques [avec le terme] au pluriel, nous le faisons à la manière des écoles de ce siècle, en désignant par là une sorte de résumé des conceptions de quelque spécialiste renommé, à partir desquelles il démontre tout le système des mouvements célestes ; et dans ce résumé figurent toutes*

propositions, tant celles relevant de la physique que celles relevant de la géométrie, qui sont utilisées par l'astronome en question pour réaliser le dessein qu'il s'est proposé, que le spécialiste ait transféré ces proposition d'une autre source à son propre avantage ou qu'il les ait antérieurement démontrées à partir de ses propres observations [...][1]

Le terme d'hypothèse a donc un sens spécifiquement astronomique, et c'est celui-là que Kepler appelle système. Soyons très attentif à l'usage que Kepler fait du mot : il parle bien du *système des mouvement célestes*. Qu'est-ce à dire ? Tout d'abord, il est tout à fait clair que le terme système est ici en quelque sorte délesté de sa charge cosmologique : si système du monde il y a, ce n'est pas la composition (*compages*) du Tout, c'est bien la connaissance qu'il est possible d'avoir des mouvements célestes : la connaissance, puisque Kepler fait bien référence à la démonstration qui en est faite, et connaissance des mouvements, c'est-à-dire des mouvements qui produisent tel ou tel type d'apparence à qui les observent depuis tel point de vue. Mais alors, le spectre de l'équivalence des hypothèses est-il complètement écarté ? S'il y a, comme nous l'avons vu plus haut, liberté, et même fantaisie, dans l'élaboration des hypothèses géométriques, dans ce cas-là n'y a-t-il pas possibilité que plusieurs hypothèses géométriques équivalentes ? Cette question appelle une double réponse :

1) Une réponse affirmative. En effet, il y a bien équivalence entre plusieurs hypothèses géométriques pour décrire un même mouvement, et ce, comme nous l'avons vu, en vertu même de l'équivalence cinématique. De ce point de vue, plusieurs modèles sont des systèmes du mondes sont possibles, et l'on parle à bon droit du *système* de Ptolémée, de celui de Copernic, de celui de Tycho Brahe. C'est de toute évidence en ce sens-là que Galilée utilisera le terme.

1 Kepler, *Contra Ursum*, in Jardine, N. Lerner, M ;-P., Segonds, A., *op.cit.*, p.253.

2) Une réponse négative. Dans sa définition, Kepler écrit que dans le système, c'est-à-dire « *dans ce résumé figurent toutes propositions, tant celles relevant de la physique que celles relevant de la géométrie, qui sont utilisées par l'astronome en question pour réaliser le dessein qu'il s'est proposé* ». Il y a donc ici une deuxième dimension de la notion de système qui est sous-jacente : non plus le système des mouvements, mais le système des différentes sciences. Qu'est-ce à dire ? Ce qui rend un système du monde véritablement systématique, c'est que sous la juridiction (nous employons le terme à dessein) d'une hypothèse peuvent se régler les différentes sciences, et notamment la physique. Un véritable système du monde doit arrimer à la fois une mécanique non falsifiable des mouvements célestes

Et c'est ici que nous voudrions esquisser les réflexions suivantes. Si le système de Tycho n'est pas le vrai système du monde, c'est parce qu'il est dans l'incapacité d'assurer la systématisation du savoir dans le sens que Kepler semble ici l'esquisser. Nous ne rentrerons pas dans des considérations physiques précises, mais simplement noter que ce qui rend le *système* de Tycho improbable du point de vue des exigences d'une connaissance systématique, c'est qu'il est impossible de rendre compatible avec son hypothèse une explication physique des mouvements célestes, car il est tout à fait absurde, pour peu que l'on fasse enter en considération des forces, ou quoi que ce soit doté d'une vertu motrice, que la Terre soit *en mesure de* mouvoir le Soleil qui, lui serait *en mesure de* mouvoir tout le ballet des planètes. Le modèle de Tycho rend impossible la réponse à la question *a quo moventur planetae* ? Le tychonisme est pertinent du point de vue cinétique - mais comme nous l'avons vu, toute hypothèse astronomique peut, pour peu que l'on soit habile géométriquement, devenir pertinente, car en prenant n'importe quel point du monde

comme centre, même le bout de son petit doigt, il est possible de produire une description correcte des mouvements célestes.

Nous voudrions ici, pour finir, remarquer l'usage que fait Kepler du terme de système, en plusieurs endroits du *Contra Ursum*, et qui a la singularité de parler non pas du système du monde, mais du système de plusieurs objets :

> *Cet orbe est généralement représenté, dans les abrégés d'astronomie, comme embrassant tout le système d'une planète, ce qui en fait un concentrique ; il se meut autour des pôles de l'équateur, d'est en ouest, et accomplit sa révolution en même temps que le système en 24 heures.*[1]

Nous pensons qu'il faut voir dans cet usage la marque de l'exigence de systématicité que nous avons essayée de dégager : un système ne désigne pas ce dans quoi on peut tout faire entrer, mais un mode de connaissance qui repose sur la mise en rapport de rapports. Ainsi le système d'une planète désigne l'ensemble des rapports qui peuvent être établis dans le comportement de cette planète : la loi des aires, en ce sens, est bien une réalisation de cet idéal de systématicité.

1 Kepler, *Contra Ursum, op.cit.*, p.285.

Conclusion

Deux éléments sont particulièrement importants ici, pour ce qui concerne l'idéal de systématicité avant Kepler :

1) Il est clair que ce qui doit être recherché par l'astronome est la détermination de mouvements réellement circulaires et uniformes, et qu'en conséquence de cela la théorie qu'il construit doit respecter les *propriétés essentielles* du mouvement circulaire. Le défaut majeur de l'astronomie de Ptolémée n'est pas tant d'avoir échoué à calculer les apparences au moyen de cercles, et de produire des combinaisons de mouvements circulaires pour décrire les mouvements planétaires, que d'avoir dissout le principe même de la circularité et de l'uniformité. En ne satisfaisant pas aux propriétés essentielles du mouvement circulaire, les mouvements utilisés par les astronomes anciens étaient circulaires et uniformes *par accident* et non pas *essentiellement*, c'est-à-dire qu'il était certes possible de trouver un point à partir duquel le mouvement considéré pouvait apparaître circulaire, mais ce point-là ne correspondait pas au centre propre de la révolution.

2) Et c'est le deuxième élément qui paraît central dans cette phrase. La propriété essentielle du mouvement circulaire qui est ici dégagée n'est pas sa perfection, mais c'est l'existence d'un centre propre qui, à l'exclusion de tout autre, est le point autour duquel ce mouvement est uniforme et régulier. La propriété essentielle d'un mouvement circulaire donné est son centre, c'est-à-dire le point à partir duquel l'ensemble des comportements des objets devient intelligible.

Ici, nous pouvons tirer une conclusion quant au statut du cercle dans l'astronomie circulaire rénovée, c'est-à-dire l'astronomie copernicienne avant la découverte par Kepler

des ellipses. Même si le cercle demeure la forme première du mouvement planétaire, ce n'est plus parce qu'il serait le mouvement naturel des objets supralunaires. Le cercle n'est plus la forme géométrique parfaite, et le mouvement circulaire, le mouvement parfait ; le cercle est la présentation figurée de l'idée de système. *En conséquence de quoi, et pour faire le lien avec ce que nous avions remarqué initialement : il y a des systèmes du monde plus parfaits que d'autres. Ainsi, la perfection n'est plus une propriété des mouvements planétaires mais des systèmes de description de ces mouvements.*

Mais cette transformation va de pair, chez Rheticus, et comme nous allons le voir ultérieurement, avec une reconfiguration de ce que l'on entend par centre.

Comme conclusion, nous pouvons affirmer que la systématisation du modèle requerra le passage à une analyse de type fonctionnel, c'est-à-dire à un mode d'exposition des mouvements célestes dans lesquels chacun des éléments considérés le sera comme l'instanciation d'une fonction à un instant donné.

CHAPITRE 3 - CENTRE

I. Copernicianisme et centralité

L'ambivalence du rapport entre copernicianisme et centralité a déjà été noté[1] ; pour la présenter rapidement, elle se loge dans ses deux caractéristiques cosmologiques fondamentales :

- D'un côté, le transfert du centre du monde de la Terre vers le Soleil constitue le geste qui rend possible, selon Copernic, l'explication des phénomènes célestes. Une fois déterminé correctement le centre du monde, l'ensemble des irrégularités apparentes des mouvements célestes se trouvent reconduites au mouvement circulaire uniforme ; il n'est pas de difficulté autrefois insurmontable, pas même la précession des équinoxes, qui ne résiste à ce recentrement ; et c'est précisément parce qu'il est centré correctement que le monde Copernic peut se prévaloir d'être symétrique : en un sens, *symmetria* et centralité sont synonymes[2]. Certes, à y regarder de plus près, il s'en faut que ce monde soit parfaitement centré[3], et la suppression de l'équant, quoi que participant de ce geste de recentrement, a coûté l'ajout d'un cercle, un petit épicycle sur lequel tourne le Soleil lui-même.

Et de fait, ce qui constitue l'argument le plus rédhibitoire à l'encontre de la centralité et de la symétrie du monde de Copernic réside dans le fait que le centre du monde n'est en réalité pas le Soleil, le corps du Soleil lui-même, mais un point mathématique : le Soleil moyen ; et le Soleil réel, en vertu de l'épicycle que nous venons de citer est-lui-même en mouvement. Cela dit, et nous y reviendrons ultérieurement, le recentrement sur le Soleil

1 Voir Isabelle Pantin « Faux centres, vrais centres, centres multiples : la résistance au décentrement dans les débats des astronomes de la Renaissance », dans Frédéric Tinguely éd., *La Renaissance décentrée*, Genève, Droz, 2008, p. 15-32.

2 Evidemment, comme le remarque Isabelle Pantin, la réalité n'est pas tout à fait aussi reluisante

3 Isabelle Pantin le remarque fort justement : « La vérité est un peu moins brillante. Les détracteurs de Copernic (jusqu'à Arthur Koestler dans ses *Somnambules*) ont pu souligner qu'il faisait encore appel à une quantité de petits cercles adventices, et que son système n'était pas mieux 'centré' que celui de Ptolémée puisqu'il continuait à faire tourner les cieux autour de 'rien'. », *op.cit.*, p.23.

vrai a constitué, chez Kepler, l'acte de naissance de la physique céleste, et l'astronome impérial, comme condition de réponse à la question « *a quo planetae moventur ?* », décidera de choisir comme centre du monde le Soleil vrai et non le Soleil moyen, approfondissant ainsi, et corrigeant même le centralisme copernicien – au prix certes, comme nous le verrons, d'une restauration provisoire de l'équant ; pour le dire autrement, la naissance de l'astronomie nouvelle peut être décrite comme la succession de deux recentrements, un recentrement de la Terre vers le Soleil, et un recentrement du centre fictif des orbes vers le corps solaire – un recentrement cinétique d'abord (Copernic), et dynamique ensuite (Kepler). En sorte que, pour reprendre l'heureuse formule d'Isabelle Pantin, « s'il n'est pas centré à la lettre, le monde copernicien l'est en esprit »[1].

- D'un autre côté, mais comme conséquence même du point précédent, il semble que tout en se fondant sur le choix d'un nouveau centre, la cosmologie copernicienne produise, presque involontairement, une dissolution de la notion même de centre. En effet, en renvoyant à une distance incommensurable la sphère des fixes, il fait éclore un monde indéfiniment grand dans lequel aucun point ne semble, en droit, occuper la place privilégiée que constitue un *centre* ; l'idée même d'un centre du monde est tout à fait solidaire d'une conception d'un cosmos fini et sphérique d'une part, qualitativement différencié et hiérarchisé d'autre part : qu'il soit occupé par la Terre, par le Soleil, ou par quelque objet que ce soit, *le centre est un lieu*. Qui plus est, et c'est là encore une conséquence de la substitution du Soleil à la Terre et de la mise en mouvement de l'orbe terrestre, l'hypothèse copernicienne éprouve sa

1 Isabelle Pantin fournit un argument extrêmement pertinent, en rappelant que « les épicycles de Copernic n'ont pas de fonction cosmologique : ils sont très petits et leur période de révolution est égale à celle du rand orbe de la planète qu'ils portent, si bien que la 'trajectoire réelle' de cette planète 'est toujours une courbe lisse''. » ; *op.cit.* p.23.

vérité par les conséquences, du point de vue de l'observation, de la mise en mouvement de l'observateur et de sa mise à l'écart du centre du monde ; dès le *Commentariolus*, Copernic insiste sur cette dimension-là, qui fait l'objet des trois derniers postulats : « tout mouvement qui paraît appartenir à la sphère des étoiles ne provient pas d'elle, mais de la Terre »[1], « les mouvements qui nous paraissent appartenir au soleil ne proviennent pas de lui, mais de la terre et de notre orbe »[2], et enfin et surtout « les mouvements rétrograde et direct qui se manifestent dans le cas des planètes ne proviennent pas de celles-ci, mais de la terre. Le mouvement de la Terre seule suffit donc à expliquer un nombre considérable d'irrégularités » ; insistons là-dessus, le point n'est pas seulement l'affirmation que les mouvements stellaires, solaires et planétaires observés le sont *relativement* à la position occupée par nous autres observateurs du ciel – car tel est également le cas dans le monde de Ptolémée ; mais si l'on veut comprendre pourquoi ces mouvements sont dits seulement *apparents*, alors il est nécessaire de poser corrélativement que la position occupée par l'observateur n'est pas une position privilégiée mais une position quelconque ; car si l'observateur se situe au *centre* du monde (comme se situerait, par exemple, un observateur sur le Soleil dans le monde copernicien) alors les mouvements qu'il voit sont des mouvements réels. Il est compris dans l'idée même de centre la propriété d'être un point d'observation privilégié, d'être le balcon d'où l'on voit au mieux le spectacle du monde.

En sorte que la distinction entre mouvements réels et mouvements apparents, et le traitement des mouvements observés (stellaires, solaires et planétaires) comme des mouvements apparents et non réels, présuppose le décentrement de l'observateur ; certes

1 Copernic, N., *Commentariolus*, tr.fr. In Introduction à l'astronomie de Copernic, Hugonnard-Roche, H., Rosen, E., J.-P. Verdet, p.73
2 *Ibid*., p.73.

Copernic maintient l'existence d'un centre du monde, depuis lequel les mouvements apparaîtraient tels qu'ils sont réellement, mais l'idée même de relativité et de contingence du point de vue de l'observation, et donc le décentrement de l'observateur, contiennent en germe la possibilité théorique d'un décentrement du Soleil lui-même – ou, si l'on préfère, la possibilité que le Soleil ne soit qu'un centre relatif et non pas le centre absolu du monde.

Tel est donc le paradoxe du monde copernicien : fruit à la fois d'un recentrement (du système) et d'un décentrement (de l'observateur), il est ordonné par une symétrie centrale mais dont les limites sont tellement excentrées que l'idée même de *lieu central* perd sa pertinence – au moins autant par la désuétude du « centre » que par celle du « lieu ».

Nous voudrions donc, ici proposer une forme d'élucidation de ce paradoxe en montrant que la notion de centre elle-même et frappée d'une ambiguïté, d'une hybridité, qui traverse toute l'astronomie copernicienne ; le centre désigne en réalité à la fois un lieu et une fonction, mais de façon toujours mêlée, et il a progressivement cessé d'être un lieu pour devenir une fonction, de même qu'il s'est transformé, de condition d'observation à une condition d'intelligibilité. Nous voudrions montrer ici cela en montrant comment cette hybridité de la notion de centre recoupe très exactement celle de la notion de système, et montrer de fait tout ce qui sépare la notion de centre du monde, à celle de centre d'un système.

II. Le centre comme lieu

La notion même d'héliocentrisme et l'usage du terme de *centre*, jusques et y compris dans la compréhension de l'astronomie copernicienne, mobilisent en réalité, et sans en être vraiment conscient, un vestige de cosmologie aristotélicienne, qui fausse la compréhension même de la notion : le centre est pensé comme un lieu, et comme un lieu avec un sens, ou plus justement peut-être avec une *connotation*, aristotélicienne, c'est-à-dire :

1) Le centre est conçu comme l'enveloppe du corps central, en l'occurrence le Soleil dans l'hypothèse copernicienne. Certes, comme cela a été noté, dans l'astronomie de Copernic le Soleil n'occupe pas exactement le centre des orbes ; il n'en demeure pas moins que ce centre-là, étant un point mathématique et non un corps physique, il est le centre de référence des calculs des mouvements apparents mais pas le centre du cosmos copernicien : ce dernier est bien le lieu occupé par le Soleil lui-même, ainsi que l'écrit Copernic lui-même. Il nous faudra donc, dans la poursuite de notre enquête, être attentif à la modification apportée à cette dimension par la prise en considération, par Kepler, du soleil réel en lieu et place du Soleil moyen, dans le calcul des trajectoires planétaires ;

2) En second lieu, et toujours aussi directement adossé à une conception aristotélicienne du lieu, le centre du monde est conçu comme étant un lieu distinct des autres lieux, un *milieu*, hétérogène pas sa nature même de milieu, aux autres lieux mondains. Dit autrement, et par-delà la distinction entre un domaine sublunaire et un domaine supralunaire, ou plus exactement par-delà la dissolution de cette distinction avec la découverte de la supralunarité des comètes, des étoiles nouvelles, et la présence de taches à la surface du soleil,

subsiste une hétérogénéité entre lieux, même réduite au strict minimum : il y a le lieu central d'un côté, et la totalité des autres lieux de l'autre côté.

Toute la question est de savoir, à partir de ce constat d'une hétérogénéité du lieu central par rapport aux autres lieux mondains, ce qui fonde cette hétérogénéité. La première hypothèse qui vient à l'esprit, lorsque l'on cherche à distinguer le lieu central des autres lieux, c'est précisément l'idée d'une *distinction*, au sens mélioratif du terme, c'est-à-dire l'existence d'un privilège, un privilège non pas au sens politique ou au sens social, mais un *privilège local de centralité* (désormais *PLC*). Partant de cette idée première, idée tirée du sens commun qui tend à faire du centre un lieu privilégié, le roi des lieux en quelque sorte - retenons la métaphore politique, car, comme nous allons le voir ci-dessous, elle est loin d'être exclusive au sens commun et a été la cheville ouvrière de la transformation conceptuelle de la notion de centre – partant de cette idée première donc, il convient de poser les questions suivantes :

- le *PLC* existe-t-il ? ;
- si non, pour quelle raison et si oui, qu'est-ce qui fonde ce privilège ?

Commençons par nous demander si le *PLC* existe et, notamment, si cette idée tire son origine de la cosmologie aristotélicienne. Autrement dit : le lieu central est-il un lieu privilégié chez Aristote ? Il ne nous appartient pas ici de traiter en détail la question, mais simplement d'aller chercher les éléments de nature à éclairer la question lorsque nous nous pencherons sur les textes du XVI^{e} et du XVII^{e} siècle. Pour cela, il nous faut commencer par noter la chose la plus importante, et qui se situe à l'articulation entre cosmologie et astronomie : l'attribut principal du centre est le fait qu'il est *au repos* : que l'on mobilise une

conception absolutiste de l'opposition entre mouvement et repos (la Terre ou bien le Soleil est absolument immobile) ou relativiste (le centre et le référent auquel on rapporte le mouvement des autres objets célestes), le centre du cosmos ou de l'univers est *en repos.*

La difficulté qui pointe, si l'on pose en premier lieu la question en terrain aristotélicien, consiste alors à confronter les deux éléments suivants :

1) La terre est au repos au centre du monde ;
2) Le repos est chez Aristote un privilège ontologique – au sens où, étant la fin du mouvement, il est ce qui est visé et permet à un corps d'actualiser sa nature véritable, une fois atteint son *lieu propre* : le mouvement est ainsi toujours le résultat d'une contrariété apportée à l'ordre harmonieux du *cosmos* – que le mouvement produise cette contrariété (mouvement violent) ou bien qu'il la corrige (mouvement naturel).

Il est alors tentant de conclure de ces deux éléments que la Terre occupe un lieu privilégié, qu'elle jouit du *PLC* en vertu du repos qui est le sien. En réalité, il n'en est rien. Il a déjà été montré de manière fort convaincante que la Terre n'est pas le véritable centre du monde aristotélicien ; nous suivrons volontiers M.A. Granada[1], pour considérer que le véritable centre du *cosmos* aristotélicien est la sphère des étoiles fixes.

Comment cela se fait-il ? Comment se peut-il que la Terre ne soit pas le véritable centre du monde alors même que sa position est nécessairement centrale dans la disposition aristotélicienne du cosmos ? Cela tient au fait qu'elle n'est pas véritablement un centre, et que son repos n'est pas le repos véritable ; ce qui suppose que le centre ne soit

1 « Aristotle, Copernicus, Bruno: centrality, the principle of movement and the extension of the Universe », *Studies in History and Philosophy of Science*, Part A 35 (1):91-114 (2).

pas une position mais un certain type de repos ; dit autrement, il faut dissocier centre géométrique et centre dynamique, et pour cela être capable d'élucider le profil dynamique du repos des différents prétendants à la centralité.

Il faut pour comprendre cela procéder en deux temps, comme le fait Aristote. Dans un premier moment, il convient de se débarrasser de deux opinions que l'on pourrait avoir intuitivement concernant la centralité de la Terre.

1) Tout d'abord, il convient de distinguer centre cosmologique et centre géométrique. Voici ce qu'écrit Aristote :

> *Il se peut, d'ailleurs, que beaucoup personnes partagent sur ce point l'opinion de ces gens-là et estiment qu'il ne faut pas attribuer à la Terre la région centrale : elles ne tirent pas leur conviction des faits observés mais plutôt des raisonnements. A l'être le plus noble, il convient, pensent-elles, qu'appartienne la région la plus noble. [...]*
>
> *Ils raisonnent comme si le mot centre n'avait qu'un seul sens et comme si le centre de la grandeur était aussi celui de la chose et de la nature. Cependant, chez les animaux, le centre de l'animal ne s'identifie pas avec celui du corps. On doit, par voie d'analogie, concevoir que la même distinction s'applique à plus forte raison au ciel entier. Telle est justement la raison pour laquelle ces gens-là ne devraient pas se laisser déconcerter à propos de l'univers ni introduire une garde dans la région centrale, mais feraient mieux de s'occuper du centre pris dans l'autre sens et d'en rechercher la nature et l'endroit où il se trouve. Ce centre-là est, en effet, un principe et une chose noble, tandis que le centre pris au sens local apparaît comme un aboutissement plutôt que comme un principe. Le centre est, en effet, ce qui est borné, et la limite est ce qui borne. Or l'enveloppant ou limite est plus noble que le contenu, car celui-ci est la matière et l'autre est l'essence de la chose constituée.*[1]

La distinction fondamentale est ainsi posée : le centre peut s'entendre en deux sens, soit le principe, c'est-à-dire la chose la plus noble, soit le lieu central. Reste à dire

1 Aristote, *De Caelo*, II, 13, 293a 28 – 293b 15, trad.cit. p.85-86.

maintenant en quoi la terre est centre au deuxième sens, le plus pauvre (c'est-à-dire le lieu central), et non centre au sens principiel.

2) Pour cela, la meilleure méthode consiste à réaliser une coupe longitudinale du *cosmos* pour en exhiber le profil dynamique : le mouvement se propage de l'extérieur du monde (sphère des étoiles fixes) vers l'intérieur, descendant de sphère en sphère, une sphère supérieure entraînant la sphère intérieure, et ainsi de suite jusqu'à la sphère céleste. En descendant vers la Terre, les sphères sont composées d'éléments de plus en plus lourds, et par conséquent le mouvement est de plus en plus contrarié par cette lourdeur. Dans une telle perspective, la Terre se situe au centre au sens où elle se situe *tout en bas* ; le mouvement qui est le sien est donc infiniment contrarié par sa lourdeur, et par le fait qu'à l'opposé du ciel, elle est constituée de l'élément le moins noble. En conséquence de quoi, le repos de la Terre n'est pas le repos véritable d'un corps parfait, mais c'est le repos asymptotique d'un corps infiniment lourd.

A cette dualité dans la conception du centre, correspond une dualité dans la conception du repos. Il y a deux manières d'être en repos, la manière parfaite, celle du premier Moteur, et la manière imparfaite, celle cela Terre. J.-J. Szczerciniarz l'écrit fort clairement dans *La Terre immobile*[1] : « La Terre [...] est en repos à l'extrémité du monde sublunaire, et à l'autre extrémité de l'Univers, à l'extrême du monde supralunaire, le

1Szczerciniarz, J.-J., *La Terre immobile, Aristote, Ptolémée, Husserl,* coll. Science histoire et société, Puf, Paris, 2003, p.58.

premier Moteur est lui aussi en repos. [...] On peut dire alors que le repos de la Terre est le signe de la plus grande imperfection, de l'incapacité et de la pesanteur. »

C'est donc en un sens très imparfait que la Terre est *centrale* et *en repos*. Son repos est une infirmité, sa centralité est périphérique. Il nous faut explorer plus en avant la nature de ce repos ; il se pourrait que cela permette de dégager une conception nouvelle de la centralité.

III. Le repos de la Terre

Lisons avec précision ce qu'écrit Aristote concernant le repos de la Terre en *De Caelo*, *III, 2*. L'observation empirique d'un corps en repos au centre du monde sert à fournir la preuve de ce qu'un mouvement naturel appartient naturellement à tous les corps simples, ou, pour le dire autrement, qu'il est dans la nature de chaque corps simple de posséder un principe de mouvement ; nous voudrions ici non pas étudier la théorie aristotélicienne du mouvement naturel pour elle-même, mais en tirer des enseignements sur la conceptualisation aristotélicienne du centre.

Voici ce qui est écrit :

> *C'est nécessairement par la contrainte, ou selon la nature que les choses sont en repos ; le lieu où une chose reste en repos contrainte est aussi celui où elle est transportée selon la nature.*[1]

Vient ensuite la preuve qu'il est impossible, sous peine d'une régression à l'infini du raisonnement, de concevoir l'existence d'un quelconque obstacle au repos du corps central.

Reconstituons d'abord le raisonnement, qui se fait par l'absurde. Nous constatons qu'un corps occupe le lieu central du monde, et qu'il y demeure. La question est alors la suivante : pourquoi ce corps reste-t-il au repos en ce lieu central ? Est-ce la nature qui l'y maintient – ou dit plus exactement : est-ce par nature qu'il reste en repos au centre ? Ou bien s'exerce-t-il sur lui une contrainte, qui, contre la nature, le cantonne en ce lieu ? Cette alternative, en quelque sorte, produit à partir de l'opposition entre mouvement naturel et mouvement contraint (ou contre-nature), une opposition entre repos naturel et repos

1Aristote, *De Caelo*, III, 2, 300a, 27-29, traduction Moraux, P., in Aristote, *Du Ciel*, Les Belles Lettres, Paris, 1965, p.110.

contraint. Reste ensuite à Aristote, par une procédure cruciale, à éliminer l'une des deux branches de l'alternative.

> *Or on constate qu'un corps demeure en repos au centre ; s'il y reste selon la nature, il est clair que le mouvement qui l'y mène est, pour lui, conforme à la nature. S'il y reste par contrainte, qu'est-ce dont qui l'en empêche de partir ?*[1]

La possibilité d'un repos contraint de la Terre est donc éliminée par l'absurde ; nous ne nous attarderons par là-dessus. En revanche, ce qui nous intéresse est la manière dont s'achève le raisonnement. Car l'objet d'Aristote est, rappelons-le, de prouver qu'un mouvement naturel appartient à chaque corps simple. Or, ce qui est pour l'instant établi, c'est l'existence d'un repos naturel ; voici comment Aristote conclut :

> *le mû doit s'arrêter quelque part [car il est impossible de parcourir l'infini et il n'arrive rien d'impossible], et y demeurer, non selon par contrainte, mais selon la nature. Mais s'il y a un repos naturel, il doit y avoir aussi un mouvement naturel, à savoir, le transport vers le lieu du repos naturel.*[2]

C'est ici que nous voudrions nous arrêter, et commenter, non pas la consécution établie par Aristote de l'existence du repos naturel à celle d'un mouvement naturel, mais bien plutôt la définition sous-jacente qui est donnée du centre, en tant que la Terre est considérée comme centre du monde. Le transport des corps pesants vers la Terre est le mouvement naturel de ces corps, et la fin de ce mouvement est leur repos naturel dans ce lieu qui leur est propre, et qui se situe au centre géométrique du monde. La Terre est

1 Aristote, *De Caelo*, III, 2, 300a, 30-32, trad. cit. p.110.
2Aristote, *De Caelo*, III, 2, 300b, 5-7, trad. cit. p.110.

naturellement au centre du monde, parce que les corps qui la constituent (les corps pesants) se dirigent naturellement vers le centre du monde. Quelle conception du centre peut être ici dégagée ? La Terre est centre parce qu'elle occupe le lieu vers lequel se dirigent les corps pesants et qu'une fois en ce lieu, il est dans leur nature d'y demeurer. Le centre géométrique du monde se trouve dont être le lieu propre des corps pesants. Ce centre-là est donc bien un lieu, et précisément, le lieu du repos naturel des graves. Il est frappant de voir comment ce raisonnement commence comme démonstration par la centralité, et finit en démonstration par le repos, ou, pour le dire plus exactement, le centre n'est évoqué que parce qu'il se trouve être, dans la cosmologie aristotélicienne, le lieu du repos naturel d'une certaine catégorie de corps. Et c'est bel et bien le lieu qui est, selon les mots de J.J. Szczerciniarz, « le terme fixe qui permet de juger du repos ou du mouvement d'un corps »[1].

De là, nous voudrions poser quelques remarques et questions, dont nous nous tâcherons de nous souvenir par la suite.

La notion de centre, au sens où la Terre repose au centre du monde, est une notion d'abord physique, ou dynamique, et secondairement cosmologique. Expliquons-nous : c'est bien parce qu'il est dans la *nature* des corps pesants de se *mouvoir* vers ce lieu plutôt que vers tel autre, et qu'il est dans la nature de tout corps simple de demeurer en repos une fois atteint le lieu propre (à condition qu'aucune contrainte ne s'exerce sur lui). Certes, la répartition mondaine des lieux propres à chaque corps relève de la cosmologie - en ce sens, cosmologie et dynamique sont bien indissociables. Mais il n'est dans la nature de la Terre

1 Szczerciniarz, J.-J., *La Terre immobile, Aristote, Ptolémée, Husserl*, coll. Science histoire et société, Puf, Paris, 2003, p.58.

d'occuper le centre du monde que parce qu'il appartient aux propriétés physiques, donc dynamiques, du corps qui la constitue, de se mouvoir naturellement vers ce lieu.

Pourquoi la Terre ne se meut-elle pas ? Ce n'est certainement pas parce qu'il serait dans sa nature d'être en repos ; c'est même très exactement le contraire : comme tout étant naturel, la Terre possède un principe de mouvement en vertu duquel, précisément, elle est en repos ; n'oublions pas : *s'il y a un repos naturel, c'est qu'il y a un mouvement naturel, qui est précisément le transport vers ce repos*. Il y a là quelque chose de fondamental : la Terre est en repos parce qu'elle occupe le lieu qui est le sien ; déplacez-là par la contrainte, elle se mouvra par la nature ! En sorte que la Terre n'est en repos, en quelque sorte, que relativement : dans la mesure où son repos est naturellement tributaire du lieu qu'elle occupe, il ne s'apprécie également que *relativement* au lieu qu'elle occupe, qui lui est, sinon le référentiel (expression qui serait clairement anachronique) du moins la référence véritable du repos pour les étants physiques, et par conséquent la seule chose qui soit véritablement, absolument parlant, en repos. Comme cela a été noté[1], on ne saurait réduire le lieu d'un corps à la partie immédiatement contigüe du milieu environnant. Certes, le lieu remplit bien cette fonction : le lieu d'un corps est la housse que procure le milieu à chaque corps et dans lequel ce dernier est glissé, rangé en quelque sorte. Mais le lieu est également ce par rapport à quoi un corps se déplace : ainsi qu'il l'écrit en *Physique IV*, « le lieu essentiellement doit être immobile ».

1Voir notamment Duhem, et les analyses fines de Szczeciniarz in *La Terre immobile, op.cit.*

IV. Le lieu chez Duhem

A. Duhem et la mutation conceptuelle du lieu aristotélicien

Voici l'interprétation très suggestive qu'en propose Duhem :

> *L'immobilité est un des caractères premiers qu'Aristote attribue au lieu : Simplicius nous apprend que Théophraste et Eudème mettaient au nombre des axiomes cette proposition : le lieu est immobile ; et il partage leur sentiment.*[1]

Ce qui, appliqué à l'exemple du rapport entre un bateau et l'eau du fleuve dans lequel il se trouve :

> *L'eau du fleuve n'est donc pas le lieu du vaisseau qui est à l'ancre dans ce fleuve ou qui y navigue, car cette eau n'est pas immobile. « C'est le fleuve tout entier qu'il conviendra d'appeler lieu de ce navire, car le fleuve tout entier est immobile ». [...]*[2]

En conséquence de quoi,

> *[l]e lieu d'un corps n'est donc plus, en toutes circonstances, la partie immédiatement contiguë à ce corps, de la matière qui l'environne ; ci cette matière est en mouvement, il nous faut chercher plus loin le lieu du corps ; il faut nous écarter de ce corps jusqu'à ce que nous parvenions à quelque chose d'immobile qui l'environne de toutes parts, lui et les corps mobiles dont il est entouré.*[3]

---

1 Duhem, P., *Le Système du Monde*, *histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic* (1906), t.I-X, Paris, Hermann, 1956-1958, gr. in-8°, vol.1, pp.199-200.

2 Duhem, P., *Le Système du Monde*, *op. cit.,* p.200.

3 *Ibidem*, p.200.

Et Duhem de conclure :

> *C'est bien un changement de définition qu'Aristote vient de faire subir au mot lieu ; la définition nouvelle qu'il en donne s'écarte, bien plus que la première, du sens qu'a ce mot dans le langage courant : sous une forme un peu enveloppée peut-être, mais qui transparaît néanmoins, le Philosophe enseigne maintenant que le lieu, c'est le terme fixe qui permet de juger du repos d'un corps ou de son mouvement ; il veut, en outre, que ce lieu entoure de toutes parts le corps qui s'y trouve logé.*[1]

Comme nous l'avons déjà souligné plus haut, l'élément le plus important de cette interprétation est bien la fixation du lieu comme le terme immobile respectivement auquel mouvement et repos des étants mondains se peuvent apprécier. De là naissent deux questions que nous devons absolument (nous) poser, l'une concernant le centre du monde, et l'autre concernant sa limite (car, comme nous l'avons annoncé plus haut, il se trouve qu'Aristote attribue le privilège de la véritable centralité du monde non pas au centre géométrique terrestre, mais à la limite étoilée.

Premièrement, il nous faut nous interroger sur les conséquences pour la conception de la centralité d'un tel réaménagement de la conception du lieu. Duhem lui-même en fournit les premières, comme remarques à sa propre interprétation. Bien en amont de son paragraphe consacré spécifiquement à la question de l'immobilité de la Terre, Duhem note que « lorsqu'Aristote [...] parle du centre du monde, il n'entend point désigner un simple point, mais un corps central immobile. »[2]Quelque chose semble ici devoir nous interpeller ; alors que Duhem vient, juste auparavant, d'attribuer la différence entre lieu et corps, précisément sur la question de l'immobilité – le lieu étant le seul immobile véritable, il

1 *Ibidem*, p.200.
2 *Ibidem*, p.201.

affirme ici que le centre n'est pas un point mais un corps (en l'occurrence le corps terrestre) et que ce corps a la propriété d'être immobile. Si l'on suit cette remarque jusqu'à son bout, il semblerait que l'immobilité du centre fasse quelque peu exception à ce qui a été dit plus haut, et qu'en ce qui concerne le centre du monde, l'immobilité soit bien prioritairement celle du *corps* central plutôt que celle du *lieu* central ; autrement dit, et pour reprendre la terminologie que nous avons proposée *supra*, c'est bien au corps terrestre qu'Aristote attribue le privilège de centralité, qui est aussi et même d'abord un privilège d'immobilité. La question que nous devons alors nous poser est la suivante : en quoi le corps central déroge-t-il à la conception précédente de l'immobilité que nous venons de décrire, et que Duhem a lui-même proposée ? La réponse que nous allons proposer est la suivante : il n'y déroge en rien ; mais avant cela, il nous faut aller lire de près les pages duhémiennes consacrées à l'immobilité de la Terre.

Duhem et l'immobilité de la Terre

Le paragraphe XV est intitulé « L'immobilité de la terre » ; Duhem commence par y rappeler qu'à l'époque où Aristote argumente en faveur de l'immobilité de la terre, cette croyance avait subi l'assaut de plusieurs écoles qui l'avaient fortement ébranlée, expliquant le soin que met ce dernier à plaider en sa faveur.[1] Puis il distingue dans son argumentation quatre « chefs principaux », que nous restituons ici, mais que nous ne traiterons pas tous les quatre – notre objet restant de comprendre ce qu'est un centre, c'est-à-dire, selon nos propres termes, les raisons qui conduisent à attribuer à *quelque chose* un privilège par rapport à *toutes les autres choses*. Ces quatre chefs sont les suivants :

1 *Ibidem*, p..220.

1. Le mouvement du Ciel exige qu'un corps immobile, étranger au Ciel, occupe le centre du Monde.

2. Des raisons de Physique prouvent qu'il n'est pas possible que la terre se meuve.

3. Des expériences démontrent qu'en fait, la terre ne se meut point.

4. Enfin la Physique nous enseigne la cause du repos de la Terre.[1]

Ce qui nous paraît tout à fait décisif, c'est une ellipse dans l'argumentation aristotélicienne, une interruption de la continuité logique, pour reprendre les mots de Duhem. En effet, il faut comprendre comment l'on passe de

tout corps animé d'un mouvement de rotation tourne nécessairement autour d'un centre fixe

à

au centre de la sphère animée d'un mouvement de rotation, il faut un corps immobile.

Ainsi que le suggère Duhem, il faut intercaler, « suppléer une pensée que le Stagirite sous-entend, et cette pensée ne peut être que celle-ci : Ce qui est immobile, ce n'est pas un simple point, le centre géométrique ; il faut que ce soit une portion de matière d'une certaine étendue, il faut que ce soit un corps ».[2]

1 *Ibidem,* p.220.
2 *Ibidem*, p.220.

Ceci est absolument décisif, car c'est ce qui explique le fait que la Terre soit dépourvue, certes de tout mouvement, mais plus particulièrement du mouvement de rotation : si en effet le centre du monde est un corps, et que ce corps est en mouvement sur lui-même, alors la moindre de ses parties[1]se trouverait être elle-même en mouvement, de sorte que rien ne se trouverait être immobile au centre, et que par conséquent il n'y aurait pas de centre immobile autour duquel tournerait la sphère.

Nous ne rentrerons pas ici dans l'histoire des interprétations postérieures du principe posé ici[2], mais nous voudrions retenir une dimension essentielle : l'immobilité du centre relève d'une nécessité physique, relevant de la possibilité même du mouvement : sans l'existence d'un centre physique immobile, il n'y a pas de mouvement possible des sphères. C'est cette nécessité qu'exprime la formulation aristotélicienne :

Il faut donc que la terre existe ; elle est ce corps qui demeure immobile au centre.

Résumons-nous. Il y a deux manières de prouver le repos de la Terre :

1) une manière consiste à déduire l'existence d'un corps immobile au centre du monde à partir de la circulation de l'orbe suprême, circulation qui présuppose l'existence d'un tel corps central ;

1 Si petite soit-elle, comme l'écrit Duhem, *op.cit*., p.221.
2*Ibid*., pp.222-224.

2) une deuxième manière consiste à prouver l'impossibilité du mouvement de la Terre en montrant que son repos dans ce lieu qui lui est propre ne saurait être contrarié que par la contrainte, c'est-à-dire contre-nature.

Dans les deux cas, le centre a une acception très distincte de ce qui est centre.

1) Dans le premier cas, le centre n'est pas du tout un privilège : il est la conséquence des propriétés physiques des éléments inférieurs qui composent la Terre ; il est central en ceci qu'il coïncide avec le lieu qui se situe géométriquement au centre, et par rapport auquel on évalue le mouvement et le repos de tous les corps.
2) Mais dans le deuxième cas, est présente une deuxième conception du centre, que nous allons explorer maintenant, qui est la conception qui est passée dans l'astronomie copernicienne – et c'est, comme nous allons le voir, chez Rheticus que cette conception va trouver son expression la plus claire. Le centre n'est pas ici conçu comme le *lieu* central mais le corps dont les propriétés dynamiques lui permettent de rendre intelligible l'ensemble des mouvements. Sa fonction physique lui confère un privilège : celui de conférer l'intelligibilité à ce qui, par ce fait même, constitue un système des mouvements, et, partant, un système du monde.

Nous croyons avoir ici dégagé une deuxième conception possible de la notion de centre, dont le rôle va être décisif, comme nous allons le voir, dans la transformation par Kepler de l'astronomie en physique.

B. La reconfiguration de la notion de centre chez Rheticus

Nous voilà de retour chez Rheticus, et de nouveau nous tournons notre regard vers la *Narratio prima* car, en même temps, et en conséquence, de son introduction et de sa conceptualisation presque explicite de la notion de système en astronomie, se produit une transformation de la conception du centre, que nous voudrions ici dégager.

La clef de l'interprétation de son texte, sur la question du centre du se trouve dans l'importance qu'il s'agit d'accorder à la métaphore *politique* avec laquelle il présente le Soleil :

> *Aussi le soleil a-t-il été appelé par les anciens « chorège », gouverneur de la nature et roi. Mais comment accomplit-il cette tâche ? Est-ce de la même façon que Dieu gouverne tout cet univers (comme Aristote l'a magnifiquement dépeint dans le Traité du monde) ? Ou plutôt le Soleil en parcourant aussi souvent tout le ciel, sans être en repos nulle part, joue-t-il le rôle d'administrateur de Dieu dans la nature ?*[1]

Ce qui est ici décisif, d'emblée, c'est de remarquer non pas tant l'usage de cette métaphore politique (usage qui, comme le remarque Rheticus lui-même, ne lui est pas propre mais qu'il reprend d'une tradition ancienne), mais le sens qui est conféré par Rheticus cette métaphore. A quelle titre la politique est-elle ici convoquée ? Au premier abord, la politique renvoie en même temps à la notion de pouvoir et à celle d'ordre ; l'affaire serait alors entendue : le Soleil est le gouverneur en ce qu'il imprime l'ordre au cortège des objets célestes. Dès lors, la référence au « chorège », au « gouverneur », au « roi », insisterait sur la puissance de ce dernier et la hiérarchie entre lui et l'ensemble des astres :

1 Rheticus, *Narratio prima*, in *Introductions à l'astronomie de Copernic*, éd. par Henri Hugonnard-Roche, Edward Rosen et Jean-Pierre Verdet, Paris, Blanchard, 1975, p.126.

le Soleil, comme le surnommaient les Anciens, était le gouverneur, c'est-à-dire le chef, de l'ensemble des astres. Il était établi entre celui-là et ceux-ci un rapport de subordination et de hiérarchie.

Mais si Rheticus fait ici référence à cette métaphore princière, c'est justement pour l'interroger et, s'éloignant de ce qui en elle reste lesté de l'ancienne cosmologie, il conserve ce qu'il y a d'essentiel dans une fonction politique. « Comment accomplit-il cette tâche » s'interroge Rheticus ? Il oppose alors le rôle de gouverneur à celui d'administrateur ; en réalité, la question qui est ici sous-jacente, et que la métaphore politique permet d'introduire, est celle de la *fonction* : plutôt que de s'interroger sur la *nature* du Soleil – raisonnement qui conduit à poser une distinction de *nature* entre les différents objets célestes – Rheticus montre que le centre du système est celui qui remplit une *fonction* spécifique. Dès lors, se trouve éliminée l'hypothèse que le centre du système soit un lieu, et que ce lieu soit occupé par le Soleil (ou par quelque autre astre) : en effet, il n'y a pas d'autre manière de distinguer un lieu parmi les autres lieux que de lui accorder un privilège ; or ici, sous couvert d'hommage, le Soleil se trouve en quelque sorte sommé de justifier la centralité qu'on lui prête. En interrogeant ainsi la façon dont le Soleil gouverne la nature, il soumet le choix d'en faire le centre du système à un principe de raison.

Mais comment le Soleil accomplit-il cette fonction ? Le mode d'accomplissement de la fonction révèle la nature de cette fonction. Il y a deux possibilités comme nous pouvons le lire sous sa plume :

> *Mais comment accomplit-il cette tâche ? Est-ce de la même façon que Dieu gouverne tout cet univers (comme Aristote l'a magnifiquement dépeint dans le Traité du monde) ? Ou plutôt le soleil en parcourant aussi souvent tout le ciel, sans être en repos nulle part, joue-t-il le rôle d'administrateur de Dieu dans la nature ? Cette question ne semble encore nullement élucidée et nullement résolue. Laquelle de ces opinions doit être adoptée de préférence, je laisse le soin d'en décider aux géomètres et aux philosophes (à*

condition que ceux-ci aient une teinture de mathématiques). Car lorsqu'il s'agit de juger et de trancher des controverses de ce genre, ce n'est pas en vertu d'opinions plausibles, mais de lois mathématiques (tribunal devant lequel la cause est ici plaidée) que la sentence doit être prononcée. Le premier mode de gouvernement a été rejeté, le second mode accepté. Pourtant mon savant maître a établi que la manière dont le soleil gouverne la nature des choses, manière qui avait été condamnée, devait être réhabilitée de telle sorte pourtant que soit laissée également au mode reçu et approuvé la place qui lui revient. Car il voit que dans les affaires humaines il n'est pas nécessaire que l'empereur parcoure lui-même toutes les villes pour s'acquitter, à la fin, de la tâche que Dieu lui a assignée ; le cœur non plus ne passe pas dans la tête ou les pieds ou d'autres parties du corps pour maintenir en vie un être animé, mais il remplit sa fonction par l'intermédiaire d'autres organes destinés par Dieu à cette fin. [1]

Il y a ici deux éléments qui nous paraissent devoir être retenus, et liés l'un à l'autre :

– tout d'abord, le centre est pensé comme ce qui gouverne la totalité des choses : son pouvoir explicatif, à l'image du pouvoir politique, s'étend sans limites ; de même que le bon empereur sera celui à l'empire duquel rien n'échappe, de même le centre est celui auquel aucun mouvement n'échappe du point de vue de l'intelligibilité ;

– mais il faut que ce pouvoir s'exerce *partout* sans s'exercer de manière *locale* : de la même manière que l'empereur ne parcoure pas *lui-même* les territoires de son empire, de même manière rien ne relie matériellement le centre. Ce qui est ici posé, c'est par conséquent le problème de l'action à distance.

En posant le centre comme ce qui régit l'ensemble des mouvements en à distance de tous les objets en mouvement, est posé le problème qui rendra nécessaire la transformation du copernicianisme cinétique en un copernicianisme dynamique. La systématisation appelle une reconfiguration de la notion de centre, qui pose un problème proprement physique, sans quoi la raison pour laquelle le centre est centre n'est pas fourni. Sans ce

1 *Ibid.*, p.126.

passage-là, on peut admettre que le modèle de Copernic est vrai sans savoir *pourquoi* il est vrai.

Conclusion

Dans une connaissance précopernicienne du monde, la position et le comportement de chaque objet est déterminé à la fois par rapport à un centre, centre autour duquel s'organise le Tout. En rapportant chaque objet au centre, doté ainsi à la fois d'un privilège cosmologique et épistémologique, on rend intelligible la position et le comportement de cet objet.

Voici comment nous pourrions enfin définir ce qu'il convient d'entendre par systématicité : il y a savoir systémique à propos d'un ensemble E d'objets { A, B, ...} dont le centre est Ω (qui appartient à E) si et seulement si :

Le comportement de A est fonction non pas de Ω mais du rapport de A à Ω.

Autrement dit, d'une part on ne décrit plus le comportement de A par rapport au centre, ni par rapport à tel ou tel autre élément de l'ensemble, comme l'élément B. Par exemple, on ne se satisfait pas de la description du mouvement d'une planète par rapport à un astre, fût-il *réputé* lieu « central ». Comme nous l'avons vu, c'est là la supériorité du modèle copernicien par rapport aux autres modèles, ainsi que l'a souligné Koyré au début de la *Révolution astronomique*. En revanche, on décrit le comportement de chaque objet compte tenu du rapport qui est le sien avec un objet choisi *comme* central (nous soulignons le comme, pour bien signifier, une fois de plus, que le centre n'est pas nature mais fonction). Cette opération permet de savoir à chaque instant quelle sera – ou quelle fut – la position et le comportement de chaque objet. La supériorité du Soleil parmi l'ensemble des objets du système ne se comprend que si l'on passe par l'analyse fonctionnelle ; on se dispense ainsi de lui attribuer une quelconque supériorité substantielle. La supériorité est produite

par la fonction ; la vertu du centre est sa fonctionnalité, c'est-à-dire l'aptitude de ce point à déterminer le comportement de l'ensemble et à permettre la commensurabilité de ces comportements).

Car un système a un centre, du moins en astronomie. Il a un centre, c'est-à-dire qu'il a *un* centre :

- pas moins d'un centre : l'absence de centre est une hypothèse jamais soulevée chez les auteurs que nous étudions ; il fallait l'audace intellectuelle d'un Giordano Bruno pour envisager un décentrement radical qui, non content de décentrer la Terre, décentrait d'un même geste le Soleil. De ce point de vue-là, seule sa représentation du monde était vraie, mais il était seul ;
- pas plus d'un centre non plus : la multicentralité est, en réalité, un défaut de centralité. C'est le drame de Tycho : le système géo-héliocentrique a deux centres, la Terre presque formellement, et essentiellement comme lieu central, et le Soleil comme centre des mouvements planétaires (à l'exception inexpliquable de la Terre). Deux centres, ce n'est pas un centre de trop, ce n'est *pas de centre du tout.* Et de fait, malgré la pertinence astronomique et géométrique de cette hypothèse, le géohéliocentrisme est physiquement absurde, car la Terre ne serait pas en mesure de remplir la fonction de chorège des cieux dont parle admirablement Rheticus.

Toute la question qui reste est dorénavant de savoir ce qui confère à un objet du système une fonctionnalité. C'est ce que nous montrerons dans le chapitre sur Kepler.

CHAPITRE 4 - LE SCEPTICISME INVINCIBLE

L'*effort* de systématisation est-il en mesure d'avoir l'*effet* escompté – dissiper le spectre insupportable de l'équivalence des hypothèses ? Il semblerait que non ; voici pourquoi.

Arguments sceptiques

Les sceptiques ont beau jeu de mettre en avant la possibilité logique, énoncée par Aristote dans les *Analytiques*, que, dans un syllogisme, une conclusion vraie puisse dériver de prémisses fausses. Transposée à la question de l'hypothèse copernicienne, l'objection prend la forme suivante : il est tout à fait possible de sauver adéquatement les phénomènes en utilisant une hypothèse fausse ; dit autrement encore : il est tout à fait possible de déduire correctement les mouvements des astres en utilisant une hypothèse qui ne décrit pas correctement la disposition de ces astres. Cette objection logique à la réalité de l'hypothèse copernicienne appelle deux remarques.

Il n'est pas ici le lieu de développer l'ensemble des arguments, physiques, théologiques, cosmologiques, qui ont été soulevés contre l'hypothèse copernicienne ; l'histoire des campagnes anticoperniciennes est foisonnante de personnages et d'épisodes. Nous ne retiendrons ici que celles qui concernent directement notre propos, à savoir d'une part les objections de type logique, car elles seules portent directement sur le statut des hypothèses astronomiques (et non sur leurs conséquences).

Pour argumenter cela, faisons un détour par le premier chapitre du *Mysterium cosmographicum* de Kepler, chapitre dans lequel l'astronome impérial tente de faire sa peau

à l'équivalence des hypothèses, en s'appuyant notamment sur des considérations logiques : Kepler s'oppose en effet à l'idée selon laquelle le système de Copernic pourrait produire des résultats vrais en s'appuyant sur des prémisses fausses. Il prend pour exemple l'explication par Ptolémée du lever et du coucher des étoiles.

C'est sur la logique aristotélicienne que s'appuie Kepler pour démasquer l'erreur. Dans les *Analytiques*, Aristote met en effet en garde contre les erreurs auxquelles conduisent les infractions à la règle du *kath'auto* – infraction que l'on commet lorsque l'on utilise un prédicat spécifique là où un prédicat générique serait suffisant pour produire la conclusion ; le syllogisme produit est alors spécieux, en ce qu'il n'attribue pas la conclusion à ce qui l'a véritablement produite ; un exemple donné par Aristote est celui du triangle : si nous ne connaissions que des triangles isocèles, il nous semblerait que c'est en tant qu'isocèle que le triangle a ses angles égaux à deux droits.

Nous passons ici sous silence la question de la familiarité de Kepler avec la logique aristotélicienne ; ce qui nous intéresse est de comprendre quel est exactement le type de reproche que Kepler adresse à ses adversaires. Les sceptiques ont beau jeu de mettre en avant la possibilité logique, énoncée par Aristote dans les *Analytiques*, que, dans un syllogisme, une conclusion vraie puisse dériver de prémisses fausses. Transposée à la question de l'hypothèse copernicienne, l'objection prend la forme suivante : il est tout à fait possible de sauver adéquatement les phénomènes en utilisant une hypothèse fausse ; dit autrement encore : il est tout à fait possible de déduire correctement les mouvements des astres en utilisant une hypothèse qui ne décrit pas correctement la disposition de ces astres. Cette objection logique à la réalité de l'hypothèse copernicienne appelle deux remarques.

D'abord, il faut noter qu'elle s'applique par nature à toute hypothèse astronomique quoi soit, et l'interdit de prétendre à la vérité du seul fait qu'elle sauve adéquatement les phénomènes ; par conséquent, elle conduit à suspendre la question même de la vérité et conduit nécessairement à l'équivalence des hypothèses ; dans son article « The Forging of modern realism : Clavius and Kepler Against the Sceptics », Nicholas Jardine nome cet argument « argument de l'équivalence des hypothèses ». Cet argument, insistons là-dessus, ne constitue pas une réfutation de l'hypothèse copernicienne mais une thèse d'indécidabilité entre les deux hypothèses.

Deuxièmement, elle suppose, sans la justifier, la transposition de l'argument aristotélicien du syllogisme vers l'astronomie. Une ligne de défense du réalisme astronomique consistera donc à montrer en quoi cette transposition est fallacieuse, comme le fait Clavius (dans une perspective anticopernicienne) dans son *In Sphaeram,* expliquant que ce n'est pas de la même manière que le vrai dérive du faux et que les phénomènes sont sauvés par les hypothèses : en effet, dans le premier cas, la conclusion est connue comme vraie ; et c'est seulement parce que l'on connaît la vérité de la conclusion que l'on peut, *a posteriori*, arranger de fausses prémisses de telle sorte que, par la force du syllogisme, on obtienne cette conclusion. On pourrait le dire ainsi : le syllogisme fallacieux produit une conclusion vraie, mais ce n'est pas lui qui nous apporte la certitude que la conclusion est vraie. Comme le note Clavius, si je ne possède pas de certitude quant à la vérité de la conclusion, ce n'est certainement pas de prémisses fausses que j'en obtiendrai. Or, c'est à peu de choses près ce qui se passe dans le raisonnement astronomique, si l'on considère le rôle des hypothèses non pas dans le sauvetage de phénomènes passés (qui constituent en quelque sorte une conclusion connue comme vraie) mais dans la prédiction de phénomènes futurs : comme l'écrit Clavius, « au moyen des excentriques et des épicycles, cependant, on ne sauve pas seulement les apparitions déjà perçues, mais on prédit également les

apparitions dont le moment d'advenue nous est tout à fait inconnu ». A suivre Clavius, c'est donc la force prédictive d'une hypothèse astronomique qui lui confère sa vérité : on ne peut pourrait pas prédire avec certitude tel ou tel phénomène au moyen d'une fausse hypothèse. Mais ce raisonnement nous paraît comporter plusieurs difficultés.

Logiquement d'abord, il pêche par ce que l'on pourrait nommer une circularité de la vérité et de la certitude : c'est la vérité des hypothèses astronomiques qui cause la vérité des prédictions de l'astronome ; mais d'un autre côté, Clavius part du fait, empirique, que nous tenons les prédictions comme certaines, que nous n'en doutons pas, comme preuve du fait que nous ne devons pas douter des hypothèses ; la vérité des hypothèses produit la vérité des conclusions, mais c'est la certitude dans la prédiction qui justifie la certitude quant aux hypothèses. La difficulté est donc la suivante : qu'est-ce qui justifie la certitude accordée aux prédictions avant que celles-ci aient été confirmées par l'observation ? Et une fois confirmées, une fois donc que l'on a la certitude que le phénomène s'est produit au moment prédit par l'astronome, alors on bascule dans le premier cas, celui du syllogisme fallacieux arrangé pour produire une conclusion connue comme vraie.

Cette difficulté logique se redouble d'une faiblesse épistémologique, relevée par Nicholas Jardine, qui réside dans le fait que deux hypothèses différentes peuvent avoir une même force prédictive ; ceci est une conséquence de l'équivalence observationnelle : si deux hypothèses différentes peuvent sauver les mêmes phénomènes, alors rien n'empêche qu'elles produisent les mêmes prédictions. Ainsi, comme le note Jardine, Clavius ne trouve pas de véritable parade contre l'argument de l'équivalence des hypothèses.

Revenons à Kepler. Le reproche qu'il fait à Ptolémée est d'avoir certes démontré les levers et les couchers des étoiles, mais « sans utiliser le moyen terme proche et adapté » ; contrairement aux apparences, ce qui permet d'expliquer levers et couchers des étoiles

n'est pas , chez Ptolémée, l'hypothèse suivante : « la Terre est immobile au centre du monde », pas plus d'ailleurs que Copernic « ne fait [...] sa démonstration à l'aide de ce moyen terme : 'parce que la Terre se meut à une certaine distance du milieu du monde ».

A aucun moment dans ce texte Kepler ne cherche à réfuter l'explication ptoléméenne du mouvement diurne des corps célestes ; ce qui est visé par le dispositif logique et la référence implicite à Aristote est l'argument de l'équivalence des hypothèses. Le problème est posé à plusieurs niveaux.

Kepler commence par expliquer que, du simple point de vue calculatoire (c'est-à-dire du point de vue de la capacité à sauver les phénomènes, sans préjudice de la vérité ou de la fausseté de l'hypothèse utilisée), il n'y a pas d'équivalence entre les deux hypothèses : il rappelle en effet le « très bel accord » qu'il y a entre « les opinions de Copernic » et les phénomènes célestes ; puis, les comparant avec celles de Ptolémée, Kepler écrit : « Copernic non seulement démontrait les mouvements passés et rapportés depuis la plus haute antiquité, mais encore annonçait les mouvements à venir non pas avec une certitude absolue, bien entendu, mais avec bien plus de certitude que Ptolémée [...] ». Dans son article, Jardine écrit que Kepler ne conteste pas ce qu'il appelle la « quasi-équivalence de l'astronomie ptolémaïque et de l'astronomie copernicienne » ; les deux systèmes du monde sauveraient les phénomènes de manière aussi satisfaisante l'un que l'autre. Selon Jardine, ce n'est donc pas au niveau purement instrumental, mathématique, que le système de Copernic montrerait sa supériorité, mais par le fait que, comme l'écrit Kepler, en plus de démontrer les mouvements passés et futurs, Copernic est le seul à donner « la raison de choses dont les autres astronomes nous avaient appris à être surpris, et que lui seul ôte la cause de cette surprise, qui réside dans une ignorance des causes ». La supériorité du système de Copernic doit donc s'apprécier au juste niveau. S'il est peut être très légèrement exagéré de dire que Kepler ne met pas en doute la supériorité observationnelle de la théorie

de Copernic, en tout cas dans le *Mysterium* (ce qui ne sera plus le cas plus tard, notamment lorsque, dans l'*Astronomia nova*, constatant les erreurs de plusieurs degrés relativement à la trajectoire de mars, il reconnaîtra la défaillance prédictive des trois modèles, ptoléméen, copernicien et tychonien), il faut considérer que le niveau observationnel ne suffit pas à lui seul à décider de la supériorité d'une hypothèse sur une autre, mais que celle-ci ne s'apprécie correctement qu'au niveau de l'explication, autrement dit au niveau de la capacité à rendre raison des phénomènes prédits en en fournissant la cause.

Mais la difficulté reste la suivante : même en donnant la cause du phénomène considéré, on peut, en raison du type d'hypothèses dont il s'agit, demeurer dans l'incapacité de sortir de la relation d'équivalence entre les deux. L'exemple du coucher et du lever du soleil est à ce titre particulièrement parlant ; car même si, ou précisément parce que, on peut expliquer le mouvement apparent des fixes en donnant la véritable cause – à savoir qu'il y a entre la Terre et le Ciel ce que Kepler nomme une *motuum separatio*, on demeure dans l'impossibilité de décider laquelle des deux hypothèses préférer. Toute la difficulté de l'exemple est là : une chose est de confondre l'erreur logique, une autre est d'être capable, une fois la confusion dissipée, de trancher entre les deux théories concurrentes.

En réalité, l'argument logique échoue à dissiper le spectre d'une équivalence des hypothèses ; même en attribuant l'explication du phénomène à la bonne cause, à ce qui le produit vraiment, le système ptoléméen rend aussi bien raison de la rotation apparente des fixes que le système copernicien. Mais si l'équivalence des hypothèses ne trouve pas son origine dans les propriétés générales du syllogisme, d'où provient-elle alors ? Nicholas Jardine suggère à grand profit que la réponse se trouve non pas dans la *forme*, mais dans le *contenu* de la démonstration, c'est-à-dire sur le mouvement ; dit autrement, ce sont les propriétés ontologiques du mouvement qui rendent nécessairement équivalentes les deux

hypothèses. Pourquoi ? Regardons ce qui constitue le genre commun aux deux hypothèses (ou, dit autrement, la troisième hypothèses qui est comprise identiquement dans les deux autres, et qui rend ces dernières équivalentes) : cette idée de *motuum separatio*, de mouvement opposé, ou divergent, ou antithétique (ainsi que suggère de le traduire Jardine) contient implicitement celle de relativité du mouvement : le mouvement du ciel dans l'hypothèse géocentriste est essentiellement relatif au choix de la Terre considérée comme référentiel, et par conséquent au repos, et vice versa ; même si l'idée n'est pas exprimée ainsi dans ce texte, c'est le caractère relatif de la description de tout mouvement qui, ultimement, rend raison du fonctionnement du syllogisme pris en exemple par Kepler : toute hypothèse astronomique qui pose le repos d'un corps et le mouvement d'un autre n'est qu'une hypothèse-espèce au sein d'une hypothèse-genre qui pose le mouvement relative des deux corps l'un par rapport à l'autre. Pour reprendre la formule de Jardine lui-même, dans son article « The forging of modern realism: Clavius and Kepler against the sceptics »[1], deux hypothèses astronomiques sont toujours *cinématiquement* équivalentes, dans la mesure évidemment où elles sauvent également les phénomènes ; ceci, encore une fois, ne tient pas aux propriétés du syllogisme mais à celles du mouvement.

Résumons-nous. Face au défi sceptique, phénoméniste, de l'équivalence des hypothèses, la parade élaborée par Kepler au chapitre premier du *Mysterium* ne parvient pas à esquiver la difficulté ; ce que nous avons voulu montrer, c'est que cette dernière est la conséquence de ce type de réalité très singulière qu'est le mouvement. Il est impossible d'établir la réalité d'un mouvement pris isolément, on ne peut qu'établir la réalité d'un mouvement *entre* deux corps, c'est-à-dire du mouvement d'un corps relativement à un

1 Jardine, N., « The forging of modern realism: Clavius and Kepler against the sceptics », *Studies in History and Philosophy of Science Part A Volume 10*, Issue 2, June 1979, Pages 141-173.

autre aussi bien que du mouvement de ce dernier relativement au premier. Deux hypothèses astronomiques étant donc toujours équivalentes par leur composante cinématique, la supériorité de l'une sur l'autre ne peut s'établir qu'en allant chercher ailleurs ; dit autrement, pour être réaliste, l'astronomie doit affirmer la réalité d'autre chose que celle du mouvement. Dit autrement, il fallait un effort supplémentaire : toute hypothèse portant sur le mouvement ne peut pas écarter l'équivalence des hypothèses.

Cette idée nous a été suggérée par la lecture d'une remarque particulièrement instructive de d'une remarque de Koyré en note de son chapitre *A quo moventur planetae ?*, qui se situe au sein de la partie qu'il consacre à Kepler dans *La Révolution astronomique* : « Le mouvement présuppose la distance ; mais la distance n'implique pas le mouvement : elle est donc, logiquement et ontologiquement, antérieure au mouvement et, par conséquent, ne peut l'avoir pour cause, puisque l'effet ne peut ni être, ni conçu sans la cause » ; quant à la distance, elle « n'est pas quelque chose en soi, mais seulement distance *entre* une chose et une autre ; elle est donc postérieure à ces choses et ne peut pas, *en tant que telle*, être cause de quelque chose qui leur arrive ». [1] Il est clair à la lecture de ces lignes que le rejet épistémique de l'équivalence des hypothèses appelle l'intégration dans les hypothèses d'éléments ne portant pas exclusivement sur le mouvement, car le mouvement lui-même présuppose des éléments qui lui sont ontologiquement supérieurs.

L'équivalence des hypothèses n'est pas écartée. Le chemin ne peut donc s'arrêter là.

1 Alexandre Koyré, *La Révolution astronomique, op.cit.* : il s'agit de la note 13, en page 403 de l'ouvrage.

CHAPITRE 5 - PARALLAXE

Introduction

La voie *a priori* se heurte à un problème *a priori*, comme nous l'avons vu : toute hypothèse cinétique est, du point de vue de la réalité, équivalente, à toute autre hypothèse.

Une autre voie s'offrait à l'astronomie, une voie observationnelle, *a posteriori*. Cette voie a utilisé un outil mathématique très particulier, qui n'a pas été inventé à cette époque mais qui a été développé à l'occasion de l'observation, entre autres, des étoiles nouvelles et des comètes.

Présentons les choses simplement. La parallaxe a été à la fois l'adversaire et l'alliée des coperniciens.

1) Elle en fut l'adversaire parce que si la Terre est en mouvement, alors on devrait observer une parallaxe annuelle des fixes ; en effet, le mouvement – réel – du mouvement de la Terre, provoque un changement – apparent – de la distance angulaire entre les fixes. Or, à l'époque, et ce jusqu'en 1838 et son observation par Friedrich W. Bessel, une telle parallaxe était inobservable. La non-observation de ce phénomène a constitué, selon la formule d'Alexandre Koyré, « l'Achille des coperniciens »[1] Afin d'expliquer cette absence de parallaxe apparente, Copernic avait dû concéder un agrandissement démesuré de l'univers, afin de situer les fixes suffisamment loin pour que la parallaxe fût inobservable (ceci est bien connu et il ne nous appartient pas d'y revenir).

2) Mais elle en fut aussi l'alliée parce qu'en l'absence de parallaxe des fixes, c'est-à-dire, donc, en l'absence de l'observation du mouvement de la Terre, une autre

[1] Lerner, M.-P., *Le Monde des sphères, vol. II La fin du cosmos classique*, coll. L'Âne d'or, Les Belles Lettres, Paris, 2008, pp.85-135.

astronomie a investi le champ de bataille cosmologique : l'astronomie des nouveautés célestes, et en particulier l'astronomie des comètes. Voie secondaire, portant sur des objets secondaires dont Copernic ne parle pas – sinon pour affirmer que les comètes sont, ainsi que les présentait Aristote, des météores. L'observation des nouveautés célestes posait un défi à la cosmologie aristotélicienne. Le point est bien connu, mais rappelons-le en quelques mots : les nouveautés célestes (étoiles nouvelles, comètes et taches solaires) sont des phénomènes apparaissant dans le ciel et, éventuellement, disparaissant. Si ces phénomènes se trouvent être situés au-delà de la Lune, alors la division aristotélicienne du monde entre domaine terrestre soumis au devenir et domaine céleste immuable ne tient plus.

Résumons-nous provisoirement. Dans les deux configurations que nous avons présentées – les fixes, les nouveautés célestes – l'observation (ou la non-observation) d'une parallaxe a valeur d'expérience cruciale. Elle permet de tester une hypothèse isolée de toutes les autres, et de déterminer sa vérité ou sa fausseté. Pour le dire autrement, dans le vocabulaire de ce qui nous intéresse, la parallaxe met fin à l'équivalence de deux hypothèses, selon qu'elle est observée ou non, ou bien selon que la parallaxe observée est supérieure ou inférieure à une parallaxe donnée ; par exemple, si la parallaxe d'un objet céleste – mettons, d'une comète, est inférieure à la parallaxe de la Lune, cela signifie que cet objet se situe plus loin que la Lune.

Nous n'allons pas retracer ici l'histoire des nouveautés célestes qui, à partir de 1572 et l'étoile nouvelle survenue en novembre dans la constellation de Cassiopée, sont apparues en foule dans le ciel européen. Retenons simplement ces deux éléments majeurs obtenus successivement par Tycho Brahe, Maestlin, Rothmann :

1) Les étoiles nouvelles sont supralunaires : le domaine céleste n'est donc pas immuable, mais connaît lui aussi des phénomènes de génération et de corruption ;

2) Les comètes sont supralunaires et leur trajectoire, comme l'a montré Tycho à propos de la comète de 1577, traversent les sphères, qui, de fait, sont éliminées.

I. La parallaxe des nouveautés

A. Tycho et la comète de 1577

Commençons par rappeler quelques faits. Une comète traversa le ciel entre novembre 1577 et janvier 1578 (elle cessa d'être visible le 26 janvier). Cette comète était immense, et sa queue rouge foncé, particulièrement longue. Elle a effectué dans le ciel une trajectoire équivalente à un quart de cercle, entre le Sagittaire et les Poissons.

Comme la montré D. Hellman[1], quatre auteurs ont alors montré que cette comète n'était pas un météore mais se trouvait bel et bien dans au-dessus de la Lune : Tycho, Maestlin, Gemma et Roeslin. Pour l'instant, nous nous attarderons essentiellement sur son étude par Tycho.

Le roi du Danemark, curieux de la signification astrologique du phénomène, avait demandé à Tycho ses premières considérations sur la comète ; cela donne lieu à la rédaction d'un court traité début 1578. Seule la fin du traité se mêle d'astrologie ; les six premiers chapitres sont proprement scientifiques.

Comme l'écrit Michel Lerner dans le deuxième volume du *Monde des sphères*, « le souci de l'astronome danois a été de toute évidence de déterminer avec le plus de précision possible la distance de la comète par rapport à la Terre : n'avait-il pas souhaité en 1573 l'apparition d'une comète pour pouvoir confirmer ou infirmer l'opinion des auteurs qui prétendaient avoir 'vu' des comètes au-dessus de la Lune ? »[2] Nous reviendrons là-dessus à la fin du chapitre ; mais nous voudrions déjà remarquer la chose suivante : l'étude des

1 Helman, D.C., *The Comet of 1577: Its Place in the History of Astronomy*, Columbia University Press, Columbia, 1944

2 Lerner, M.-P., L*e Monde des sphères, vol. II La fin du cosmos classique*, coll. L'Âne d'or, Les Belles Lettres, Paris, 2008, p.44.

comètes par Tycho se situe dès l'origine dans une perspective réfutative. Ce dernier a tout de suite compris que l'astronomie des comètes était une arme.

Une arme contre quoi ? Il faut ici procéder à une petite précision, et commencer par s'étonner. Que vient faire Tycho dans le récit que nous essayons ici de tracer ? Car Tycho n'est pas copernicien : nous ne nous attarderons pas ici là-dessus, mais il est hostile, pour des raisons à la fois physiques et cosmologiques, au modèle héliocentrique. Dès lors, Tycho s'inscrit dans notre histoire d'une façon à la fois périphérique et centrale : périphérique, car il ne s'inscrit pas dans la bataille copernicienne, et centrale parce que ce sont ses travaux qui ont initié la rupture entre domaine terrestre et domaine céleste. Rien de mieux que les mots de Michel Lerner pour présenter cette situation inédite de Tycho :

Insatisfait de la « *dispositio* » ptoléméenne du monde pour des raisons essentiellement mathématiques et architectoniques, mais rejetant également l'innovation copernicienne à cause de son absurdité physique et de ses conséquences d'ordre théologique, Tycho Brahe dit avoir cherché, puis trouvé, un système qui ne présenterait aucun de ces inconvénients. Le maintien d'une terre immobile au milieu du monde conservait intacte la physique reçue, la seule existante et la seule possible à l'époque, et ne risquait pas la censure des théologiens. Quant à la révolution des cinq planètes autour du soleil, lui-même mû autour de la terre, elle permettait de sauver toutes les apparences célestes. Ainsi le nouveau système faisait-il l'économie des épicycles inutiles des Anciens tout en respectant, avec son rejet de l'équant ptoléméen, le principe du mouvement circulaire uniforme, et en échappant à l'absurdité du mouvement annuel de la terre imaginé par Copernic.[1]

1 Lerner, M.-P., L*e Monde des sphères, op.cit.*, p.51.

La révolution astronomique est-elle d'abord une révolution cométaire ? Et par voie de conséquence, une révolution tychonienne – Tycho ayant été le fer de lance de la destruction du *cosmos* bi-régional ? On est en droit de se poser la question, tant il est vrai qu'en l'absence de la preuve reine, c'est l'astronomie des nouveautés célestes qui a apporté les preuves recevables d'un point de vue observationnel à l'encontre du *cosmos* aristotélicien.

B. Une révolution cométaire ?

Comme nous l'avons déjà dit, les comètes étaient à l'origine exclues du programme de l'astronomie copernicienne. Strictement aristotélicien sur ce point, Copernic les considère comme des météores, lors de la seule allusion qu'il y fait dans le *De Revolutionibus*, au *Livre I* :

> *Inversement, ne mérite pas la moindre admiration le fait que la région supérieure de l'air suive, comme ils le disent, le mouvement du ciel : c'est ce que montrent les astres qui apparaissent soudainement (je veux dire ceux que les Grecs nomme comètes ou astres barbus) dans cette région réservée par eux à leur naissance, et qui, à la façon des autres astres, se lèvent et se couchent.*[1]

On aperçoit dès lors une porte d'entrée pour l'astronomie des comètes dans le programme copernicien ; en effet, même si le choix d'une théorie cométaire plutôt qu'une autre ne préjuge pas nécessairement de l'adoption de telle ou telle hypothèse

1 Copernic, N., *De Revolutionibus orbium coelestium*, trad. M.-P. Lerner, A.-Ph. Segonds, J-P. Verdet, vol. II, coll. Science et humanislme, Les Belles Lettres, Paris, 2015, p.29.

astronomique, il n'est en revanche pas neutre d'un point de vue cosmologique, et particulièrement vis-à-vis de la représentation aristotélicienne du *cosmos*. Dès lors, objets astronomiques secondaires, les comètes peuvent contribuer à défaire la cosmologie aristotélicienne, et à ouvrir la voie à une cosmologie compatible avec l'astronomie copernicienne. Dit autrement, l'étude des comètes paraît constituer contre la science aristotélicienne et la science médiévale un instrument qui ne nécessite pas d'apporter la preuve du mouvement de la terre.

La question qui se pose alors est de savoir si l'astronomie des comètes a effectivement joué ce rôle dans l'histoire de la révolution scientifique.

C'est ce que Peter Barker et Bernard Goldstein se demandent, dans un article de 1985, intitulé « Le rôle des comètes dans l'astronomie copernicienne »[1] ; plus précisément, ils cherchent à tester l'hypothèse suivante : c'est l'astronomie des comètes qui, en conduisant à rejeter la cosmologie aristotélicienne, aurait véritablement accompli la révolution scientifique. Or, comme le notent les auteurs, si cette hypothèse était avérée, il conviendrait de prendre Tycho Brahe, plutôt que Copernic, comme figure centrale de cette révolution ; c'est en effet la preuve apportée par Tycho, dans le *De mundi aetheri recentioribus phaenomenis,* de la supralunarité de la comète de 1577 qui a donné donné une réponse à l'expérience cruciale que nous évoquions tout à l'heure.

Restituons brièvement le raisonnement de Barker et Goldstein dans cet article. Ils partent du modèle kuhnien de révolution scientifique et de demandent s'il peut s'appliquer à l'astronomie des comètes ; ceci revient à se demander si c'est dans cette astronomie que s'originent les anomalies, et donc la *crise* dont la révolution scientifique est issue. Dans cette hypothèse, les anomalies cumulées dans l'astronomie des planètes (notamment le

1 Barker, P. et Goldstein, B., *The Role of Comets in the Copernican Revolution*, Pergamon Press, Oxford, 1988.

problème de la précession des équinoxes et celui des phases de Vénus) n'auraient pas suffi à elles-seules à faire entrer l'ancienne science en crise ; en revanche, comme l'écrivent ces auteurs, il y a un phénomène qui, à la même époque, était déjà suffisamment connu pour contribuer à mettre en crise la représentation traditionnelle du monde : « la nature, et en particulier la localisation, des comètes »[1].

C. La démonstration de Barker et Goldstein

La thèse que défendent Barker et Goldstein dans cet article est la suivante : l'interprétation tychonienne – qu'ils ont eux-mêmes cherché à étayer - est erronée, et on n'est pas fondé à parler de révolution en ce qui concerne la théorie des comètes à la fin du XVIe siècle et au début du XVIIe. Leur raisonnement repose sur deux points, qui constituent deux éléments de continuité entre Tycho et les astronomes qui l'ont précédé.

1) Ils pointent l'existence d'une continuité dans laquelle s'inscrivent les travaux de Tycho Brahe sur la comète de 1577 ; cette continuité remonterait en premier lieu au XVe siècle, et aux travaux de Toscanelli et surtout de Regiomontanus ; ce dernier est en effet celui qui a élaboré une méthode de calcul de la distance des comètes à la terre au moyen de la parallaxe ; c'est cette technique qui constitue l'élément de continuité majeur dans l'astronomie des comètes entre le XVe et la période qui nous intéresse ; certes, les calculs qu'avait effectué Regiomontanus sur la comète de 1472 l'avaient conduit à la situer à une distance inférieure à celle de la Lune ; de ce point de vue, et si l'on excepte ses doutes quant à la constitution de la comète, rien chez Regiomontanus lui-même ne conduit à remettre en cause

1 Heidarzadeh, T., *A history of physical theories of comets, from Aristotle to Whipple*, Springer, New-York, 2008.

la cosmologie aristotélicienne. En revanche, se trouve mis au point quelque chose de tout à fait nouveau, c'est-à-dire la possibilité de déterminer, en combinant les observations et un outil mathématique, la localisation des comètes ; et de cette localisation, il est possible de tirer des conclusions d'ordre cosmologique ; auparavant, c'est au contraire à partir d'arguments d'ordre cosmologique que la localisation des comètes était déduite. Pour utiliser le vocabulaire kuhnien, la mesure de la distance des comètes, en gagnant en précision, était à même d'opposer à la science aristotélicienne une série d'anomalies, en montrant la supralunarité des différentes comètes.

2) Pour que l'on puisse parler d'une révolution scientifique, plusieurs conditions doivent être réunies. Comme nous l'avons dit, les auteurs s'appuient sur le modèle de Kuhn ; ils se demandent s'il est possible de le réaménager autour de l'astronomie des comètes et de la figure de Tycho. Encore faut-il pouvoir étayer ce réaménagement et montrer en quoi l'astronomie des comètes a provoqué une révolution scientifique. Que faut-il, dans le modèle kuhnien, pour que l'on puisse parler d'une révolution ? Nous n'allons pas entrer dans le détail de la théorie de Kuhn ; il y a révolution scientifique, c'est-à-dire substitution d'un paradigme à un autre après une période de crise, si et seulement si on peut observer une discontinuité dans les problèmes posés et les méthodes utilisées par les scientifiques. Barker et Goldstein passent en revue tous les critères qui permettent de caractériser une période de crise et sa résolution dans une révolution scientifique, et ils les appliquent à la théorie des comètes. Aujourd'hui, nous nous concentrerons sur l'un des aspects seulement, celui qui concerne la *méthode* avec laquelle peut être déterminée la distance entre la comète et la Terre,

la parallaxe. L'argument de Barker et Goldstein (et c'est le deuxième point), c'est que cette méthode certes novatrice n'introduit aucune discontinuité entre la théorie des comètes à partir du XVe siècle et la science médiévale. Pour ce faire, discutant notamment sur les travaux de Jane Jervis, dans son ouvrage *Cometary theory in fifteenth century Europe*[1], ils montrent que les travaux de Toscanelli d'observation et d'enregistrement de la position des comètes, avaient plusieurs précédents médiévaux, notamment chez ceux que l'on nomme les astrologues médicaux ; quant aux calculs de la parallaxe à partir de ces données d'observation, ils mettent en doute le fait que Regiomontanus aurait été véritablement le premier à théoriser la détermination de la parallaxe d'une comète ; ils exhibent notamment des écrits de Gersonide, au XIVe siècle, qui suggèrent de calculer la distance entre les comètes et le centre de la terre en utilisant la même procédure que celle utilisée pour calculer la distance Terre / Lune : en l'occurrence la parallaxe. Barker et Goldstein concluent dès lors que la méthode de Regiomontanus pour déterminer la parallaxe d'une comète constitue une généralisation de la méthode ptoléméenne de la parallaxe lunaire. Ils ne se contentent pas d'affirmer l'absence de discontinuité avec la science médiévale, ils écrivent que la méthode de Regiomontanus est, je cite, « identique » à celle que l'on trouve chez Gersonide.

On voit donc comment, réunissant ces deux points, les auteurs peuvent disqualifier l'interprétation tychonienne de la révolution copernicienne, et réfuter l'idée d'une révolution scientifique opérée par la théorie des comètes. En effet, Tycho a établi la supralunarité de la comète de 1577 en utilisant la méthode de la parallaxe cométaire ; cette

1 Jervis, J. L., *Cometary theory in fifteenth-century Europe*, Ossolineum, Varsovie, 1985.

méthode avait été élaborée au XVe siècle dans une parfaite continuité avec la méthode ptoléméenne et comme le prolongement d'intuitions dont on trouve la trace dans les siècles précédents ; cela conduit à conclure que le travail de Tycho ne saurait être regardé comme étant dans une discontinuité avec la tradition médiévale.

Nous ne discuterons pas ici le premier point, c'est-à-dire celui qui établit une continuité entre la théorie des comètes au XVe siècle et la science médiévale ; nous voudrions poser l'hypothèse suivante : il y a bien une discontinuité dans l'usage qui est fait de la parallaxe, qui se situe entre Regiomontanus et les astronomes qui ont étudié les comètes à la fin du XVIe siècle et au début du XVIIe. Même si l'outil – la parallaxe – est le même, la manière dont il est utilisé et le sens épistémologique qui lui est conféré sont différents.

Penchons-nous plus attentivement sur les observations et ses travaux sur la comète de 1577 qui ont établi la position céleste des comètes ; en termes kuhniens, ce moment constituerait donc le sommet d'une crise qui aurait été initiée par les travaux de Toscanelli et Regiomontanus. C'est en effet le moment où, je cite, « Tycho était capable d'établir au-delà du doute raisonnable que la théorie aristotélicienne était intenable et avec elle la distinction entre domaines terrestre et céleste »[1], et ce quelques années après ses observations sur la nova de 1572, qui l'avaient déjà incité à « abandonner l'idée d'une immutabilité des cieux ».

Tout d'abord les auteurs minimisent, semble-t-il, les transformations proprement techniques ; sans s'y attarder, ils parlent d'une « amélioration » apportée par Tycho dans

1 Barker, Goldstein, *op.cit*.

la détermination de la parallaxe. Le texte du *De mundi* semble dénoter un rapport beaucoup plus critique à la méthode publiée par Regiomontanus ; évoquant les nombreux moyens mis au point par ce dernier dans la détermination de la parallaxe et rendant hommage à son génie de mathématicien, il écrit : « tamen cum nulla earum mihi atisfacere videatur » [cependant, aucun de ceux-ci ne me paraissait satisfaisant] pour étudier la parallaxe de cette comète [celle de 1577] ; en effet Tycho pointe la nécessité, pour qu'elles soient applicables, d'une mesure extrêmement précise du temps, mesure à propose de laquelle « ceux qui sont versés à cette pratique savent à quel point il est aisé de se tromper » ; or, les distances que l'on cherche à mesurer sont telles qu'une petite erreur de mesure introduite dans les calculs peut induire une erreur majeure dans le résultat.

Ces considérations d'ordre technique, inhérentes aux difficultés de l'observation et de précision des mesures, nous invitent à réfléchir sur la *manière* dont il utilise la parallaxe pour établir la supralunarité de la comète de 1577 ; c'est là que l'on pense pouvoir repérer une discontinuité que ne relèvent pas Barker et Goldstein. Parmi les cinq preuves que fournit Tycho, la deuxième mérite une attention particulière ; elle s'appuie sur une comparaison des distances angulaires de la comète avec les étoiles voisines entre les moments où la comète est haut dans le ciel et les moments où elle est plus basse. Nous n'entrerons évidemment pas dans les détails techniques, mais ce que cherche à montrer Tycho, c'est que la parallaxe maximale mesurée était extrêmement faible ; ; dans sa « Brève note sur les parallaxes cométaires », Adam Mosley propose cette analyse : « avec cette méthode, Tycho ne cherchait pas à établir une parallaxe diurne précise pour la comète en différents points de sa trajectoire, mais plutôt que la différence qui peut être attribuée à la parallaxe était beaucoup plus faible que ce qu'elle aurait dû être si la comète était à une distance équivalente à la distance Terre / Lune. » Arrêtons-nous sur la façon dont est

conduit le raisonnement et sur ce qu'il nous dit de la méthode mise en œuvre par l'usage de la parallaxe ; Tycho a calculé la parallaxe qu'une comète située à la distance Terre / Lune *aurait eue* selon sa hauteur dans le ciel ; et c'est en comparant cette parallaxe théorique avec les parallaxes effectivement calculées pour la comète de 1577 (et qui étaient extrêmement faibles) qu'il a pu établir que la comète se trouvait bien au-delà de la Lune. Comme le suggère Mosley, la confiance que Tycho accordait à la parallaxe appliquée à la comète de 1577 ne résidait pas dans la possibilité de calculer avec précision l'éloignement de la comète par rapport à la terre, mais simplement dans la possibilité de montrer que la parallaxe était beaucoup trop faible pour que la comète se situe en-deçà de la lune.

Forts de cette conclusion, remontons quelques années dans l'histoire des nouveautés et regardons si nous ne trouvons pas de façon analogue cette structure d'observation cruciale.

II. La *Nova* de 1572

Au début de novembre 1572 s'alluma dans le ciel une étoile nouvelle ; son éclat était particulièrement vif, à tel point que certains ont pu l'observer de jour. Son éclat diminua ensuite petit à petit, sa couleur changea ; cet objet devint invisible à partir de mars 1574. Comme le raconte M.-P. Lerner[1], cette étoile a suscité une abondante littérature. Les traités composés alors « sous le choc de ce phénomène », comme l'écrit Lerner, mélangeaient des considérations proprement astronomiques et des réflexions astrologiques. Tycho Brahe rédigea deux traités sur cette étoile nouvelle, dont le premier en 1573, le *De Stella nova* : dans ce traité, il tire les conclusions des observations réalisées durant les six premiers mois de visibilité de cette étoile dans le ciel (étoile qui brille encore au moment où est rédigé ce texte). Les mesures que Tycho effectue au compas attestent une absence de parallaxe. Le raisonnement de Brahe est le suivant : en conséquence de cette absence de parallaxe, il faut conclure que la nova ne se situe ni dans la région sublunaire, ni dans la région planétaire.

A. L'étoile ne se trouve pas dans la région sublunaire.

Si l'astre s'était trouvé « sous la concavité de la sphère de la Lune », quelle aurait dû être sa parallaxe ? La distance minimale de la Terre à la Lune, selon Copernic, est de 52 rayons terrestres ; si la nova était située à cette distance, alors elle devrait présenter « une diversité d'aspect » de 58,5' ; plus basse se situerait, le cas échéant, l'étoile, plus cette diversité d'aspect aurait dû être importante. L'absence de cette diversité d'aspect

1 Lerner, M.-P., *Le Monde des sphères, vol. II La fin du cosmos classique*, coll. L'Âne d'or, Les Belles Lettres, Paris, 2008, pp 21-39.

s'explique donc nécessairement par une distance démesurément importante par rapport au rayon terrestre ; en conséquence de quoi l'étoile se situe au moins au niveau des plus hautes planètes.

B. L'étoile ne se situe pas dans les sphères planétaires.

Dans les six mois qui ont suivi son apparition en mai 1573, la position de l'étoile au sein de la constellation de Cassiopée n'a pas varié d'une minute de degré. Tycho effectue alors le raisonnement suivant, par l'absurde en quelque sorte : en supposant que la nova se situait dans la plus haute des sphères, celle de Saturne, alors elle *aurait dû* effectuer le même mouvement que l'orbe de Saturne. Ce mouvement n'ayant pas été observé, voici ce qu'en conclut Tycho :

C'est pourquoi cette étoile nouvelle ne se situe ni dans la région élémentaire sous la Lune, ni dans les orbes des sept planètes, mais sur la huitième sphère parmi les étoiles fixes. CQFD.[1]

Regardons un instant de plus près la façon dont Tycho lui-même présente sa démonstration.

Le contexte argumentatif est le suivant : après avoir réfuté la détermination de cet objet en tant que comète, ainsi que l'avaient fait les Allemands, Tycho explicite les choix méthodologiques qu'il a effectués pour déterminer la distance entre l'étoile et la Terre. Il

1 *De nova stella*, Tychonis Brahe Dani opera omnia, edidit J .L.E. Dreyer, t.I, pp.1-30, 1913 ; trad.fr. J.-P. Verdet, in *Astronomie et astrophysique*, coll. Textes essentiels, Larousse, Paris 1993, p.251.

explique dans un premier temps avoir renoncé à la technique du calcul par la hauteur *minima* et *maxima* de l'étoile, en raison du manque de précision de la détermination de l'instant où l'objet franchit le méridien :

> *Je n'ignore pas, en effet, qu'au moyen de la hauteur maxima et minima de l'étoile, pourvu que l'on connaisse auparavant la hauteur du pôle, au moyen d'un quadrant, on peut obtenir la même chose ; cependant, une erreur peut très facilement se commettre de cette façon, tant parce que la hauteur tout à fait précise du pôle à la minute près (dont on a besoin ici) est difficile à connaître, et en raison de certaines exigences quasi impossibles, que parce que l'instant où l'Etoile même franchit le méridien et où elle se trouve à sa hauteur maximale ou minimale, est difficile à établir avec l'exactitude requise.*[1]

En effet, une telle technique est fiable à la condition que l'on puisse déterminer avec la plus parfaite exactitude l'instant exact de sa culmination, ce qui nécessiterait des instruments d'une précision dont ne disposait pas Tycho, comme il le fait remarquer immédiatement après[2].

Voyons comment Tycho présente la méthode et les résultats de son calcul de distance :

- La méthode :

> *Nous, en effet, au moyen d'une observation diligente, nous avons déterminé que cette étoile, tant au voisinage de l'horizon qu'à celui du zénith, avait toujours exactement la même distance par rapport à Schedir dans Cassiopée (avec laquelle cette étoile franchit presque le méridien), comme on peut le voir plus largement dans l'ouvrage lui-même. Par suite, de nécessité, elle ne présentera aucune parallaxe; par conséquent, la certitude mathématique exige que cette étoile se trouve non pas dans l'orbe élémentaire sous la Lune (comme le croient ces [auteurs]), mais beaucoup plus loin, dans le ciel lui-même. J'ai effectué cette observation au moyen d'un instrument grand et précis, fabriqué d'une manière particulière, pour que l'on puisse, grâce à lui, rechercher les distances entre les étoiles avec beaucoup plus de certitude et d'exactitude qu'avec le rayon astronomique ou avec n'importe quel autre instrument consacré*

1 Tycho Brahe, *De nova stella*, tr.fr. in o*p.cit.*, pp. 252 253
2 *Ibid*. p.252

jusqu'à présent à cette tâche. Car tous ces instruments, en raison de divers obstacles (particulièrement en raison de la réalisation, difficile à faire, d'un angle parfaitement droit, pour qu'il puisse durer quelque peu), nous ont toujours paru suspects. Je n'ignore pas, en effet, qu'au moyen de la hauteur maxima et minima de l'étoile, pourvu que l'on connaisse auparavant la hauteur du pôle, au moyen d'un quadrant, on peut obtenir la même chose; cependant, une erreur peut très facilement se commettre de cette façon, tant parce que la hauteur tout à fait précise du pôle à la minute près (dont on a besoin ici) est difficile à connaître, et en raison de certaines exigences quasi impossibles, que parce que l'instant où l'Etoile même franchit le méridien et où elle se trouve à sa hauteur maximale ou minimale, est difficile à établir avec l'exactitude requise. Ajoute que, pour cette observation, il faudra un quadrant d'une taille extraordinaire qui pourra, par sa dimension, indiquer non seulement chaque minute mais aussi certaines divisions des minutes, tel que celui qu'il y a trois ans nous avons nous-même fait construire près d'Augsbourg dans le jardin de P. Hainzell, Patricien et Consul de cette République: le demi-diamètre de ce quadrant dépassait quatorze coudées.[1]

- Les résultats :

par cette méthode [...] j'ai déterminé avec certitude que cette étoile est éloignée de nous bien au-delà de la sphère de la Lune et que sa position est dépourvue de toute parallaxe, alors que pourtant, elle était éloignée de la Terre de seulement 15 rayons terrestres, comme c'est leur opinion, dans le cercle, dans le cercle vertical, quand elle est voisine de l'horizon, cela introduit une parallaxe de 3° plus 1/3 ; et si elle était de 12 (comme d'autres le veulent) cela produirait une parallaxe de 4 ¼° ![2]

Le raisonnement est le même que précédemment, et on voit clairement ici qu'il y a un parallélisme entre le choix de l'outil pour le calcul de la parallaxe cométaire, et le calcul de la parallaxe de la *nova*. On a une structure en *« aurait dû »* : à l'instar de ce qu'il fera à propos de la comète de 1577, il élimine les méthodes qui, pour établir une position exacte sont vulnérables à l'inexactitude des relevés observationnels ; il privilégie la méthode qui, mettant en rapport les données observées à la parallaxe théoriquement et impérativement attendue par l'hypothèse adverse situent l'objet dans le cosmos par rapport à des objets connus, plus qu'elle ne le positionne isolément.

1 *Ibid*., pp.251-252.
2 *Ibid*. p. 252.

C. L'interprétation du résultat

Voici ce qu'écrit Michel Lerner, en commentaire de ce résultat : « La doctrine reçue concernant le ciel voulait que rien de nouveau ne puisse être engendré ou périr en lui (catégorie du changement substantiel), et elle rejetait aussi l'idée que les astres puissent varier en grandeur ou en luminosité[1]. C'est pourquoi Aristote avait tenu que les comètes et les météores ignés, en tant que phénomènes temporaires et changeants, ne pouvaient appartenir qu'à la région des éléments. »[2] Lerner discute quelques pages plus loin la légitimité qu'il y a à conclure de ce fait-là à l'immuabilité des cieux. Nous renvoyons à ses analyses très fines et ne nous attarderons pas là-dessus ; la seule chose que nous retiendrons est l'effort déployé dans le travail de Tycho pour prouver la supralunarité.

Il est donc clair à présent que l'usage qui est fait de la parallaxe a subi une transformation qui n'est pas exclusivement d'ordre technique, mais également épistémologique, dans la manière dont elle a été appliquée, au XVIe siècle, aux nouveautés célestes. Une remarque s'impose ici : l'usage de la parallaxe, en privilégiant la comparaison entre des distances, plutôt que leur détermination absolue, s'inscrit dans l'idéal de systématisation que nous avons dégagé : non pas une systématisation *a priori* par la mise en évidence de la nécessité d'une hypothèse, mais par la mise en rapport des distances elles-mêmes. Les positions sont appréciées relativement les unes *aux* autres, et non séparément les unes *des* autres.

1 Tycho utilise un autre argument, tiré de ce fait observationnel, pour établir la supralunarité de l'étoile nouvelle.

2 Lerner, M.-P., *Le Monde des sphères, vol.II, op.cit.*, p.24.

Allons voir maintenant ce qu'il en est pour l'autre parallaxe, l'absence de toutes les observations, le caillou dans la chaussure des copernicien.

III. La parallaxe des fixes

L'absence de parallaxe annuelle des fixes constituait, et constituera jusqu'en 1838, l'argument massue contre le système copernicien. Mais cela présuppose une chose qui n'est en réalité pas anodine : il faut pouvoir utiliser la technique de la parallaxe en terrain aristotélicien, c'est-à-dire qu'il faut pouvoir, dans un même raisonnement, et dans un même calcul, embrasser des objets qui appartiennent au domaine terrestre, et des objets qui appartiennent au domaine céleste. A quelles conditions cela est-il possible.

L'analogie entre la Terre et les cieux

Dans son ouvrage *La Terre immobile*[1], Jean-Jacques Sczerciniarz remarque à fort juste titre la chose suivante : dans la perspective aristotélicienne, la finitude des distances est la condition de rationalité de la cosmologie : en effet, sans cette finitude, aucune mesure de distance ne pourrait être effectuée ni servir d'argument en faveur de telle ou telle configuration du monde. À la limite (mais le propos de Sczerciniarz ne va pas jusque-là), dans la cosmologie traditionnelle, on ne peut rien dire d'un monde infini ; un monde infini est une notion qui pose problème non pas parce qu'elle serait incompatible avec les observations mais parce qu'à la manière d'une contradiction on n'en pourrait rien tirer ; comme l'écrit Sczerciniarz, « la finitude de l'Univers [...] est une condition de la détermination de parcours et donc de sa rationalité ».[2]

La finitude de l'univers n'est donc pas un fait mais la condition d'intelligibilité des faits cosmologiques ; pour le dire dans un vocabulaire kantien qu'il fait sien dans les pages qui suivent, nous dirions que cette finitude n'est pas empirique mais transcendantale.

1 Szczerciniarz, J.-J., *La Terre immobile, Aristote, Ptolémée, Husserl*, coll. Science histoire et société, Puf, Paris, 2003.

2 *Op.cit.*, p.173.

Or, ce qui est particulièrement intéressant pour notre propos, c'est que J.-J. Sczerciniarz tire de la finitude comme condition de possibilité de toute connaissance cosmologique l'existence d'une analogie entre la Terre et les cieux – nous comprenons que cette analogie est seulement implicite, et qu'elle s'insère dans la division du monde entre région terrestre et région céleste. Voici comment il montre l'existence d'une telle analogie.

Le monde étant fini, le mouvement de la Terre, s'il existait, produirait une parallaxe, c'est-à-dire une modification des distances angulaires entre les étoiles au cours de l'année. Or, on n'observe pas une telle parallaxe ; par conséquent (et toujours sous l'hypothèse de la finitude du monde), la Terre est au repos.

Il fait alors remarquer la chose suivante : « Ce raisonnement, pour être concluant, suppose d'abord une analogie entre l'observation terrestre et l'observation des cieux. Si les colonnes d'Hercule changent de perspective quand nous passons autour d'elles, comment n'en serait-il pas de même de la perspective de la Grande Ourse si nous tournions autour d'elle suffisamment près pour expliquer le mouvement de cieux » ?[1] Et plus loin : « La finitude de l'Univers [...] suppose donc une certaine analogie entre les deux mondes, celui d'en bas et celui d'en haut. Et donc une communauté entre la Terre et le reste de l'Univers »

Autrement dit, ce qui est présupposé par l'argument de la parallaxe, c'est l'idée selon laquelle il y a une conservation des rapports entre mouvement réel et mouvement apparent sur la Terre et sur les Cieux.

Expliquons-nous : l'affaire est, pour le dire simplement, optique, non pas au sens des lois réglant les mouvements des rayons lumineux, mais au sens des lois régissant la vision. Si un observateur se déplace autour des colonnes d'Hercule, alors *pour lui*, c'est-à-dire *en*

1 Szczerciniarz, J-J., *La Terre immobile, op.cit.*., p.172.

apparence, les colonnes vont se déplacer à la fois par rapport à lui, et les unes par rapport aux autres. Un mouvement réel de l'observateur terrestre produit un déplacement apparent des objets terrestres d'observation. Par analogie, on en déduit – implicitement – qu'il en est de même lorsqu'un observateur terrestre regarde des objets célestes. Si la Terre était en mouvement, alors l'observateur terrestre observerait un mouvement apparent des étoiles les unes par rapport aux autres.

Mais il faut ici noter un point fondamental : l'idée d'une analogie entre la Terre et les cieux dont il est question ici ne constitue en rien une anticipation de l'homogénéité entre domaine terrestre et domaine céleste, et ce pour au moins deux raisons.

1) La première raison est que cette analogie ne porte pas sur la nature des choses mais sur les positions apparentes des objets les uns par rapport aux autres. La mise en rapport est une mise en rapport de positions apparentes ; on ne s'inscrit donc ici en aucune façon dans une conception de la relativité du mouvement, mais dans un simple relativisme des apparences, relativisme rudimentaire que saisit l'homme du commun lorsque, par exemple, il voit le quai bouger alors c'est le bateau qui s'est mis en mouvement ;

2) Ensuite, et c'est un point à notre sens majeur qui permet de contenir l'analogie entre la Terre et les cieux dans les strictes bornes posées par l'hétérogénéité entre domaine terrestre et domaine céleste, ensuite donc, il n'y a analogie dans la vision *que* dans la mesure où il s'agit d'un observateur qui, dans les deux cas, se situe au même endroit, c'est-à-dire sur Terre. À aucun moment il n'est question que l'observateur puisse se situer en dehors du domaine terrestre ; par conséquent, s'il y a bien une analogie entre la vision terrestre et la vision céleste, elle repose

> sur une analogie relative aux objets vus et non au sujet voyant : à l'instar des objets terrestres, les objets célestes présentent un mouvement relatif apparent lorsque l'observateur terrestre se déplace. Mais ceci est bien loin de l'opération par laquelle l'esprit, et en l'occurrence de l'imagination, effectue un déplacement fictif de l'observateur dans les cieux. L'analogie entre le ciel est les cieux est une analogie *objective* et non *subjective*, au sens où le sujet est toujours-déjà constitué comme sujet terrestre, et donc comme sujet *immobile*. C'est du point de vue de ce sujet immobile terrestre que les corps apparaissent à telle ou telle position, affectés de tel ou tel mouvement.

Ces deux éléments nous conduisent à la conclusion suivante : Szczerciniarz écrit que le concept de cosmologie d'Aristote « est essentiellement la constitution des conditions de la rationalité du Tout par l'insertion en elles de l'auteur de cette construction »[1]. Certes, en effet, la réfutation du mouvement de la Terre par l'absence de parallaxe observable suppose que soient prises en compte les conditions subjectives de l'observation, et, partant de là, la conscience que la description du monde contient une projection des structures du sujet décrivant ce monde. Cela dit, et c'est une distance majeure avec ce que nous allons voir par la suite : certes les caractéristiques du sujet sont consciemment introduites dans l'objet décrit, mais l'objet contient le sujet : l'observateur a une *place* déterminée, à la surface de la Terre ; et cette place est un lieu différencié des autres lieux. L'usage de la parallaxe pour prouver l'immobilité de la Terre se fait donc au sein d'un monde différencié, qui préexiste à l'observation elle-même et qui en constitue la condition – à la fois la condition de possibilité et la condition dans laquelle cette observation est effectuée.

1 Szczerciniarz, J-J., *La Terre immobile, op.cit.*., p.173.

Il y a donc deux conditions qui permettent l'usage de la parallaxe dans un tel contexte, qui portent respectivement sur le monde dans lequel se situent les objets mesurés et sur le lieu de l'observation. Tout d'abord, le monde est fini (sans quoi l'argument de la parallaxe n'est pas probant) ; ensuite, l'observateur est terrestre. L'immobilité de la Terre a donc un statut particulier : elle est bien ce qui est prouvé par l'absence de parallaxe ; elle est en même temps la condition dans laquelle l'argument de la parallaxe est valide.

N'y a-t-il pas, alors, circularité de la démonstration, au sens où l'immobilité de la Terre serait à la fois la chose à démontrer, et la condition de validité de la démonstration ? Autrement dit, la centralité de l'observateur est présupposée dans l'utilisation de l'outil qui permet d'établir l'immobilité de la Terre.

C'est précisément avec cet élément là que l'astronomie post-copernicienne semble être en rupture. On connaît bien la solution proposée par Copernic afin de balayer la réfutation empirique par l'absence de parallaxe : augmenter la taille de l'univers dans des proportions inouïes, en éloignant démesurément la sphère des fixes. Nous ne nous attarderons pas ici sur les détails de cette hypothèse, et de ses conséquences[1]. Nous retiendrons simplement, pour les besoins de notre réflexion, la question qui a opposé, entre autres Kepler à Bruno, sur l'opportunité de dissoudre la sphère des fixes.

En effet, comme le note Michel Lerner[2], Giordano Bruno, dans le *De l'infinito, universo et mundi*, publié à Londres en 1584, « détruisait en une vision grandiose, et d'un même mouvement, non seulement la sphère des planètes, mais aussi la sphère des étoiles fixes et les cieux anastres »; pour reprendre les mots de Bruno lui-même, il avait « dépassé l'air,

1 Voir à ce sujet notamment Lerner,. M.P., *Le Monde des sphères, vol. II La fin du cosmos classique*, coll. L'Âne d'or, Les Belles Lettres, Paris, 2008, et Mehl, E., « De Copernic à Descartes : l'Empyrée, la parallaxe stellaire et le mouvement de la Terre », Vrin,« Revue des sciences philosophiques et théologiques » 2015/2 Tome 99, pages 239 à 265.

2 Lerner, M.-P., *Le Monde des sphères, vol.II, op.cit.*, p.77.

pénétré le ciel, parcouru les étoiles, franchi les limites du monde, fait s'évanouir les murailles imaginaires des première, huitième et neuvième, dixième et autres sphères qui auront pu être ajoutées sur le rapport de vains mathématiciens et par l'aveuglement des philosophes vulgaires ».

Cette audace, cette puissance visionnaire qui font de Bruno un penseur tellement à part dans l'histoire de nos représentations, ne devait pourtant pas recevoir l'accueil auquel on aurait pu s'attendre. Les destructeurs de sphères n'ont en effet pas admis que l'on puisse s'en prendre ainsi à la dernière d'entre elles ; là encore, Lerner écrit les choses très clairement : « Les réactions négatives de Tycho Brahe et de Kepler au 'message' brunien sont des rappels à l'ordre significatifs : ni la disparition des sphères planétaires, ni l'héliocentrisme copernicien, ne légitimaient d'emblée le rejet de l'enveloppe ultime de notre monde et l'échappée vertigineuse dans les espaces sans limite d'un univers positivement infini. »[1] On pourrait s'étonner du privilège accordé à la sphère des fixes, et déplorer le manque de cohérence de ceux qui voulaient, après la destruction du monde des sphères, accorder une existence dérogatoire à cette dernière. En réalité, du point de vue même de la cohérence épistémique, la destruction des sphères planétaires n'impliquait pas, en droit, la disparition de la sphère des fixes : la fonction de cette dernière ne s'était en effet jamais limitée à la motricité des astres – autrement dit, elle n'était pas simplement un véhicule, mais également la limite ultime du monde visible, et l'enfermement de ce dernier dans une sphère était la marque de sa perfection.

A. La banalité du monde

1 *Ibid*. p.78.

Rien d'étonnant donc à ce que Kepler, dont l'invention de la physique céleste est née de la volonté de rendre raison d'un monde parfait, refusât la destruction brunienne de cette ultime sphère et l'ensemble de ses conséquences cosmologiques. L'un des points de crispation concernait le caractère exceptionnel ou banal de *notre* monde dans l'univers. Bruno tenait, non sans cohérence, que si l'univers est infini, alors il y a en lui autant de mondes qu'il y a d'étoiles fixes ; notre monde ne serait qu'un parmi tant d'autres, sans caractère qui permît de le distinguer. Comme l'écrit Lerner, copernicien convaincu, Kepler est choqué de ce qu'il tient pour un abus de l'autorité du maître polonais : ce dernier ne parle en effet que de *l'immensité du ciel*, ce qui ne saurait en aucune façon légitimer une quelconque élucubration infinitiste. L'immensité de l'univers ne banalise en aucune façon notre monde au sein de cet univers, au contraire : cet élément baroque du cosmos copernicien – la béance entre Saturne et les fixes – est justement une signature qui le distingue ; cet espace immense exclut *a priori* que d'autres étoiles puissent être également des centres et, par conséquent, notre monde est la région principale du monde entier. Notre immensité exclut celle des autres ; mais il faut noter que si, entre deux immensités l'une est de trop, c'est que la finitude du monde est posée *a priori* et rend, *a priori*, le monde trop petit pour que chaque étoile puisse y loger son monde.

L'un des désaccords de Kepler avec Bruno, qu'il connaît essentiellement de seconde main, porte sur l'argument brunien suivant : le monde offrirait la même apparence quelle que soit l'étoile depuis laquelle on l'observerait. Ce qui nous intéresse ici n'est pas la validité de l'argument, mais le fait que, dans le *De Stella nova*, Kepler reprend à son compte l'expérience de pensée afin de contredire Bruno.

Quelle apparence aurait le ciel pour un observateur situé sur une des trois étoiles de seconde magnitude du Baudrier d'Orion ? La réponse de Kepler est la suivante : le ciel tout

entier aurait une apparence différente et, entre autres changements, l'horizon serait saturé d'étoiles, de tailles si grosses qu'elles paraîtraient se toucher. Ce qui serait perdu depuis ce point de vue d'observation, c'est l'uniformité de la répartition des étoiles dans l'univers.

Quelle est la conclusion qui peut être tirée de tout cela ? Revenons encore à l'analyse qu'en propose Michel Lerner : pour Kepler, « relève de l'observation certaine la finitude de notre monde vers l'intérieur, avec son cortège infini de planètes autour du Soleil et l'immense vide que l'absence de parallaxe stellaire impose de placer entre Saturne et les fixes »[1].

Nous tirerons de cela deux conclusions, qui nous apparaissent montrer la distance avec ce que nous avons précédemment pointé concernant l'usage ancien de la parallaxe :

1) Tout d'abord, il s'agit ici de faire une lecture plus fine de la révolution astronomique que celle que l'on peut raconter au premier abord : la fin de l'immuabilité des cieux entraîne certes l'abolition de la distinction entre monde terrestre et monde céleste, et confère à la Terre le statut banal d'une planète. Mais au sein de cette position anti-sphériste[2], se maintient clairement une ligne de partage entre ceux qui acceptent de banaliser le système solaire comme un monde parmi les autres au sein de l'univers, et ce qui maintiennent sa centralité.

2) Dans l'usage moderne de la parallaxe, la position du sujet est une position parmi les autres, et l'effet de parallaxe est produit non pas du fait de la centralité de l'observateur, mais des positions relatives du sujet et de l'objet de l'observation.

1 *Ibid.*, p.127.

2 Nous ne rentrerons pas ici dans le détail des étapes qui ont conduit chacun des auteurs que nous citons à accepter, avec plus ou moins d'enthousiasme, la destruction du bel édifice de sphère qui jadis coiffait notre monde.

Le caractère quelconque de la position du sujet constitue un changement radical par rapport à ce que nous avons vu précédemment.

EN nous tournant maintenant vers Maestlin, nous allons tenter d'apprécier une autre transformation, dans la conception plus générale de ce qu'est l'expérience.

B. Maestlin et l'expérience comme mesure propre des calculs rationnels

Les seuls traités que Maestlin ait publié sur les nouveautés célestes sont ceux qu'il a rédigés sur la nova de 1672 et sur la comète de 1577 ; ces deux écrits lui ont valu l'admiration de Tycho, malgré leur option copernicienne. La spécificité de ces traités – spécificité qui les distingue de ceux que Maestlin publiera sur les comètes de 1618-1619 – réside en ce qu'il y privilégie une approche exclusivement mathématique et astronomique, et plus exactement même *quantitative* : la recherche a pour objet essentiel de déterminer l'éloignement du phénomène en question par rapport à la Terre, ainsi que son éventuel mouvement (pour le cas de la comète). Le résultat principal est bien connu, et Maestlin arrive de ce point de vue à la même conclusion que Tycho et Gemma : dans la mesure où la comète ne présente aucune parallaxe observable, la comète doit nécessairement se situer dans les cieux, et non dans la région élémentaire.

Ce résultat va évidemment à l'encontre des principes fondamentaux de la cosmologie copernicienne, et il est évident qu'il fut, à ce titre, refusé par les tenants de cette dernière. Nous ne commentons pas de nouveau ceci, mais nous voudrions insister sur le lien qui est établi, ici, entre des données strictement quantitatives (mesure d'une parallaxe en l'occurrence) et des considérations cosmologiques. Comme l'a noté Miguel A. Granada, le point essentiel est que ce faisant, Maestlin revendique pour les astronomes, c'est-à-dire

pour les mathématiciens, le droit de produire, à partir de prémisses mathématiques (ou, si l'on préfère, à partir de leurs hypothèses), des conclusions cosmologiques.

Cette revendication forte du mathématicien à l'endroit de la philosophie naturelle et de l'aristotélisme se fait sur le fond d'un agnosticisme quant à la composition matérielle des comètes. Mieux encore, et là est toute la difficulté, elle se fait dans une ignorance assumée quant aux causes de l'apparition de la comète ; mieux, dans la mesure où les comètes ne semblent pas soumises à la loi naturelle, les raisons théologiques de son apparition sont privilégiées, sans pour autant qu'elles soient accessibles à la connaissance humaine :

> *Ex horum genere certe prasens cometa quod sit, dubium non est : siquidem ipse cunctas omnium Philosophorum argutas speculationes flase et mirifice ludificat. Itaque lubens descendo in eorum sententiam, qui Cometas in Naturae secretis reponendos, et opera occulta non Naturae, sed Dei esse asserunt.*[1]

Il nous faut dorénavant examiner les présupposés de cette revendication cosmologique du mathématicien, de l'astronome-mathématicien. Ce que nous voudrions essayer de montrer ici, c'est que la pertinence cosmologique de la mesure présuppose une reconfiguration du statut de l'observation et de la notion même d'expérience. Autrement dit, la possibilité de tirer des conclusions cosmologiques des mesures de distance ne ressortit pas d'une simple transformation du modèle cosmologique existant pour le rendre

1 In Granada, M.A., Boner P.J., Tessicini D., *Unifying Heaven and Earth : Essays in the History of Early Modern Cosmology*, Edicions Universitat de Barcelona, Barcelone, 2016.

compatible avec les données d'observation ; ce sont les données d'observation qui, d'une certaine manière, doivent être rendues compatibles avec l'outil de mesure.

Ceci apparaît très clairement dans le texte que Maestlin rédigea, sans jamais le publier, sur la nova de 1604[1] ; voici ce que l'on peut y lire (nous restituons un passage suffisamment conséquent pour prendre la mesure de ce qui s'y joue) :

Que devrais-je dire quant à la localisation de cette étoile nouvelle dans le cosmos ? L'école péripatéticienne nous a jusqu'ici enseigné que tous les météores sont nés et apparus dans la région des éléments, dans la région supérieure de l'air ; et pour certains, cette opinion doit être maintenue coûte que coûte. Pour cette raison, certains d'entre eux ont consacré leur puissance et leur pouvoir de pensée à localiser l'étoile de 1572 et les comètes des dernières années dans cette même région.

Mais beaucoup d'entre eux se sont vus objecter par les observations des mathématiciens que l'étoile de 1572, ainsi que les comètes de 1577, 1580, 1582, 1585, 1590, 1593 et 1596, étaient dépourvues de toute parallaxe perceptible, et que pour cette raison, en se référant à la doctrine de la parallaxe (la seule qui dans la mesure des distances, sans contestation ni contradiction possible, ne se trompe jamais ni n'induit jamais en erreur, et qui pour cette raison doit être sans conteste tenue pour la règle de vérité), il est tout à fait certain qu'aucune d'entre elles n'a pu apparaître dans la région élémentaire, mais que toutes sont apparues dans la région éthérée des cieux, et qui plus est bien au-delà de la Lune, et au-delà de tout orbe avec laquelle la Terre peut être comparée quant à la grandeur. En conséquence de quoi, après qu'ils ont appris, à partir de véritables fondements, qu'eux-

1 Maestlin, texte non publié sur la Nova de 1604, in Ganada, M.A., Boner, P.-J., « Michael Maestlin and his unpublished Treatise on the Nova of 1604 », Journal for the History of Astronomy, 2014.

mêmes ou quelques autres estimaient avoir obtenu quelque parallaxe à partir de leurs propres calculs, ils se sont égarés loin de cette doctrine.

Cependant, pour finir, ils commencèrent à se montrer moins hostiles ; et étant devenus plus charitables pour la région éthérée, dont ils avaient bêtement mais avec insistance dénié la puissance, comme si rien de nouveau ne pouvait y naître ou s'y produire, ils se ravisèrent, confessant que dans la recherche de la vérité, ce n'est pas ce dont la raison nous persuade, ni l'opinion commune (qui, à moins qu'elle ne repose sur des fondements solides, ne diffère pas, la plupart du temps, de l'opinion fallacieuse de la multitude ignorante), mais ce que l'Expérience, en tant que mesure adéquate des calculs rationnels, nous transmet, qui doit être pris en considération.

Cela ne signifie pas que chacun devrait croire que de cette manière, les anciennes sciences doivent être détruites, comme si en poursuivant cette voie nous étions finalement en train d'en chercher une nouvelle. En effet, les sciences vraies et anciennes ne se trouvent pas déstabilisées, encore moins renversées ; cependant, les opinions erronées qui se trouvent en elles, et qui jusqu'à présent ont été défendues comme vraies, sont retirées et enlevées, et à leur place est installée l'indubitable Vérité. De plus, par la chaîne commune de la Vérité, toutes les doctrines sont élaborées et acceptées, et les sciences, les plus éminentes ainsi que les plus habiles, sont reliées, parce que toutes sont établies et viennent de Dieu, qui est la vérité elle-même. Et moi-même je me suis tourné vers les observations pour déterminer la localisation de cette étoile dans le cosmos.[1]

1 Maestlin, *De nova stella*, in *op.cit.*

En premier lieu, on remarquera qu'à l'instar de Rheticus, Maestlin place son entreprise scientifique non pas sous le sceau de la destruction de l'ancienne science, c'est-à-dire de la science aristotélicienne, mais bien plutôt dans la continuation d'une œuvre de vérité que les Anciens ont entreprise et qu'il convient, en l'occurrence, d'améliorer à la lumière des observations ; de ce point de vue-là, les auteurs auxquels ils font référence, en refusant les enseignements de l'expérience, rompent le processus historique de découverte de la vérité.

Le deuxième élément à noter est que les observations des nouveautés célestes, ainsi énumérées dans le deuxième paragraphe, constituent bien une série d'*instantiae crucis* mettant à l'épreuve le caractère inaltérable de la région supralunaire. Les éléments erronés des sciences anciennes sont systématiquement éliminés par des observations qui, inexorablement, sont remplacées par « l'indubitable Vérité ». On ne saurait dire avec plus d'enthousiasme le refus du scepticisme en astronomie.

Mais ce qui retiendra ici surtout notre attention, c'est la fin du troisième paragraphe. Les défenseurs de l'astronomie ancienne commencèrent à se montrer « moins hostiles », il se rangèrent, pour la recherche de la vérité, à l' « expérience ». Comme nous l'avons déjà vu lorsque nous traitions de la question des hypothèses, le recours à l'observation ne signe pas un défaut de la science astronomique mais la nécessité que les hypothèses se construisent à partir des observations. Mais une formule de Maestlin retient ici notre attention : l'Expérience est définie comme mesure propre des calculs rationnels. Comment interpréter cela dans le contexte de notre réflexion ? Il s'agit de comprendre ici, à notre sens, que l'expérience ne parle que dans le calcul, c'est-à-dire, puisque ces calculs sont

spécifiés comme *rationnels*, dans la *mise en rapport* des distances les unes avec les autres. L'Expérience dont parle Maestlin n'est pas composé de données observationnelles brutes, mais *mesurées* - c'est-à-dire toujours-déjà mises en rapport les unes avec toutes les autres, de telle sorte que le phénomène qu'étudie l'astronome est constitué par la mise en rapport des observations. Ce que Maestlin nomme l'Expérience est donc constituée par les rapports qu'établit l'astronome dans ses hypothèses. Où l'on retrouve la description que fera Kepler de la confection des hypothèses dans le *Contra Ursum* : l'astronome part des observations pour établir ses hypothèses, mais les hypothèses constituent les phénomènes astronomiques par la mise en rapport, dans les calculs rationnels, des observations.

C'est donc, en réalité, le rapport à l'observation qui est reconfiguré au détour de cette réflexion sur la parallaxe. Dans l'astronomie pré-copernicienne, l'astronome court après les phénomènes, et rajoute des hypothèses, c'est-à-dire, pour le dire trivialement, des cercles, quand l'observation échappe aux hypothèses qu'il avait déjà établies. L'hypothèse court après les phénomènes. Dans l'astronomie copernicienne, l'hypothèse est constitutive du phénomène, car c'est dans la mise en rapport systématique des observations que se constituent, conjointement, théorie et expérience. La révolution copernicienne réside donc bien, ici, dans la précession de la théorie sur l'expérience.

IV. La parallaxe et le pouce

Ce que nous voudrions montrer maintenant, c'est la raison pour laquelle il est impossible, philosophiquement, de faire un usage cohérent de la parallaxe sans admettre que l'hypothèse qu'elle établit est réelle, et non pas une simple manière de décrire les apparences. Autrement dit, il n'y a pas d'usage phénoméniste cohérent de la parallaxe.

Pour quelles raisons ? Comme nous l'avons déjà esquissé ci-dessus (et par différence d'avec toute autre technique de mesure reposant sur des phénomènes optiques, comme le gnomon), la parallaxe présuppose que soit admise la différence entre réalité et apparence (position réelle et position apparente ; mouvement réel et mouvement apparent). Mais cet argument est insuffisant, car on pourrait, dans une veine sceptique, arguer qu'aucune réalité sous-jacente aux apparences ne vient, dans le fond, valider la pertinence de la parallaxe du point de vue de la réalité : si l'usage de la parallaxe présuppose la distinction entre apparence et réalité, cela n'autorise pas à affirmer l'existence d'une réalité sous-jacente ; la pertinence épistémique de l'outil reste suspendue à cela.

C'est pour cela que nous voudrions faire la remarque suivante. Il n'est pas anodin que l'exemple pris habituellement pour expliquer, de façon pédagogique et rudimentaire, le phénomène de la parallaxe, soit celui du pouce et des yeux que l'on ferme successivement. Cette explication pédagogique fait référence à une expérience commune (notamment l'utilisation du pouce comme gnomon) et que chacun peut reproduire.

Voyons plus précisément ce dont il s'agit, et réfléchissons. L'expérience la plus élémentaire de la parallaxe est celle produite par la fermeture successive de l'œil gauche et de l'œil droit en face du pouce levé. Le changement du point depuis lequel le pousse est

vu provoque un déplacement apparent du pouce par rapport au fond qui se situe derrière lui. L'œil et le pouce appartiennent au même corps : cet exemple pris à même le corps propre donne un effet de réalité à la position respective des yeux et du pouce. Parce qu'il s'agit de notre corps, du corps propre, alors nous avons une connaissance de la position de chacun de nos membres (en l'occurrence de notre pouce, sans avoir besoin d'observer ses membres). Pour paraphraser la première Méditation, nous ne pouvons douter que ce pouce est le nôtre et qu'il est *ici*.

La situation est donc la suivante : nous savons où se situe réellement notre pouce. À cela s'ajoute l'introduction de la vue : nous regardons notre pouce comme un objet et par conséquent il occupe dans notre champ visuel une position au même titre que les autres objets.

Résumons : nous avons donc deux accès à la position de notre pouce.

1) Quand nous observons notre pouce avec nos yeux – successivement avec le gauche et avec le droit, nous avons accès à une position apparente, qui est variable selon l'œil d'observation. S'il s'agissait d'un gnomon, nous serions en droit de suspendre notre jugement sur la possibilité de connaître la position réelle du pouce. De ce point de vue, répétons-le, il n'y a pas de différence entre ce pouce et n'importe quel objet dont nous pourrions observer la position apparente par rapport aux objets situés en arrière-plan. Sa position apparente est une position relative, et même doublement relative : elle est relative aux objets sur le fond desquels on le perçoit, et relative à la position de l'œil qui le perçoit.

2) Mais nous sentons, par une perception interne qui ne passe pas par l'entremise de nos organes sensoriels, la position de notre membre : nous savons où il se situe de façon absolue, sans le mettre en rapport avec d'autres objets. C'est là que

> l'exemple du pouce est plus que pédagogique et que le petit exercice a pour nous une valeur heuristique : il vise à nous faire éprouver le rapport entre position apparente/relative et position réelle/absolu, par le moyen du rapport entre une position observée extérieurement et relativement (le pouce vu, au même titre que les autres objets et se déplaçant sur le fond) et la position observée intérieurement et absolument.

La parallaxe est un outil réaliste : il met en œuvre la conscience de la distinction entre apparence et réalité et le rapport causal entre l'apparence et la réalité. Le *noyau de rationalité* de l'apparence est constitué par ce rapport causal là – et ce rapport causal coïncide avec les rapports entre objets et lieux d'observation. L'utilisateur de la parallaxe a donc pour tâche de reconduire les positions observées à la réalité sous-jacente. Tout utilisateur de parallaxe est un réaliste, qui se connaît ou qui s'ignore.

Conclusions sur la parallaxe post-copernicienne

En conclusion, voici ce que nous voudrions dire. L'usage de la parallaxe est nécessairement réaliste ; et il n'est pas de même nature quand il est utilisé dans une perspective pré-copernicienne et dans une perspective post-copernicienne.

Il s'inscrit dans une conception des hypothèses astronomiques cherchant à éprouver leur nécessité : mais il ne s'agit pas ici d'une nécessité *a priori*, d'une nécessité logique. Il s'agit de ce que l'on pourrait appeler une nécessité *a posteriori* réfutative. La dispositif mis en place est toujours le même, dans les textes que nous avons cités : on calcule la parallaxe que tel objet observé *devrait avoir* s'il était situé en tel ou tel endroit. Ce *devrait* est la trace dans le raisonnement appliqué aux mesures de parallaxe de la recherche de nécessité : *il n'est pas possible autrement*, pour paraphraser la formule de Copernic que nous avons commentée précédemment. Mais ce n'est pas une nécessité qui permet de montrer la vérité de l'hypothèse concernée, mais une nécessité réfutative : compte tenu des résultats obtenus, l'hypothèse adverse est *nécessairement* fausse. Le caractère crucial de l'expérience dépend de la capacité à montrer que le fait réfute nécessairement l'hypothèse adverse ; qui plus est, ce n'est pas *un seul fait* que l'on est en mesure d'établir, mais une multitude de faits. C'est un trait constant des observations empiriques dirigées contre l'ancienne cosmologie, que l'on retrouvera chez Galilée : l'effet de systématicité des preuves réfutatives est assuré par le fait que, pour chaque élément de l'ancienne cosmologie, on apporte de nombreuses observations ayant la force de le réfuter. Ce faisceau-là est l'indice empirique de l'hypothèse adverse à l'ancienne hypothèse. Du reste, comme ce qui est en jeu n'est pas directement la question du mouvement de la Terre mais la question cosmologique de la séparation du monde en deux région, sub- et supralunaire, l'hypothèse testée n'est pas directement la question du centre du monde ; ce qui explique que, dans cette voie *a*

posteriori, copernicianisme et tychonisme se trouvent embarqués dans une même croisade anti-aristotélicienne.

Tournons-nous maintenant vers les deux copernicianismes qui ont, chacun à leur manière, réalisé l'idéal de systématicité – celui de Kepler, et celui de Galilée.

PARTIE II

CHAPITRE 6 – COPERNIC

Commençons par citer Copernic :

> *Rem quoque praecipuam, hoc est mundi formam ac partium ejus certam symmetriam, non potuerirunt invenire, vel ex illis colligere; sed accidit eis perinde a si si quis e diversis locis manus, pedes, caput aliaque membra optime quidem, sed non unius corporis comparatione depicta, sumeret, nullatenus invicem sibi respondentibus, ut monstrum potius quam homo ex illis componeretur.*

> *De plus, ils n'ont pas été en mesure de découvrir ou de déduire à partir de ces cercles la chose principale, c'est-à-dire la forme du monde et l'exacte symétrie existant entre ses parties ; il leur arrive ce qui arriverait à qui prendrait de divers côtés des mains, des pieds, une tête et d'autres membres, fort bien représentés en eux-mêmes, sans doute, mais sans qu'ils soient rapportés à un même corps, puisqu'ils ne vont pas ensemble : c'est un monstre que l'on formerait ainsi bien plutôt qu'un homme.*[1]

Le monde des anciens astronomes est au monde de Copernic ce qu'un monstre est à un homme – et cette monstruosité, il la doit à son manque de *symétrie*. Mais qu'est-ce que cela signifie ?

La notion de système n'apparaît pas chez Copernic, mais nous voudrions montrer que l'idéal de systématicité, dont nous avons essayé de dégager les traits conceptuels, est présent dans son œuvre, tapie sous d'autres notions ou sous des métaphores que nous aimerons ici commenter.

Ordre et symétrie du monde

1 Copernic, N., *De Revolutionibus orbium coelestium,* traduction fr. in *op.cit.,* vol.II, p.7. Nous avons légèrement modifié la traduction, non pas par désaccord avec les traducteurs mais pour les besoins de notre argumentation : nous avons traduit symmetria par « symétrie », là où les traducteurs avaient privilégié proportion – mais les pages qui suivent ont vocation à montrer que cela revient au même.

Voici ce qu'écrit Copernic au chapitre X du Livre I du *De Revolutionibus,* après avoir décrit l'ordre des planètes :

> *Nous découvrons donc dans cette disposition l'admirable proportion qui règne dans le monde et une liaison véritablement harmonieuse entre le mouvement des orbes et leur grandeur, telle qu'on ne peut la trouver d'aucune autre manière. Inuemenus igitur sub hac ordinatione admirandem mundi symmetriam, ac certum harmoniae nexum motus et magnitudis orbium : qualis alio modo reperiri non potest.*[1]

Ce qui est ici décisif, c'est l'affirmation selon laquelle si l'on n'adopte pas cette disposition du monde, alors il n'est pas possible d'établir une liaison entre le mouvement des planètes et leur éloignement. Cette disposition du monde est donc frappé du caractère de nécessité – qui est une nécessité dans l'établissement d'une liaison. De là nous pouvons faire d'emblée deux remarques : d'une part l'équivalence des hypothèses est éliminée en posant non pas qu'une hypothèse est plus commode ou plus vraisemblable qu'une autre, mais que l'une des hypothèses est la seule qui puisse être adoptée ; par ailleurs, il y a nécessité dans l'établissement de rapports – rapports entre les mouvements des orbes et leur grandeur.

En quoi l'astronomie copernicienne se distingue-t-elle ici de l'astronomie ptolémaïque ? Reprenons ici les explications de J. Régier, dans son article « Qualis alio modo non reperari potest. » A few Words on Copernican Necessity », article qui propose précisément un commentaire sur ce passage du *De Revolutionibus* : « Dans l'astronomie mathématique ptolémaïque, les planètes étaient modélisées individuellement. Si un

1 *De revolutionibus orbium caelestium. Des révolutions des orbes célestes*, éd., trad, et notes par Michel-Pierre Lerner, Alain-Philippe Segonds et Jean-Pierre Verdet, avec la collab. de Concetta Luna, Isabelle Pantin et Denis Savoie, Paris, Belles Lettres, 2015, vol II, p.39.

astronome modifiait la distance d'une planète particulière par rapport à la Terre, il n'était pas obligé d'ajuster les distances des autres planètes [...]. Selon Copernic, l'ordre traditionnel des planètes était fondé sur des principes optiques : plus un corps est éloigné d'un observateur, plus il semble se déplacer lentement. Mais si nous admettons que la Terre se déplace, poursuit-il, nous pouvons établir l'ordre des planètes avec certitude. Il veut dire que, en présupposant une Terre en mouvement, l'astronome peut calculer les distances planétaires en utilisant le rayon Terre-Soleil comme mesure commune3 (le mot « symétrie » fait référence à ce réseau de proportions). A son tour, on peut montrer avec certitude que plus une planète est lente, plus sa distance au centre est grande. L'accord de la distance et de la période est ce « lien d'harmonie » (*nexus harmoniae*) auquel Copernic fait référence. La raison pour laquelle il considérait la symétrie et l'harmonie comme un avantage principal de son système est restée ouverte au débat. »[1] Le rejet copernicien de l'équant s'inscrit dans cette revendication d'uniformité : l'introduction de l'équant est rendue nécessaire par le besoin de moduler la vitesse de la planète, et révèle donc l'incapacité de rendre raison de l'uniformité des mouvements planétaires. L'équant introduit de l'irrégularité : il est un aveu de faiblesse.

Comme nous venons de le voir, c'est le terme de *symétrie* qui joue la cheville ouvrière conceptuelle. Commençons par remarquer que cette notion de symétrie, *symmetria*, est au cœur de la querelle copernicienne : c'est en effet à son aune que fut prononcée, par ses adversaires, l'absurdité du modèle copernicien. C'est ainsi que Tycho s'exprime, en conclusion de sa conversation interrompue avec Rothmann :

1 Regier, J., « 'Qualis alio modo reperiri non potest' A Few Words on Copernican Necessity », in Garau, R. et Omodeo, P. (eds.), *Contingency and Natural Order in Early Modern science*, Springer Verlag, 2019, pp.115-136 ; cette citation se trouve page 116.

Et je me demande quelle peut être la symmetria d'un Monde visible dont la plus grande part est dépourvue de créatures visibles, et dans lequel certains corps célestes deviennent pour ainsi dire immensément grands et d'autres, déjà vastes par eux-mêmes, peuvent à peine leur être comparés. Parce qu'elle est éloignée de la géométrie, de la proportion et de l'ordre, une telle philosophie est éloignée de la sagesse divine et tout à fait étrangère à la providence divine.[1]

Massimo Bucciantini à propos de ces considérations parle d'une « mise à nu des absurdités scientifiques et philosophiques qu'avait rêvées Copernic ; elles étaient tellement graves que la structure de son univers se trouvait dénuée des plus élémentaires principes d'ordre, de proportion et d'harmonie »[2]. Nous voudrions donc, d'emblée, faire la remarque suivante : l'idéal de symétrie du monde n'est pas spécifiquement copernicien. Il ne s'agit pas d'un critère de supériorité revendiqué par les uns et renié par les autres, mais plutôt du critère de recevabilité d'une hypothèse.

Nous allons essayer de voir comment l'interprétation copernicienne de la symétrie repose sur l'exigence de systématicité, bien davantage que sur l'idée de perfection géométrique.

Encore faut-il savoir ce que recouvre cette notion de symétrie, dont Gérard Simon a remarquablement montré, dans un appendice de sa thèse sur Kepler[3], quelle interprétation il convenait de lui donner. Selon G. Simon, il ne faut pas interpréter le terme de symétrie, chez Copernic, au sens géométrique moderne du terme :

Je ne crois pas pour ma part qu'on puisse prendre le terme de symmetria en son sens géométrique moderne. D'abord parce qu'il entrerait en contradiction [...] avec le livre V

1 Brahe, T., *Epistolarum astronomicarum libri, Liber I* (1596), in *TBOO*, VI, p.222 ; cité in Bucciantini, M., *op.cit.*, p.75.

2 *Ibid*., p.74.

3 Simon, G., *Structures de pensée et objets du savoir chez Kepler, Tome II*, Service de reproduction des thèses, Université de Lille III, Lille, 1979 ; voie l'annexe IV « Le sens du terme symmetria », pp.994-998.

la reconstruction technique du mouvement des planètes ne le cède en rien en complexité et en dissymétrie géométrique à la description ptoléméenne ; bien que proches du centre du monde (du soleil moyen), les centres des déférents planétaires restent dispersés, certains même sont mobiles et les orientations des lignes des apsides sur lesquelles ils se situent ne répondent à aucun principe d'ordre.[1]

Comme il l'écrit encore quelques lignes plus loin :

Même s'il s'agit de l'agencement physique du monde au lieu de sa description mathématique détaillée, on ne voit pas comment un monde géocentrique serait moins systématique qu'un monde héliocentrique, et on ne comprend pas en quoi le second aurait la belle unité d'un corps harmonieux tandis que le premier offrirait la repoussante disparité d'un monstre ; car les représentations médiévales physiques du cosmos, avec les sphères centrées sur la Terre, sont en général elles aussi parfaitement symétriques.[2]

C'est parfaitement clair : le géocentrisme des anciens ne le cède en rien, du point de vue de l'ordre géométriquement compris, c'est-à-dire de l'harmonie, à l'héliocentrisme. Autrement dit, si l'on interprète la symétrie dans le sens géométrique moderne, alors il y a équivalence des hypothèses quant à la symétrie.

Si l'on veut écarter ce spectre-là, à suivre Gérard Simon, il convient de donner un sens qu'il estime tout à fait recevable philologiquement au terme *symmetria* :

Je suggère donc une autre explication, uniquement philologique. « Symmetria » aurait le sens étymologique du terme grec, dont il serait purement et simplement la transcription latine : n'oublions pas que Copernic était un excellent humaniste, et que le seul livre qu'il ait lui même publié de son vivant a été la traduction d'un poète grec. « Symmetria » signifierait alors « acte de mesurer ensemble », « mesure commune » rapprochement que d'ailleurs Koyré, citant Rhéticus, fait en note). Et la phrase « Rem quoque praecipuam, hoc est mundi formam et partium ejus certam symetriam, non

1 *Ibid*., p.995.
2 Simon, G., *op.cit*., pp.995-996.

potuerunt invenire, vel ex illis colligere » devrait se traduire par : « De plus, et c'est le principal, la forme du monde et la liaison (suv-) certaine (certam)des dimensions (-metria) de ses parties, ils ne purent pas la découvrir, ni en trouver l'unité (ex illis colligere) ».[1]

Voici la piste que nous voudrions suivre actuellement, et dans laquelle l'idéal de systématicité s'exprime à travers celui de la commensurabilité.

La notion de commensurabilité est le cœur de cet idéal de systématicité qui se met en place, sans s'annoncer clairement, dans l'astronomie copernicienne, et dès Copernic lui-même, sous le nom de *symmetria mundi*. C'est ce que nous voudrions montrer maintenant, d'abord en présentant cette dernière expression et les débats interprétatifs qu'elle a soulevés, puis en essayant d'en dégager une définition implicite de la notion de système elle-même.

La notion de *systema mundi* est absente du *De Revolutionibus* ; Copernic ne qualifie donc de système ni l'astronomie qu'il y construit, ni a fortiori les astronomies qui l'ont précédé. Plutôt que nous interroger ici sur les raisons de cette absence, nous voudrions ici montrer que l'idéal de systématicité que la notion même de *systema* ne disait pas encore, ou pas spécifiquement, à ce moment-là, s'exprime dans la notion de *symmetria*.

Dans un appendice aux Structures et objets du savoir chez Kepler, Gérard Simon restitue les termes d'une discussion interprétative relativement à cette notion.

Symmetria mundi et systema mundi

1 *Ibid*., p.996.

Une phrase de Simon a tout particulièrement retenu notre attention, dans laquelle, rendant sur ce point hommage à Koyré, il affirme que « le monde de Ptolémée n'est *en rien* un système »[1] : la radicalité de l'affirmation (« en rien ») pose en creux la question suivante : se pourrait-il qu'il y a ait des degrés de systématicité, qu'un modèle ou un ensemble puisse être *plus ou moins* systématique, et que celui de Ptolémée se distinguerait d'autre en ce que lui ne l'est pas même un peu ? Laissons pour l'instant en suspens la question, et regardons ce qui disqualifie le modèle de Ptolémée comme candidat à la systématicité : son problème est que

> *le cas de chaque astre et de chaque planète est traité pour lui-même, indépendamment des autres, selon des moyens techniques très divers, avec la seule ambition que le modèle géométrique et cinématique utilisé permette de sauver les phénomènes ; c'est bien une collection, morceau par morceau, de membres disparates.*[2]

Se lit ici en creux une définition du système, que Simon oppose à la collection, autour de plusieurs traits distinctifs : est systématique une description du monde :

1) qui a pour objet les rapports des éléments entre eux et non les éléments pris indépendamment les uns des autres (critère de *synthéticité*) ;
2) qui applique un outil unique de mise en relation des éléments entre eux (critère d'*univocité*) ;

1 Simon, G., *Structures de pensée et objets du savoir chez Kepler, Tome II*, Service de reproduction des thèses, Université de Lille III, Lille, 1979, p.996.
2 Simon, G., *op.cit.,* pp. 996-997.

3) qui montre comment l'application de cet outil aux relations entre les éléments permet d'exhiber un fonctionnement cohérent et réglé de l'ensemble (critère d'*organicité*).

A la limite, le système désigne la forme même de l'activité synthétique de la pensée, c'est-à-dire non seulement la mise en relation d'éléments distincts (cette mise en relation ne peut être que le résultat d'une activité de l'esprit ; qu'elle existe ou non dans le monde indépendamment de l'esprit ne change rien au problème, dans la mesure où celle-ci n'est pas fournie par les observations elles-mêmes) et d'autre part la reconduite à l'unité des relations entre les éléments : ce qui est ici particulièrement intéressant, c'est que la systématicité est définie par un double primat de la relation sur les éléments : d'une part, c'est bien la relation entre les éléments et non les éléments entre eux qui sont l'objet d'une connaissance systématique, mais par ailleurs il faut que ces différentes relations puissent être elles-mêmes mises en relation les unes avec les autres. Dit autrement, la systématisation du monde suppose la possibilité de mettre en rapport des rapports entre eux ; c'est ce que l'on pourrait appeler la composante *analogique* de la systématicité.

Sous un tel critère, le modèle de Ptolémée est moins systématique que celui de Copernic : on peut certes y mettre les éléments en rapport les uns avec les autres, mais on ne peut mettre en rapport les rapports entre eux ; c'est la raison pour laquelle *in fine* les éléments de l'ensemble sont traités séparément. Cela ne signifie pas que Ptolémée néglige les rapports : par définition, les distances, les périodes, les conjonctions, etc., *sont* des rapports : d'une manière générale, toute tentative de rendre intelligible les phénomènes (qu'il s'agisse de les expliquer ou de simplement les « sauver ») est une production de rapports ; mais parce que les rapports entre eux ne sont pas ici analogues, alors du point

de vue de la connaissance les éléments restent séparés les uns des autres en éléments disparates.

Systématicité et commensurabilité

Cette définition de la systématicité admet la commensurabilité comme condition de possibilité. G. Simon fait lui-même référence au livre X des *Eléments* d'Euclide ; de fait, après la définition de la commensurabilité elle-même, Euclide, à partir de la proposition 11, définit les propriétés des rapports entre les grandeurs incommensurables, c'est-à-dire effectivement des rapports entre des rapports.

Voici ce qu'énoncent :

la proposition 11

Si quatre grandeurs sont en proposition et que la première soit commensurable avec la deuxième, la troisième sera aussi commensurable avec la quatrième ; et si la première est incommensurable avec la deuxième, la troisième sera aussi incommensurable avec la quatrième. [1]

la proposition 12

Les grandeurs commensurables avec la même grandeur sont aussi commensurables entre elles.[2]

la proposition 13

Si deux grandeurs sont commensurables et que l'une d'entre elles soit incommensurable avec une certaine grandeur, l'autre sera aussi incommensurable avec cette même grandeur.[3]

1 Euclide, *Les Eléments, livre X*, tr.fr. Bernard Vitrac, in *Les Éléments*, vol. 3, coll. Bibliothèque d'histoire des sciences, Presses Universitaires de France, Paris, 1998, pp.131-132.
2 *Ibid*., p.132.
3 *Ibid*., p.134.

La thèse commune à ces trois propositions est la transitivité de la commensurabilité et de l'incommensurabilité : c'est ce qu'énonce clairement la proposition 12 et qui explique les propriétés énoncées dans les deux autres. Le rapport « être commensurable à » est un rapport de nombre à nombre, et, comme le note le commentaire de Vitrac, le rapport composé de deux rapports numériques est lui-même un rapport de nombre à nombre. En sorte que la commensurabilité est une propriété de ce qui peut être mis en rapport avec tout autre élément de l'ensemble, de telle sorte que ce rapport lui-même puisse être mis en rapport avec tous les autres rapports possibles. La mesure est alors ce qui permet de mettre en rapport les éléments entre eux : l'observation est donc mesurée en un double sens du terme : elle est à la fois quantifiée, mais aussi insérée dans un espace de commensurabilité, c'est-à-dire qu'il n'y a d'observation qu'à condition que les éléments observés soient toujours-déjà en rapport, au moins possibles, les uns avec les autres.

La symétrie du monde est donc à comprendre non pas tant dans un sens strictement géométrique – c'est-à-dire un monde comme cosmos ordonné autour d'un lieu central, mais comme une connaissance du monde telle que l'ensemble de ses éléments puissent être mis en rapport.

Nous nous trouvons donc face aux difficultés suivantes - laissées par l'hypothèse copernicienne, du point de vue de l'exigence de systématicité elle-même. Les chapitres qui suivent et qui closent, respectivement sur Kepler et sur Galilée, montreront les efforts supplémentaires faits pour intégrer au sein de cette systématicité les éléments qui suivent.

Le rejet de l'équant naît chez Copernic du refus d'admettre l'irrégularité dans le mouvement des planètes. Mais s'agit-il d'un refus ou d'une incapacité à faire droit à cette irrégularité dans le système ? Comme nous allons le voir dans le chapitre sur Kepler, il deviendra nécessaire, pour que l'hypothèse soit un véritable système des mouvements, que cette irrégularité soit intégrée, fût-ce au prix d'une réintégration spectaculaire, quoique provisoire, de l'équant.

Copernic maintient le Soleil moyen comme centre des mouvements, et non le Soleil réel ; mais comment un point mathématique peut-il remplir la fonction de centre ? Chez Copernic, la question ne se pose en réalité pas car, comme nous allons le voir chez Kepler, le problème de la fonction se pose avec l'émergence du problème de la motricité ds planète – *a quo planetae moventur ?* Chez Copernic, ce problème ne se pose pas dans la mesure où 1/ la question physique n'est pas son problème et où, de toute façon, 2/ la motricité est encore assurée par les sphères qui, au moment où il élabore son système, tiennent encore solidement.

Enfin, et cette difficulté n'est pas la moindre, il semblerait que, contrairement à la symétrie ptoléméenne, la symétrie copernicienne s'insère particulièrement mal dans un monde divisé entre domaine terrestre et domaine céleste : d'abord parce que la Terre en mouvement se trouve de fait mise sur le même plan que les autres planètes, ensuite du fait de l'espace immense laissé vacant, du fait de l'absence de parallaxe stellaire. Nous devrons voir, dans notre chapitre sur Galilée, comment la révolution galiléenne a réalisé, par l'unification du domaine terrestre et du domaine céleste, l'idéal de systématisation du monde qui était appelé par l'hypothèse copernicienne.

Deux copernicianismes ultérieurs : Kepler et Galilée

Nous allons maintenant nous tourner vers les deux coperniciens qui ont opéré les transformations les plus décisives au sein de la révolution astronomique, après Copernic : Kepler et Galilée. A quelles opérations faisons-nous ici référence ?

1) Chez Kepler, le copernicianisme cesse d'être uniquement une hypothèse cinétique mais devient une hypothèse dynamique. Kepler a en effet dès le début adhéré au copernicianisme et sa question n'est donc pas de savoir si le monde est structuré comme le décrit Copernic, mais pourquoi il est structuré comme ça plutôt qu'autrement. Cette application du principe de raison à l'ordre du monde a nécessité de se demander pourquoi est-ce que les planètes se mouvaient de cette manière

Comme l'écrit Massimo Bucciantini, « pour Kepler, il s'agit de mener à terme la révolution astronomique commencée par Copernic en dépassant les limites d'une théorie

inachevée car fondée uniquement sur des raisons mathématiques, incapable à elle seule d'expliquer à fond le mouvement des corps célestes »[1]. Et la clef de voûte de cette transformation a été la transformation du centre des mouvements planétaires en un lieu physique, à la place du point mathématique copernicien.

Nous allons donc étudier, dans notre chapitre sur Kepler, cette transformation de l'astronomie en une physique céleste, en tentant de montrer comment cette transformation s'est effectuée sous l'idéal de systématisation que nous avons décrit, en étant attentif notamment à la façon dont la substitution du Soleil moyen par le Soleil réel, la restauration de l'équant, et la recherche sur les causes des mouvements planétaires, sont l'effort pour montrer comment les objet étudiés, et notamment le centre (le Soleil) sont à même de remplir la fonction qui leur est attribuée par le système lui-même.

2) Chez Galilée, l'adhésion au copernicianisme est de nature différente. Massimo Bucciantini note que dès la lettre envoyée par Galilée à Kepler en 1597, dans laquelle ce dernier évoque sa lecture à venir du *Mysterium cosmographicum*, on lit chez les deux « des manières d'être copernicien très différentes entre elles. »[2] Voici ce qu'il écrit à propos du galiléisme : « Fort différente s'annonçait déjà, sur ce point, la position de Galilée. Pour l'homme de science italien, ce qui apparaît à Kepler comme une limite devient au contraire le vrai point fort du copernicianisme, l'élément central d'une nouvelle et puissante philosophie de la nature. Il ne s'agit pas d'atteindre un niveau de compréhension plus 'profond' des phénomènes célestes et naturels. Toute forme de pseudo-connaissance sensible

1 Bucciantini, M., *Galilée et Kepler, Philosophie, cosmologie et théologie à l'époque de la Contre-Réforme (2003)*, tr.fr. G. Marino, coll. L'Âne d'Or, Les Belles Lettres, Paris, 2008, p.63.
2 *Ibid*., p.63.

ayant été abandonnée, les raisons mathématiques, comme l'a montré savamment Copernic – sont les seules vraies raisons nécessaires pour comprendre la constitution réelle de l'univers, en dehors desquelles il n'y a rien d'autre à chercher ou à pénétrer : c'est là un des points centraux de la doctrine héliocentrique, et c'est en cela que réside l'enseignement du 'maître' Copernic : ce qui compte est donc de continuer à avancer sur la voie avancée par lui. »[1] Plus loin, il écrit : « A partir de 1597, [Galilée] est partisan de Copernic, le mathématicien et le *philosophe* ». P67 Quelle conclusion en tirons-nous pour notre recherche ?

Galilée a mis toutes ses forces pour détruire l'équivalence des hypothèses. Nous n'allons pas ici faire le récit de sa bataille copernicienne, mais nous voudrions justifier le choix de l'élément de cette bataille sur laquelle nous allons nous arrêter. On peut dégager catégories d'arguments cruciaux utilisés par Galilée dans sa défense du modèle de Copernic.

1) Les arguments tirés de l'observation, mettant en avant l'incompatibilité de toute autre hypothèse avec les données observationnelles, notamment obtenues grâce à la lunette. Galilée n'est pas un astronome au sens copernicien, ou tychonien, qui aurait consacré son étude à la production d'hypothèses mathématiques à même de rendre raison du mouvement des planètes. Galilée est un astronome *observateur* : premier à avoir fait un usage céleste des instruments d'optique, il a tiré de ses observations la découverte de nouveautés célestes (cratères de la Lune, taches solaires, planètes médicéennes) des arguments convergeant vers une disqualification cruciale de l'ancienne cosmologie. Le cœur de cette disqualification résidait dans la mise en évidence de tous les éléments prouvant

1 *Ibid*., p.64.

qu'il n'y avait pas de différence de nature entre la Terre et les cieux, et que le ciel et les corps célestes étaient, comme la Terre et les corps terrestres, soumis à la génération, au devenir, et à la corruption.

2) Les arguments tirés de la spéculation, mettant en avant les vertus explicatives de l'hypothèse copernicienne pour de nombreux phénomènes. Il ne fait pas de doute que l'une des explications physiques dont Galilée était le plus fier, et qu'il a mise en avant comme preuve observationnelle du mouvement de la Terre, était celle des marées ; dans une lettre à Giorgio Fortescue en date de février 1630, il ne cache pas son enthousiasme, avec un brin de malice et d'autosatisfaction :

> *J'enfante maintenant le grand système du monde que je portais en mon sein depuis trente ans (..). Dans cet ouvrage, j'étudie et expose parfaitement, si mon amour propre ne me trahit pas, les causes les plus cachées des bouillonnements de la mer, lesquels ont fait bouillonner jusqu'à nos jours, plus que la mer elle-même, les esprits des philosophes qui tentaient de les comprendre.*[1]

Nous allons, dans notre chapitre sur Galilée, nous concentrer sur la première catégorie d'arguments, pour les raisons suivantes. Tout d'abord, ses études sur les nouveautés ont été construites comme une série de tests cruciaux pour départager, selon sa propre formule, les deux grands systèmes du monde. Ensuite, le cœur de la révolution galiléenne, du point de vue cosmologique, a résidé dans la preuve observationnelle de l'absence de dichotomie entre le ciel et la Terre : comme nous allons le voir, cette preuve s'est appuyée sur un type particulier de raisonnement, l'analogie, dont nous avons voulu voir dans quelle mesure il satisfaisait cette exigence de systématicité.

1 Galilée, *lettre à Giorgio Frontescue, février 1630,* OG, XIV, p.85 ; cité et traduit in Bucciantini, M., *op.cit.*, p.67.

CHAPITRE 7 - KEPLER

Kepler, lui aussi est hanté de souvenirs qui remontent au-delà d'Aristote. Il lui fallut dix ans de calculs, c'est-à-dire de scrupules, pour arracher les planètes à la perfection des cercles, et dix ans encore pour reconstituer autour de ces ellipses un monde entièrement harmonieux ; il lui fallut ces vingt années pour faire entrer le problème physique du mouvement des planètes et de sa cause dans la vieille voûte lisse où la seule géométrie des sphères mouvait les choses célestes.

Michel Foucault[1]

1 Foucault, M., « Alexandre Koyré : *La Révolution astronomique, Copernic, Kepler, Borelli* », in Dits et écrits, 1954-1988, p.171.

Pourquoi Kepler doit-il occuper une place centrale, sinon principale, dans notre enquête sur la transformation de l'astronomie et la naissance de l'idéal de systématicité ? D'abord parce qu'il est, historiquement, celui qui a véritablement *accompli* cette transformation. Comme nous allons le rappeler dans les pages qui suivent (mais cela est d'ores et déjà tout à fait connu dans l'historiographie scientifique), il doit être tenu comme l'agent historique principal de la naissance d'une astronomie nouvelle – et y compris, d'ailleurs, dans l'invention de l'expression elle-même dont il fit le titre de son *Opus magnus* de 1609. Astronomie qu'il voulait aussi nouvelle par rapport à l'ancienne que le Nouveau Testament l'avait été par rapport à l'Ancien[1]. La substitution copernicienne de l'hypothèse héliocentrique à la vieille astronomie ptoléméenne et géocentriste n'avait pas, dans une telle perspective, accompli une révolution mais amorcé une transformation radicale de la science astronomique que Kepler devait lui-même accomplir quelques décennies plus tard. Tant et si bien que la « révolution copernicienne » – expression par laquelle, pour des raisons liées à l'histoire de la philosophie plus encore qu'à l'histoire des sciences, nous avons pris coutume de désigner bien davantage qu'une simple inversion d'hypothèses de calcul des mouvements célestes – la révolution copernicienne, donc, s'appellerait à bien meilleur titre, du point de vue de l'astronomie au moins, la « révolution képlérienne ».

En quoi cette révolution a-t-elle consisté au juste ? Il ne nous appartient pas ici de faire une recension exhaustive des apports scientifiques de Kepler ; d'abord parce que cela a déjà été fait, et de fort belle manière[2], ensuite parce que notre propos n'est pas d'étudier

1 *Astronomia nova* (1609).
2 Voir notamment les études incontournables d'Alexandre Koyré dans Koyré, A., L*a Révolution astronomique, Copernic, Kepler, Borelli* (1961), coll. L'Âne d'or, Les Belles Lettres, Paris, 2016, et le monumental travail de thèse de Gérard Simon, publié dans *Kepler astronome astrologue*, Bibliothèque des sciences humaines, Gallimard, 1979,

Kepler pour lui-même. Rappelons simplement que le geste képlérien a transformé de fond en comble trois pans entiers du savoir constitué de l'époque :

1) en *astrologie*, il a entrepris une critique radicale de la discipline traditionnelle et proposé sa refondation sur des bases physiques ;

2) il a transformé l'*optique* d'une science de la vision en une science de la lumière et permis l'abolition de la différence de valeur entre vision à l'œil nu et vision avec des instruments : pour le dire rapidement, l'optique képlérienne a fourni l'assise théorique de la légitimation de l'usage astronomique, et, plus généralement, scientifique, de la lunette que Galilée allait mettre au point, quoique lui-même ignorant du fonctionnement optique de son propre instrument ;

3) enfin, en *astronomie*, les deux gestes essentiels, et profondément liés l'un à l'autre, par lesquels la révolution képlérienne s'est accomplie, résident d'une part dans la transformation de la discipline en une physique des mouvements célestes, pourvoyeuse de leurs *causes* et non plus seulement de la prédictibilité de leurs mouvements[1], d'autre part, dans l'enterrement de l'astronomie circulariste avec la découverte, à partir de l'étude des mouvements de Mars, de la forme elliptique de l'orbite des planètes. On contestera difficilement qu'il s'agit là d'une révolution : même en faisant abstraction des raisons, des méthodes, et de la postérité d'une telle découverte, force est d'admettre qu'avec elle, le vieux programme de la science astronomique fixé par Platon, celui qui exigeait que les erratiques mouvements des astres errants fussent reconduits à la sagesse de

1 Ainsi qu'il l'annonce lui-même dans la préface de l'*Astronomia nova* de 1609.

> mouvements circulaires combinés plusieurs fois, ce vieux programme donc, trouvait là sa fin – une fin de non-recevoir. Ne rentrons pas ici dans les détails : tous n'intéressent pas notre enquête et nous y viendrons dans la suite de notre propos. Retenons seulement que ces trois domaines – astrologie, optique et astronomie – se trouvent nécessairement compris dans l'idéal de systématisation que nous tentons de mettre en avant, comme arme la plus redoutable pour éloigner l'équivalence des hypothèses.

Mais à quoi bon rouvrir le dossier Kepler ? La question revient : tout ce que nous venons d'évoquer est bien connu, et a fait l'objet d'études d'une ampleur inégalable. À quelques exceptions près, qui nous occuperont notamment en fin de chapitre, il n'y a pas eu depuis les études pionnières d'Alexandre Koyré et de Gérard Simon, de découverte de sources nouvelles de nature à revoir fondamentalement ce que ces maîtres nous ont enseigné.

Une première réponse consisterait à dire que nous nous contenterons, à la lumière des écrits de Kepler et des études nombreuses dont il a fait l'objet, de tester sur l'astronome impérial notre hypothèse directrice. Mais ceci aurait pour effet de transformer notre enquête en une simple reconstitution rationnelle qui, nécessairement, imposerait à la rigueur historique une torsion préjudiciable à la vérité de la démonstration ; mais, plus profondément peut-être, Kepler est, des auteurs que nous avons mis sur notre métier, le plus rétif à cette démarche, le témoin le plus difficile à interroger, et ce pour deux raisons principales, que nous voudrions ici exposer, dans la mesure où elles sont de nature à limiter *a priori*, de manière certaine, les prétentions de notre travail :

1) La première raison nous est livrée par Gérard Simon lui-même[1]: le risque est grand de tomber dans le péché qui consiste à transposer, à transporter même, la rationalité comprise de façon contemporaine dans la pensée de Kepler ; il est d'ailleurs possible que ce risque soit inhérent à la notion de système elle-même.

2) La deuxième raison est que dans l'œuvre de Kepler figurent des éléments qui paraissent dès le premier regard comme des indices trop faciles et par conséquent suspects pour notre travail. Nous voulons ici parler des termes qui paraissent voisins, à défaut d'être parfaitement synonymes, de la notion de système elle-même : *symmetria mundi*, *harmonia mundi*, et même, d'une certaine manière, *mysterium cosmographicum*, sont des notions dans lesquelles il peut être tentant de lire celle de système elle-même, et c'est la raison pour laquelle il faut redoubler de vigilance et, plutôt que de tester l'hypothèse de la systématisation sur ces éléments apparemment favorables, nous demander plutôt ce qui sépare, à la fois conceptuellement et historiquement, ces notions képlériennes du concept de système tel que nous l'avons défini. Comme nous le verrons, quoi que manifestant indéniablement une exigence de systématicité du monde, elles signalent en même temps, généralement, un défaut de systématisation de la connaissance.

C'est pour cela que nous voudrions, pour introduire ce chapitre sur Kepler, repartir de la formule de Cassirer, sous le patronage de laquelle nous nous sommes placés dès le début de notre travail[2], et qui figure dans l'introduction du *Problème de la connaissance* : «

1 Voir Simon, Gérard, *Kepler astronome astrologue, op.cit.*, Introduction, pp. 7-23.

2 L'importance pour nous est que cette proposition est immédiatement suivie de celle-ci, dans une même phrase : « nous cherchons maintenant à élucider dans le détail les conditions grâce auxquelles l'idée *moderne* et le *système* moderne *de la connaissance* se sont formés ».

Nous sommes partis de l'idée générale que la conception que chaque époque a de la nature et de la réalité des choses n'est que l'expression inversée de son idéal de connaissance »[1]. En premier lieu, cette phrase nous a paru trouver une illustration toute particulière en ce qui concerne Kepler – et Cassirer lui-même trouve avec Kepler, dans la *Théorie de la connaissance*, une des plus belles occasions d'en éprouver la vérité ; dès lors, plutôt que de tester avec Kepler l'hypothèse de la *systématisation* du savoir, nous voudrions plutôt tester cette idée générale formulée par Cassirer, et la tester sur cette question de la systématisation. Pour le dire simplement, et provisoirement : nous partons de l'idée que Kepler, en transformant l'héliocentrisme cinétique de Copernic en un héliocentrisme dynamique, et, partant, l'astronomie en une physique, a bien accompli une systématisation de la connaissance de la nature. Cette spécificité de Kepler au sein du copernicianisme tient à la nature même de ce qu'était son objet de travail : contrairement à ce qui était le cas pour Copernic, dont il est de ce point de vue très distant, et à la différence aussi de ce qui sera le cas pour Galilée, dans un contexte politique et polémique différent, la grande affaire du génie de la Souabe n'était pas de déterminer si le copernicianisme était vrai, mais plutôt de montrer pourquoi il l'était[2]. La recherche des causes – causes du système du monde en général, de la motricité planétaire en général – doit être lue d'emblée, d'après les critères que nous avons fixés, comme un geste de systématisation de la science en question.

De ce point de vue, nous respectons presque à la lettre le programme fixé par Cassirer à la théorie de la connaissance en ce qu'il le définit, immédiatement après, comme une élucidation des conditions dans lesquelles s'est formé, pour reprendre ses termes, le *système* moderne de la connaissance. Mais nous renversons la question : partant du constat,

1 Cassirer, E., *Le problème de la connaissance dans la philosophie et la science des Temps modernes.* I. *De Nicolas de Cues à Bayle.* Traduit de l'allemand par René Fréreux. Préface par Massimo Ferrari (traduite de l'italien par Thomas Loisel). 2004, p.18.

2 Voir Mehl, *La Fabrique du monde*, *Le problème cosmologique de Copernic à Descartes*, coll. Epiméthée, Puf, 2019.

très aisément fondé par l'astronomie planétaire de Kepler, que ce dernier a apporté une contribution décisive à ce *système* de la connaissance et affermi sa *systématicité*, nous nous demanderons si la science képlérienne constitue bien l'expression inversée de cet « idéal », si l'on peut, ou doit, montrer ce qui sépare l'idéal qui était véritablement celui de Kepler de celui qu'il a, *de fait*, contribué à réaliser. Il se pourrait que « l'idée générale » de Cassirer subisse de très légères perturbations sur le terrain képlérien ; mais il se pourrait aussi que ces perturbations et cette spécificité soient induites par une certaine manière que l'on a eue de lire Kepler, et que ce dernier ait été constitué en exception par l'historiographie pour des raisons que nous aurions, le cas échéant, à déterminer. Dès lors, s'il nous faut ici rouvrir le dossier Kepler, c'est avant tout parce que se pose la question : « Y a-t-il une exception Kepler ? ».

La question nous vient directement de la tradition exégétique elle-même, tant il est frappant de voir que Kepler a été présenté, chez les auteurs que nous allons évoquer dans le premier moment du chapitre – et à l'exception notable de Duhem, comme occupant une position singulière dans l'histoire des sciences, et une place à part dans ce moment que l'on a coutume d'appeler révolution scientifique. Pour le dire brièvement, et nous verrons plus tard comment cela a pu prendre des formes différentes, on a présenté Kepler comme étant un « *janus bifrons* », pour reprendre l'expression d'Alexandre Koyré[1], à la fois indéniable promoteur d'une science nouvelle, et en même temps tout imprégné d'une mentalité qui était celle des Anciens. Ancien et moderne à la fois, son œuvre (et notamment la multiplicité des champs dans lesquels elle s'est développée : astronomie, optique, astrologie…) illustrerait d'une certaine manière, et dans le champ scientifique au début du

1 *La Révolution astronomique, Copernic, Kepler, Borelli, op.cit.*

XVIIe siècle, ce que l'historien Nicolas Mayer avait appelé, pour parler du XIXe siècle français, la « persistance de l'Ancien régime »[1].

Si le terme d'exception n'était sans doute pas le plus approprié, il y a à tout le moins un « cas » Kepler, pour reprendre l'expression de Wolfgang Pauli. Mais il se pourrait que ce cas-là ne soit pas seulement Kepler lui-même, mais aussi, et peut-être davantage, notre rapport à lui. Faisons une hypothèse : les différents commentaires de Kepler que nous allons ici évoquer ont tous, à leur manière, fait de Kepler un cas à part parce qu'ils y ont lu quelque chose qui exprimait une conception de la science qui était, initialement la *leur* plutôt que la sienne. Non que cela les ait induits en erreur dans leurs analyses – notre propos ne sera pas de les réfuter – mais qu'à travers *leur* Kepler ils aient laissé transparaître leur propre conception normative de la rationalité et de la scientificité. En sorte que nous pourrions, à cette occasion, retourner l'*idée générale* de Cassirer, et montrer que la conception qu'un historien ou un philosophe des sciences a de Kepler n'est que l'expression inversée de son idéal de connaissance.

Cette idée-là oriente de part en part notre travail sur Kepler ; nous voudrions montrer que la dualité de Kepler, que chacun de ceux que nous avons choisi d'étudier a diagnostiqué d'une manière différente, à l'exception de Duhem, et de Gérard Simon (qui, sans mettre en cause la pertinence du « *janus bifrons* », a précisément insisté sur le caractère absolument indissociable des deux faces)[2], que cette dualité est la manifestation apparente dans la lecture de Kepler d'une hybridité de la notion de système. Autrement dit, cette hybridité constitutive est à l'œuvre non pas tant dans les textes de Kepler lui-même que dans

1 Mayer, N., *La persistance de l'Ancien régime,* Collection historique, Aubier, Paris, 2010.

2 Voir Simon, G., *Structures de pensée et objets du savoir,* II p.960.

l'interprétation qui en est faite. Cette hybridité, comme nous allons le montrer, émane d'une tension entre deux conceptions de la systématicité : systématicité comprise comme idéal de la connaissance en général (le *système du savoir*) et comme règle de construction d'un objet de savoir (au sens où, comme nous le verrons, Kepler parle du *système d'une planète*).

Notre travail sur Kepler s'organise de la façon suivante : nous allons d'abord rechercher chez certains grands exégètes de Kepler des indices pour trouver chez lui les traces de l'idéal de systématicité (ce que nous appelons « l'enquête sur les enquêteurs »), puis nous nous tournons vers l'auteur lui-même, et nous tentons de montrer que la transformation de *l'astronomie copernicienne* en une physique copernicienne réalise cet idéal de systématicité (ce que nous appelons : « le système képlérien »).

Partie I - L'enquête sur les enquêteurs

I. Wolfgang Pauli lecteur de Kepler

le processus d'intellection de la nature, de même que le bonheur que l'homme éprouve à comprendre, c'est-à-dire à prendre conscience d'une nouvelle connaissance, semble donc reposer sur une correspondance, une coïncidence entre des images intérieures qui préexistent dans la psychè humaine avec des objets extérieurs et leur comportement. Cette conception de la connaissance de la nature remonte, on le sait, à Platon, et est également soutenue de façon très claire [...] par Kepler.[1]

Avant de nous intéresser à l'interprétation par Pauli de la science képlérienne, présentons brièvement, sinon la théorie, du moins les questions que se pose ce dernier concernant l'activité scientifique prise pour objet. Si, comme le note Heisenberg dans sa présentation, l'œuvre proprement scientifique de Pauli est relativement dépourvue de remarques épistémologiques et de considérations relatives à « l'arrière-plan philosophique » de sa physique[2], un texte comme celui-ci témoigne d'un exercice critique soutenu et d'un « profond intérêt philosophique » porté sur la question de la nature de la connaissance. Elle trouve ici l'une de ses formulations les plus explicites et les plus conceptuellement abouties.

Le problème qui y occupe Pauli et le conduit à prendre pour objet la pensée de Kepler, est la question de l'origine de la connaissance scientifique, c'est-à-dire à la fois de l'origine *historique* de cette forme spécifique du savoir humain qu'il nomme lui-même « la science moderne » et, en même temps et de manière indissociable, l'origine *psychique* des concepts et des théories scientifiques[3]. C'est essentiellement sous ce deuxième aspect que s'ouvre le questionnement, qui pose ni plus ni moins que le problème de la connaissance en général, c'est-à-dire le problème de la validité des productions de l'esprit humain quand elles se

1 Pauli, W., *Le Cas Kepler*, tr.fr.chez Albin Michel, Paris, p.32.
2 Voir l'introduction de Heisenberg, in Pauli, L*e cas Kepler, op.cit.*, p.17.
3 Pauli, W., *Le cas Kepler, op.cit.*, chapitre I, tr. fr. p.31.

présentent comme une élucidation de ce qui se trouve hors de l'esprit humain ; même s'il aborde la question avec un certain niveau de généralité et sans référence explicite à tel ou tel élément de la tradition philosophique, la formulation qu'il en propose est loin d'être naïve, et paraît bien plus spécifique qu'une vague interrogation portée sur les rapports entre pensée (scientifique) et réalité (physique).

Sa problématisation apparaît bien davantage comme une mise en cause d'un empirisme spontané du savant, ou de ce que l'on a pu appeler « l'inductivisme naïf », c'est-à-dire d'une position épistémologique selon laquelle l'observation constitue l'origine unique de toute connaissance scientifique, au profit de ce qu'il qualifie lui-même d'*empirisme mitigé*. Pauli commence précisément par remarquer, à rebours de la conception « purement empiriste », ainsi qu'il la qualifie lui-même[1], que les lois de la nature ne peuvent pas être tirées exclusivement de l'expérience, puisque les concepts et les idées avec lesquels ces lois sont formulées « dépassent généralement de beaucoup la simple expérience »[2]. En conséquence de quoi, l'élaboration d'une théorie scientifique fait appel à une activité conceptuelle par laquelle l'esprit humain va au-delà des seules données d'expérience – activité dont on constate par après qu'elle rend intelligible des données empiriques. L'exercice de cette spontanéité, Pauli l'appelle *intellection*. Dès lors, la question qui se pose est celle du rapport qui existe entre la perception des sens d'un côté et l'intellection d'un autre côté : comment l'intellection, la prestation d'idées et de concepts, peut-elle rendre intelligible un matériau sensible non-conceptuel ? Quelle peut-être « la passerelle », pour reprendre la formulation de Pauli lui-même, « qui assure la liaison entre les perceptions des sens d'une part, et les concepts de l'autres »[3] ? Dit autrement encore, la perception et

1 *Ibid*., p.31.
2 *Ibid*.., p.31
3 *Ibid*., p.32.

l'intellection étant deux sources distinctes de la théorie scientifique, qu'est-ce qui justifie le lien apparent entre ce qui nous vient de l'une et ce qui nous vient de l'autre ? Posée ainsi, cette question transcendantale formulée dans les termes qui sont ceux d'une épistémologie propre aux sciences de la nature, conduit forcément à la conclusion suivante : ni la perception d'un côté, ni l'intellection de l'autre, ne fournissent à elles-seules le lien qui la relie à l'autre. Ni les concepts ne regardent pas eux-mêmes vers la perception ; ni la perception n'est grosse des concepts que le scientifique va lui appliquer. Dès lors, comme l'écrit Pauli, « la logique seule [est] par définition incapable d'établir ce lien ». Mais alors d'où vient-il ? Si rien dans la conception ni dans la perception ne procure le lien entre l'une et l'autre, il faut selon Pauli poser que ce lien est préétabli ; cette réponse a le statut d'un postulat, mais c'est selon lui le postulat qu'aucune tentative pour rendre raison de la connaissance ne peut dépasser.

Citons plutôt Pauli lui-même :

> *Tous les penseurs rigoureux en sont arrivés à la conclusion que la logique seule était par définition incapable d'établir ce lien [entre les perceptions des sens d'une part et les concepts de l'autre]. La solution la plus satisfaisante paraît être d'introduire ici le postulat d'un ordre cosmique indépendant de notre arbitraire et différent du monde des phénomènes. Que l'on parle ici de « participation des choses naturelles à l'ordre des Idées » ou de « comportement des choses métaphysiques, c'est-à-dire réelles en soi », le rapport entre la perception des sens et l'Idée n'en demeure pas moins la conséquence de ceci que l'âme de celui qui connaît aussi bien que la connaissance qui résulte de l'observation sont soumises à un ordre conçu comme objectif.*

Mais si l'objectivité qui est ici en question se fonde bien sur l'existence de deux sources de connaissance, la perception et l'entendement, il ne s'agit pas d'un entendement conçu, dans une perspective kantienne, comme une faculté de production spontanée de concepts. Sitôt ouverte, la question transcendantale est refermée et la condition de

l'objectivité trouve sa solution dans l'existence de patrons, inscrits au cœur de la *psyché* humaine, et coïncidant avec les patrons inscrits au cœur des choses elles-mêmes.

Une fois le problème présenté ainsi, la référence à Kepler arrive presque naturellement sous la plume de Pauli, le mathématicien impérial étant celui qui, avec les *archétypes*, a proposé une solution, dans la mesure où, comme il l'écrit, chez Kepler,

> *les archétypes remplissent précisément la fonction de la passerelle que nous cherchions, reliant la perception des sens aux idées ; ils sont donc une condition nécessaire pour que naisse une théorie scientifique.*[1]

En effet,

> *le processus d'intellection de la nature, de même que le bonheur que l'homme éprouve à comprendre, c'est-à-dire à prendre conscience d'une nouvelle connaissance, semble donc reposer sur une correspondance, une coïncidence entre des images intérieures qui préexistent dans la psychè humaine avec des objets extérieurs et leur comportement. Cette conception de la connaissance de la nature remonte, on le sait, à Platon, et est également soutenue de façon très claire [...] par Kepler.*[2]

Remarquons d'emblée que Pauli glisse du questionnement sur la *possibilité* d'un lien (ou d'une « passerelle ») entre les données de la perception et les productions de l'intellection – questionnement que nous avons qualifié de *transcendantal* – à la question de la genèse dans l'esprit humain des connaissances scientifiques.

1 *Ibid*., p.33.
2 Ibid., p.32

La référence à Jung, deuxième figure tutélaire dans cette entreprise épistémologique, est à ce titre éloquente : Pauli explique que ce dernier a apporté à la psychologie moderne le concept d'« instincts de représentation »[1] ; celui-ci fonde une psychanalyse de l'esprit scientifique dans laquelle les contenus théoriques (les concepts, les idées, les formules,...) sont le résultat d'un processus dont les manifestations conscientes (le raisonnement, l'imagination...) ne sont que le terme, et dont l'origine se trouve dans l'inconscient lui-même.

Il ne nous appartient pas de restituer ici la théorie jungienne des instincts de représentation, mais simplement de remarquer, là encore pour mettre en évidence l'affinité entre cette épistémologie et une certaine lecture de Kepler ; ce qui va très clairement retenir l'attention de Pauli, c'est la circonscription – ou la prétendue circonscription – de l'activité rationnelle. Circonscription à la fois, dirions-nous, *chronologique* – l'activité rationnelle n'arrive pas en premier dans le processus d'intellection, mais n'en constitue que l'aboutissement visible – et *logique* : la raison (ou intellection) ne fournit pas elle-même ce qui lui donne prise sur la réalité empirique que la science se donne à connaître, et doit le trouver ailleurs : ainsi,

> *toute intellection est un processus de longue haleine résultant de processus dans l'inconscient bien avant que le contenu conscient ne puisse recevoir une formulation rationnelle.*[2]

On mesure ici à quel point la référence à Kepler, avant même que n'ait commencé la lecture des textes, intervient sous le signe du rejet d'une conception exclusivement

1 Ibid., p.33
2 *Ibid*., p.33.

rationaliste de l'activité scientifique. Kepler (comme Jung) est convoqué comme l'un des prestataires d'antidotes au rationalisme qui aurait prévalu dans les sciences depuis le XVIIe siècle, et l'un des seuls à avoir fait place dans l'élaboration de sa science à des éléments que la science moderne n'a au contraire eu de cesse que de refouler, au sens quasi-psychanalytique. La science n'est pas une activité exclusivement rationnelle, et la raison serait stérile si la *psyché* humaine ne disposait que d'elle, si elle était dépourvue de tout ce qui se trouve enfoui en elle, inconscient et sous-jacent, mais qui opère jusqu'au sein de l'activité rationnelle elle-même. Kepler illustre donc à la fois une certaine attitude théorique mais constitue aussi une figure historique singulière, qui revêt toute son importance et son attrait sur le fond d'une histoire des sciences et de la pensée moderne lue comme une marche univoque vers la rationalisation. Les conceptions épistémologiques de Pauli se fondent sur une certaine lecture de l'histoire des sciences et inversement, l'histoire des sciences offre des figures exceptionnelles, c'est-à-dire faisant exception au modèle épistémologique qui s'est imposé dans la modernité :

> *mon attention s'est tout spécialement portée sur le XVIIe siècle, époque où, au prix d'un grand effort intellectuel, la pensée scientifique, alors toute neuve, s'est développée sur le terreau de la vision magique et animiste du monde.*[1]

En conséquence de quoi,

> *pour illustrer les rapports qui existaient alors entre représentations archétypales et théories scientifiques, Johannes Kepler (1571-1630) m'a paru particulièrement indiqué : ses idées témoignent en effet d'un niveau de pensée intéressant, intermédiaire entre*

1 Pauli, W., *op.cit.*, p.35.

l'ancienne description magico-symbolique du monde et celle des modernes, quantitative et mathématique.[1]

Quoi que l'on pense de cette conception du sens de l'histoire des sciences et de la pertinence de la référence à Kepler, il nous a semblé intéressant de remarquer que, dans la conception que développe Pauli, le processus d'idéalisation de la nature par lequel on a caractérisé l'avènement de la science moderne revêt un sens tout à fait singulier. Pour le dire brièvement, avant d'en développer les différents aspects et leur lien avec Kepler, le processus d'idéalisation n'est pas assimilé ici au processus de mathématisation. Ce dernier n'est qu'une des formes que peut prendre, et qu'a historiquement pris, le geste idéalisant propre à l'activité scientifique. Ceci nous paraît particulièrement intéressant dans notre lecture de Kepler, dans la mesure où cela décale légèrement la focale husserlienne – focale depuis laquelle on interprète en général l'idéalisation comme *idéation*, et l'idéation comme substitution d'un monde sensible rempli de qualités par un monde géométrique de part en part quantifiable.

Tout d'abord, il est clair que le processus d'intellection dont parle Pauli est de part en part un processus d'idéalisation, au sens où c'est bien lui par lequel l'esprit scientifique, tout en se tournant vers les choses extérieures – là réside l'empirisme indépassable de toute science de la nature – regarde aussi ailleurs, et recherche ce qui, absent du donné empirique lui-même, pourra seul satisfaire l'exigence de son esprit dans la connaissance de la nature. Il s'agit essentiellement de relations légales, exprimées mathématiquement,

1 *Ibid*., pp.35-36.

entre des phénomènes et, plus profondément, d'un principe d'unité pour l'ensemble des étants naturels.

Mais deuxièmement, et de manière plus décisive encore, le processus d'intellection par lequel la science produit un monde d'idéalités ne coïncide pas avec la mathématisation. Au contraire, la situation historique de Kepler illustre une possibilité, refermée à peine après avoir été ouverte, d'une forme d'idéalisation non entièrement mathématique de la nature :

> *ses idées témoignent en effet d'un niveau de pensée intéressant, intermédiaire entre l'ancienne description magico-symbolique du monde et celle des modernes, quantitative et mathématique.*[1]

Où l'on lit donc, au travers d'une trame assez sommaire de l'histoire des sciences entre la période médiévale et l'époque moderne, que l'idéalisation, c'est-à-dire cette direction du regard de l'esprit par-delà l'observation empirique, peut prendre en réalité deux formes, illustrées chacune dans la science ancienne et la science moderne. L'idéalisation a certes pris la forme, dans la science moderne, d'une mathématisation, c'est-à-dire d'une substruction du monde sensible par un monde idéal composé d'objets mathématiques. Mais la pensée dite magico-symbolique constitue elle aussi une attitude idéalisante, en ce qu'elle cherche par-delà l'observation à atteindre les éléments inobservables : les qualités occultes, les moteurs imaginaires des mouvements, ainsi qu'une unité sous-jacente à la multitude, au foisonnement, des événements naturels.

1 Pauli, W., *op.cit.*, p.36.

Dans la présentation qu'il propose du texte de Pauli, Heisenberg définit comme une « tendance unilatéralement spiritualisante »[1] cette attitude de l'esprit qui s'exprime à la fois dans le symbolisme et dans le mathématisme. Le point commun à ces deux formes de spiritualité réside dans la quête par l'esprit de quelque chose de *spirituel* qui soit, seul, à même de rendre intelligible le monde vers lequel il a d'abord tourné son regard. Ce qui nous intéresse ici, c'est cette idée d'une idéalisation par *spiritualisation* de la nature. L'antidote que Kepler proposerait au rationalisme – antidote qui aurait constitué, à un moment, une possibilité historique tout de suite refermée – résiderait dans une spiritualisation non-unilatérale de la nature, dont l'exemple le plus important, et que Pauli développe par la suite, est la théorie képlérienne des âmes planétaires.

Il convient de nous arrêter sur cet aspect, car c'est à notre avis là que se situe le cœur d'une interprétation possible de Kepler. Le processus scientifique d'intellection aurait pris chez Kepler la forme d'une spiritualisation à deux faces, reliées l'une à l'autre par une théorie de l'harmonie : l'âme et les mathématiques. Kepler incarnerait une des dernières résistances à la l'unilatéralisation de l'esprit scientifique, et plus précisément une des dernières résistances à la marche vers la désanimation du monde – marche accomplie par Galilée dans l'élaboration de sa conception du mouvement et ses travaux sur l'accélération des corps en chute libre, et achevée par Newton dans ses *Principia*. Kepler est donc, aux yeux de Pauli, une figure idéale de l'idéalisation : d'un côté, au moment où il écrit le *Mysterium cosmographicum*, « la désanimation du monde n'est pas encore assez avancée »[2],

1 Heisenberg, W., in Pauli, *op.cit.*, p.22.
2 Pauli, W., *ibid.*, p.38

comme en témoigne l'existence des âmes planétaires – et par conséquent le processus d'intellection ne peut se réduire à une mathématisation de la nature. Mais d'un autre côté, la conception purement magique d'une *anima mundi* n'est plus qu'une « relique »[1] dont la vertu explicative s'est considérablement émoussée. En sorte que la spiritualisation du monde devra être à la fois animiste et mathématicienne, et fournir le lien entre âme et géométrie.

Que conclure de notre chemin chez Pauli ? Nous voudrions souligner à la fois la vertu de ce qu'il relève, notamment en le mettant en lien avec la manière dont Husserl définit l'idéalisation – c'est-à-dire, en somme, comme une substitution (substitution d'une multiplicité mathématique au monde faux de l'expérience sensible). Pauli nous rend sensible au fait que l'idéalisation n'est pas une substitution mais une condition – la condition de l'intelligibilité de la nature. Cependant, nous aimerions trouver une voie alternative à l'interprétation qu'il fait de Kepler comme intermédiaire entre le rationnel et le magico-symbolique. Cette interprétation, qui est au fond une variante élégante de la peinture d'un *janus bifrons.*

Or, et telle est l'hypothèse que nous testerons en fin de chapitre : nous pensons que le maintien, et, *a fortiori*, la suppression partielle des âmes planétaires, n'ont rien à voir avec un quelconque vestige de magico-symbolisme. Cette idée paraît sans doute séduisante, et même rassurante, dans la mesure où elle allie la raison à quelque chose qui lui est extérieur, comme rappel de sa finitude. Mais il n'est selon nous en rien question de cela chez Kepler : le maintien des âmes motrices est lié à l'exigence de rendre raison de la motricité planétaire en l'absence de sphères solides, et il s'agit donc, non pas d'un vestige

1 *Ibid*., p.38.

de symbolisme, mais de la satisfaction de l'exigence née de l'idéal de systématicité qui contient, comme nous l'avons vu, celle de montrer ce qui dans chaque élément du système est à même de remplir la *fonction* qui lui est conférée par sa place dans le système. Le maintien par provision des âmes planétaires n'est donc que l'anticipation de la systématisation des rapports entre la totalité des planètes et le Soleil – et non une tentative d'échapper à l'emprise des mathématiques sur la totalité de la nature.

II. Kepler illogique ? Duhem et le « système » du monde

En dépit de Kepler et de Galilée, nous croyons aujourd'hui, avec Osiander et Bellarmin, que les hypothèses de la Physique ne sont que des artifices mathématiques destinés à sauver les phénomènes ; mais grâce à Kepler et Galilée, nous leur demandons de sauver à la fois tous les phénomènes de l'Univers inanimé.[1]

La figure de Duhem est tout à fait incontournable dans cette enquête sur la systématisation du savoir d'un côté, et sur Kepler de l'autre. À la différence de ce que qu'il en est pour Alexandre Koyré et Gérard Simon, la raison principale réside moins dans l'analyse qu'il propose de la science képlérienne, que dans deux éléments à première vue externes :

1) d'une part, dans sa somme monumentale et si précieuse d'histoire de la science médiévale, *Le Système du monde*[2], ne propose aucune définition formelle de la notion de « système du monde », ni *a fortiori* de ce qu'est un système en général ; comme chez la majorité des auteurs du reste, et comme nous l'avons remarqué dans notre introduction, le « système » est une prénotion, un terme opératoire qui ne fait l'objet d'aucune conceptualisation spécifique.

2) Kepler, comme nous allons le voir, est explicitement traité comme la figure idéale-typique d'une certaine position épistémologique qui s'est constituée aux XVI^e^ et XVII^e^ siècles, celle du réalisme des hypothèses – position que Duhem combat ; du point de vue de notre méthode, le traitement duhémien de Kepler est donc tout à

1 Duhem, *Sozein ta Phainomena, Sauver les Apparences ; sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée (1908), Vrin, Paris, 2003, p.*152

2 Duhem, *Le Système du Monde, histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, t.I-X, Paris, Hermann, 1956-1958, gr. in-8°.

fait favorable, mais fonctionne à contre-emploi : la lecture qu'il en fait exprime bien son propre idéal de connaissance, mais à travers une figure qui s'oppose à cet idéal, qui en a incarné le *contraire.* Pour paraphraser encore la formule de Cassirer, s'exprime dans la lecture que fait Duhem de Kepler le reflet inversé *et contrarié* de son idéal de connaissance.

Ce que nous voudrions montrer dans cette sous-partie, c'est que ces deux éléments sont étroitement liés.

Dans l'histoire du statut des hypothèses astronomiques que Duhem brosse dans son petit ouvrage classique intitulé *Sauver les apparences*, *Sur la notion de Théorie physique*[1], Kepler est moins présenté pour lui-même que comme l'un des illustres représentants, aux côtés de Copernic, Maestlin et Galilée, d'une position épistémologique réaliste, qui assume la réalité des hypothèses qu'elle met en œuvre pour sauver les mouvements astraux, et qui, par conséquent, exige « que les hypothèses de l'Astronomie [soient] en accord avec les enseignements de la Physique ». L'hostilité de Duhem à cette thèse est bien connue : dans ce petit livre de 1908, elle n'est pas à proprement parler réfutée, comme elle l'est de manière plus systématique dans la *Théorie physique*, mais elle est marginalisée en regard de l'histoire des conceptions des théories physiques, qui, comme il l'explique dans les premières pages, coïncide, jusqu'à la naissance de la science moderne, avec l'histoire des conceptions des hypothèses astronomiques. Il ne nous appartient pas ici d'étudier la position de Duhem quant à la nature des hypothèses astronomiques, mais nous voudrions

1 *Duhem, Sozein ta Phainomena, Sauver les Apparences ; sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée (1908), Vrin, Paris, 2003.*

montrer comment le jugement de Duhem sur Kepler et les astronomes coperniciens est orienté par une certaine conception de la systématicité.

Pour ouvrir ce propos, nous partirons du reproche que fait Duhem au réalisme de Kepler et des coperniciens, et plus exactement de la façon dont il le formule dans sa conclusion du *Sozein ta phainomena* : « les coperniciens se sont entêtés dans un réalisme illogique »[1]. Nous ne commenterons pas d'emblée ce reproche, mais il nous invite à nous pencher sans attendre sur les réflexions logiques que mène Kepler à propos précisément du problème qui occupe Duhem : celui de l'équivalence des hypothèses astronomiques. Pour cela, nous proposons de nous appuyer sur les réflexions que mène Kepler au début du *Mysterium cosmographicum*. Nous ne restituerons ici que ce qui nous paraît de nature à mettre en scène la confrontation entre Kepler et Duhem.

A. Logique duhémienne versus logique képlérienne

Nous avons déjà examiné les raisons profondes pour lesquelles il était si difficile pour Kepler, au moment de l'écriture du *Mysterium cosmographicum*, de montrer de manière irréfutable la supériorité observationnelle de l'hypothèse copernicienne sur l'hypothèse ptoléméenne ; dans la capacité à sauver les phénomènes, les deux se trouvaient même, à vrai dire, dans une situation de quasi-équivalence.[2] Et malgré l'enthousiasme observationnel des premières lignes, Kepler est rapidement conduit à rechercher d'autres catégories d'arguments que la simple supériorité *observationnelle.* Après avoir évoqué la supériorité *épistémique* du copernicianisme – celui-ci ne se contente pas de sauver les

1 *Ibid*., p.136.

2 Nicholas Jardine, « The forging of modern realism : Clavius and Kepler against the sceptics », *Studies in History and Philosophy of Science* Part A, Vol. 10, Issue 2, June 1979, pp. 141-173.

mouvements des planètes mais en donne également les *causes*, Kepler s'aventure sur le terrain *logique* et y voit le lieu d'un arbitrage possible entre Copernic et Ptolémée.

Le propos de Kepler vise à défendre Copernic contre les assauts sceptiques, et plus précisément à dissiper l'argument selon lequel l'hypothèse copernicienne pourrait tout à fait produire des résultats corrects tout en étant fausse elle-même – et ce à l'instar de ces syllogismes accidentels qui produisent une conclusion vraie alors même qu'ils partent de prémisses fausses[1] .

Restituons pour commencer le dispositif argumentatif mis en place par Kepler ; ceci est nécessaire pour, ensuite, apprécier correctement le type de supériorité par laquelle Copernic surpasse Ptolémée, alors même que d'un point de vue strictement phénoménal les deux modèles peuvent être tenus pour équivalents. Il nous appartiendra enfin de montrer comment la mise en valeur de cette supériorité à la fois logique et épistémique révèle, en creux, l'exigence de systématicité à laquelle l'astronomie nouvelle est soumise.

L'erreur logique de Ptolémée

Voilà quels sont les termes du débat en ce début de traité : la discussion porte sur l'explication astronomique des mouvements diurnes des étoiles. Pourquoi, tous les jours, les étoiles se couchent-elles et se lèvent-elles ? Plusieurs explications sont possibles : on

1 Kepler, *Le Secret du Monde*, notes Segonds, Gallimard, Paris, 1993, p.44.

peut soit, avec Ptolémée, arguer de ce que la Terre se trouvant au centre du monde, immobile, la révolution des fixes autour d'elle produit le mouvement diurne apparent. Mais on peut aussi avec Copernic, de manière équivalente, attribuer ce mouvement apparent à une Terre en rotation sur elle-même (en négligeant la distance de la Terre au centre du monde, par rapport à sa distance aux fixes). L'explication ptoléméenne et l'explication copernicienne sont équivalentes ; ainsi, l'hypothèse copernicienne peut tout à fait être fausse et celle de Ptolémée vraie, sans que la déductibilité des mouvements soit compromise pour la première. À première vue, l'argument est imparable et la prétention du copernicianisme à la vérité désavouée.

C'est sans compter les ressources argumentatives que Kepler va chercher alors dans la logique aristotélicienne. Il ne nous appartient pas ici de préciser l'origine et l'ampleur de la connaissance que Kepler avait d'Aristote[1], simplement de noter que c'est chez ce dernier qu'il trouve la parade à l'argument sceptique selon lequel *du faux peut naître le vrai* ; pour cela, il lui faut déplacer la focale. Comprenons bien : Kepler concède que le vrai peut naître du faux, qu'une déduction vraie des mouvements apparents des astres se peut fonder sur une fausse hypothèse concernant le centre du monde et le mouvement de la Terre – là n'est pas la question et il est préférable de laisser les sceptiques à cette argutie. En revanche, il est possible d'éclairer le problème sous un nouvel angle et de faire apparaître ainsi une véritable zone d'ombre dans le raisonnement de Ptolémée ; une zone qui ne concerne ni les prémisses ni la conclusion du raisonnement, mais sa structure formelle.

Citons Kepler et essayons de comprendre :

1 Voir Nicholas Jardine, « The forging of modern realism : Clavius and Kepler against the sceptics », *Studies in History and Philosophy of Science* Part A, Vol. 10, Issue 2, June 1979, pp. 141-173.

> *Ptolémée n'a pas démontré les « phénomènes » à l'aide d'un moyen terme faux et accidentel. Il a simplement péché contre la loi du* kath'auto*, en croyant que ce qui se produit en vertu du genre, se produisait en vertu de l'espèce.*[1]

Que dit Kepler ? Ptolémée s'est trompé dans son argument, sans se tromper d'argument ; il a utilisé un argument correct sans le voir et a vu un argument incorrect qu'il n'a pourtant pas utilisé. C'est un *quiproquo* logique. Ptolémée a cru expliquer le mouvement des fixes à l'aide de l'argument « la Terre est au centre du monde ». Le raisonnement serait celui-ci :

- P1 : la Terre est immobile au centre du monde.
- P2 : les fixes tournent autour de ce centre immobile du monde.
- Conclusion 1 : les fixes tournent autour de la Terre.

- P'1 : les fixes tournent autour de la Terre.
- P'2 : nous observons les fixes depuis un point à la surface de la terre.
- Conclusion : les astres nous apparaissent se lever et se coucher une fois par nychtémère.

CQFD.

1 Kepler, *Le Secret du Monde*, trad. in *Op.cit.*, p.45.

Ceci est le raisonnement que Ptolémée *pense* avoir fait, et la P1 est l'argument que Ptolémée *pense* être le moyen de parvenir à la conclusion. Appliquée à Copernic, une telle compréhension de l'explication des levers et couchers astraux pourrait être présentée comme suit :

- P1 : la Terre tourne sur elle-même (à une distance négligeable du centre du monde).
- P2 : les fixes sont immobiles.
- Conclusion 1 : la Terre est en mouvement sur elle-même par rapport aux fixes.

- P'1 : la Terre est en mouvement sur elle-même par rapport aux fixes.
- P'2 : nous observons les fixes depuis un point à la surface de la terre.
- Conclusion : les astres nous apparaissent se lever et se coucher une fois par nychtémère.

CQFD.

L'erreur d'une telle lecture, qui est celle que Ptolémée fait de lui-même concernant son propre raisonnement (et contrairement à Copernic), porte P'1 : ce n'est pas cette prémisse qui en réalité concourt à produire la conclusion. Cette prémisse, Ptolémée la voit à la place de la véritable, de celle dont découle vraiment, et pas en apparence seulement, la conclusion valide. Mais la véritable prémisse, celle qui fonctionne sans que Ptolémée ne la

voit, n'est pas sans lien avec la prémisse apparente, et c'est précisément le lien qu'il y a entre elles deux qui fait que l'apparente cache la vraie.

Quel est ce lien ? C'est un lien logique, c'est le lien du genre à l'espèce ; c'est-à-dire que la prémisse apparente est une espèce de la prémisse véritable. C'est ce que veut dire Kepler quand il écrit que Ptolémée pense que ce qui se produit en vertu du genre, se produit en vertu de l'espèce. Or, à quel genre appartient l'espèce « La Terre est immobile au centre du monde et les fixes tournent autour » ? Elle appartient au même genre exactement que la prémisse P'1 dans le raisonnement de Copernic (la Terre est en mouvement sur elle-même par rapport aux fixes). P'1 (Ptolémée) et P'2 Copernic sont deux espèces d'un même genre, qui est le genre des prémisses cohérentes avec cette thèse-ci :

- G1 : Il y a entre le ciel et la Terre une opposition quant au mouvement

La communauté de genre est donc assurée par le fait que les deux espèces, ptoléméenne et copernicienne, ont en commun de poser l'existence d'un mouvement contraire entre la Terre d'un côté et les astres ensemble de l'autre. La différenciation spécifique se fait par l'attribution de la responsabilité, si l'on peut dire, de cette contrariété de mouvement : Ptolémée pose que c'est le mouvement des étoiles qui provoque cela en regard de la fixité de la Terre, Copernic pose que c'est le contraire. Mais la différence spécifique n'intervient pas dans le raisonnement, et toutes les espèces du genre produisent la même conclusion, parce que c'est la propriété distinctive du genre qui provoque la conclusion : c'est parce qu'il y a une opposition de mouvement entre Terre et ciel que, en *apparence*, effectivement, les étoiles se couchent et se lèvent.

Voilà donc pour l'erreur de Ptolémée, qui est, insistons là-dessus, une erreur logique (infraction à la règle du *kath'auto*). Une fois le *quiproquo* levé par Kepler, quelles conséquences en tire-t-il pour l'arbitrage entre Ptolémée et Copernic ?

Par conséquent, le fait que Ptolémée, en partant d'une fausse disposition du monde, a pourtant pu donner des démonstrations vraies, en partant d'une fausse disposition du monde, a pourtant pu donner des démonstrations vraies et qui s'accordent avec le ciel et ce que nous voyons, ne nous autorise pas à soupçonner quelque chose de semblable dans le cas des hypothèses de Copernic.[1]

Mais là fait défaut, semble-t-il, un argument. Kepler affirme que rien *n'autorise à soupçonner* que les hypothèses de Copernic sont grevées d'une telle erreur : certes, mais rien n'autorise non plus, sans argument, à affirmer qu'elles ne sont pas. Le lecteur s'attend donc légitimement à ce que Kepler, ensuite, montre pourquoi chez Copernic la règle du niveau pertinent de généralité est respectée et pourquoi donc, abstraction faite de la pertinence observationnelle des hypothèses, celle de Copernic est supérieure à celle de Ptolémée. Or, il n'en est rien ; il est même frappant de voir Kepler, dans les lignes qui suivent, retourner à des arguments d'ordre strictement observationnel pour affirmer cette supériorité, et opère un repli du logique sur l'empirique.

1 Kepler, *Le Secret du monde*, trad. fr. In op.cit., p.45.

Mieux même, il reste plutôt ce que j'ai dit en commençant, à savoir que les principes de Copernic ne peuvent pas être faux, puisque l'on tire d'eux une explication constance et inconnue des Anciens d'une grande quantité de « phénomènes », dans la mesure où cette explication vient de ces principes.[1]

Pourquoi Kepler passe-t-il directement à l'argument par les phénomènes ? Pourquoi n'explique-t-il pas, par le texte de Copernic lui-même, que celui-ci n'a commis aucune erreur logique ? Car c'est bien d'une supériorité *logique* du copernicianisme dont il semblait être question jusqu'ici. Nous voudrions maintenant tenter de répondre à ces questions, et le faire en deux temps : nous allons d'abord tenter cela à partir du texte de Copernic lui-même, puis nous regarderons, dans la suite du texte de Kepler, les indices que ce dernier laisse quant à la supériorité *logique* proprement dite du modèle copernicien.

B. Copernic et les levers et couchers

La question du mouvement quotidien de la Terre est traitée au livre I du *De Revolutionibus*, aux chapitres 5 à 8 ainsi qu'au 11 ; il est l'occasion de la première évocation, dans le traité, de la possibilité que la Terre soit mue. Copernic, après les considérations relatives à la forme – sphérique – de la Terre et à la forme – circulaire – des mouvements des corps célestes, se demande en effet si le mouvement peut convenir à la Terre ; nous ne reviendrons pas ici sur l'ensemble des raisons alléguées en faveur de la rotation journalière, mais nous voudrions nous concentrer sur l'argument de type optique, c'est-à-dire relatif aux propriétés de la vision et phénomènes apparents, que Copernic met en avant dès le

1 Kepler, *ibidem*, p.45.

début du chapitre V. Réinvestissant une idée formulée que l'on trouve chez Euclide[1], il explique que lorsqu'un mouvement est perçu par un observateur, on peut en conclure qu'il y a un mouvement soit de la chose qui est vue en mouvement, soit de l'observateur par rapport à cette chose, soit un mouvement des deux – mais à une condition toutefois : que les mouvements respectifs de l'observateur et du mobile ne soient pas identiques car, comme il l'écrit, on ne peut percevoir un mouvement « entre des mobiles – je veux dire l'objet vu et l'observateur – transportés par un mouvement égal dans la même direction ». Une fois cela posé, l'explication des levers et couchers du Soleil, de la Lune et des étoiles se trouve face à l'alternative d'attribuer le mouvement diurne plutôt à la Terre ou plutôt au reste du monde. Nous voudrions faire ici deux séries de remarques, sur le rapport entre cette question et le problème de la systématicité qui nous occupe dans ces pages :

Tout d'abord, il convient de mettre en perspective cette question des levers et couchers des astres avec un problème philosophique plus général qui est celui de l'existence et de la constitution de l'objet de l'étude. Lisons de près ce qu'écrit Copernic en cet endroit :

> *Or, c'est depuis la Terre qu'est vue la course de cieux, qui se répète devant nos yeux. C'est pourquoi, si quelque mouvement est attribué à la Terre, c'est ce même mouvement qui sera vu comme affectant toutes les choses extérieures à la Terre, mais dans l'autre sens, comme si elles défilaient devant nous : et il en est ainsi, en premier lieu, de la révolution quotidienne qui semble, en effet, entraîner le monde entier, à l'exception de la Terre et de ce qui l'environne.*[2]

1 Ainsi que le notent Lerner, Segonds, Verdet, *De Revolutionibus orbium coelestium, op.ci*t. III, p.88 ; ainsi qu'ils le précisent, il s'agit de *Optica*, prop. 51 : « Plusieurs grandeurs étant emportées à des vitesses inégales, si l'œil aussi est emporté du même côté qu'elles, celles qui sont emportés à la même vitesse que l'œil, semblent s'arrêter ; celles qui sont plus lentes semblent emportées en sens contraire, et celles qui sont plus rapides semblent emportées en avant ».

2 Copernic, De Revolutionibus orbium coeletium, *op.cit.* II, p23

Toute la question est de savoir si le mouvement est celui de la Terre – auquel cas le mouvement diurne des objets célestes n'est qu'apparent – ou bien si le mouvement est celui des objets célestes, auquel cas leur mouvement apparent est la manifestation adéquate de leur mouvement réel autour de la Terre. Nous voudrions montrer qu'il y a entre les deux options une différence qui ne relève pas seulement du simple arbitrage possible par l'astronome, que Copernic effectue par la suite en faveur du mouvement sur elle-même de la Terre. Les deux hypothèses – révolution des astres ou rotation de la Terre – recèlent une hétérogénéité logique que nous voudrions mettre au jour.

Pour que les levers et couchers des étoiles fassent l'objet d'une étude et d'une explication, la première condition est qu'ils soient perçus, c'est-à-dire à la fois, bien sûr, qu'ils soient observés, mais également qu'ils soient vus *comme* des levers et des couchers, c'est-à-dire comme moments d'une course, apparente ou réelle, qu'*un même* astre, qu'*un même* objet céleste : c'est en cela que l'on peut affirmer que les astres font comme un défilé devant nous, ainsi que l'écrit Copernic (« *tanquam praetereuntibus* »[1]). En sorte que les levers et couchers sont des moments d'un phénomène unique dont une partie seulement est visible, celle qui se fait entre le lever et le coucher de l'astre, et l'autre partie, entre le coucher et le lever est nécessairement supposée.

Ce problème est devenu canonique en philosophie, sous la plume notamment de G. Frege, dans ses *Ecrits logiques et philosophiques*, au chapitre intitulé « Concept et objet » ; explicitant la différence du « est » entre son sens copulatif, ou prédicatif (comme lorsque l'on dit que « la feuille *est* verte », pour reprendre son exemple) et un sens que l'on pourrait nommer identificatoire (lorsque je dis qu'une chose *est* Alexandre le Grand). Dans ce

1 *Ibid*., p.22

dernier cas, le *est* a, comme l'écrit Frege, « le rôle du signe arithmétique d'égalité »[1]. Et prenant l'exemple de Vénus, il distingue deux types d'usage du *est*, à travers deux phrases différentes : « l'étoile du matin est Vénus » d'une part, « l'étoile du matin est une planète d'autre part ». Lorsque l'on dit que « l'Etoile du matin est une planète », on prédique quelque chose de l'étoile du matin, on affirme de cet objet (« étoile du matin ») qu'il tombe sous un concept général (« planète ») ; pour le dire autrement, on s'occupe de savoir dans quelle classe d'objets il peut être rangé et on affirme qu'en l'occurrence, on peut le ranger dans la classe des planètes. On fait quelque chose de bien différent quand on dit que « l'Etoile du matin est Vénus » : en effet, on place un signe égal entre deux noms propres et on identifie les objets que l'on désigne respectivement par ces deux noms propres ; pour utiliser le vocabulaire frégéen, les deux noms dénotent le même objet. C'est ce qui nous intéresse ici, car l'affirmation que Vénus, et les planètes ainsi que l'ensemble des objets célestes, ont des levers et des couchers, implique que l'on soit capable, précisément, de mettre un signe égal entre deux termes, c'est-à-dire de montrer que deux termes renvoient à la même chose. Dire que Vénus se lève et se couche suppose que l'on puisse (c'est-à-dire à la fois que l'on en soit capable et que l'on soit fondé à le faire) identifier comme désignant un même objet l'étoile du matin et l'étoile du soir. Traduit en termes observationnels, parler des levers et couchers des astres suppose que l'on identifie comme manifestations d'un objet identique deux phénomènes différents que l'on observe, l'un au matin, l'autre au soir. Ce que nous voudrions montrer à présent c'est que l'opposition entre les deux usages du terme est recoupe l'opposition entre l'hypothèse de Ptolémée et celle de Copernic sur les levers et les couchers des astres.

1 Frege, *Ecrits logiques et philosophiques*, trad. Claude Imbert, coll. L'ordre philosophique, Seuil, Paris, 1971, p.129.

En effet, selon que l'on opte pour l'hypothèse ptoléméenne ou pour l'hypothèse copernicienne, le statut logique de l'hypothèse est différent.

Dans l'hypothèse ptoléméenne, ce qui est supposé, c'est l'existence d'un mouvement *réel* du ciel, et partant de l'ensemble des objets célestes, entre le lever et le coucher. En sorte que, dans une telle perspective, on pose l'existence d'une trajectoire unique, une orbite, et on considère que l'on voit au matin la planète qui a parcouru cette trajectoire non-observée et pourtant réelle de l'astre en question, ce mouvement qui, pour reprendre les mots de Copernic *« totum mundum videtur rapere »*[1] [entraîner le monde entier]. Donc l'existence même du mouvement de l'orbe est l'objet d'une supposition ; sur le plan logique, c'est d'abord et avant tout là-dessus que porte l'hypothèse ptoléméenne : l'existence d'un mouvement, qui entraîne le monde entier à l'exception de la Terre en son centre et c'est ce mouvement qui fait que les astres se lèvent et se couchent. On comprend dès lors pourquoi le raisonnement de Ptolémée peut être assimilé à un usage prédicatif du « est », tel que le définit Frege : le fait de désigner telle apparition au matin ou au soir comme un « lever » ou un « coucher » revient à dire que ce que l'on voit appartient à une classe de positions toutes effectuées par l'objet céleste considéré – l'orbite – et à prédiquer de cette apparition le fait d'appartenir à cette orbite.

Ceci appelle à notre sens un commentaire ; et pour cela, nous voudrions nous placer dans la perspective d'une analyse que fait Duhem de la conception ptoléméenne des hypothèses astronomiques. Dans *Sozein ta phainomena*[2], le physicien français commente la *Composition mathématique* de Ptolémée et remarque que l'astronome, quoi que peu enclin à

1 Copernic, *op.cit.*, II p.22.

2 *Duhem, Sozein ta Phainomena, Sauver les Apparences ; sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée (1908), Vrin, Paris, 2003.*

poser la question de l'accord entre l'Astronomie et la physique, la soulève en un passage[1] où il explique de quelle manière il convient de choisir les hypothèses propres à sauver les mouvements apparents des astres. Comme l'écrit Duhem, Ptolémée semble n'avoir « d'autre guide que la règle de la plus grande simplicité » : l'hypothèse à privilégier est toujours la plus simple, et la complexification ne se justifie que si l'hypothèse la plus simple échoue à sauver les phénomènes. La première remarque que nous voudrions faire est que cette règle de la plus grande simplicité a trouvé son application la plus importante dans le sauvetage du mouvement des planètes par rapport aux fixes. En revanche, en ce qui concerne l'explication du mouvement diurne qui semble emporter tous les objets célestes, force est de constater que Ptolémée a eu recours à une hypothèse qui n'était pas la plus simple, car elle n'était pas la plus économe. C'est ce que l'on comprend en regard de la justification copernicienne de la rotation sur elle-même, qui s'appuie sur une règle tout à fait similaire de plus grande simplicité. Dans la suite du texte que nous avons cité plus haut, l'argument est de nature, si l'on peut dire, économique : il faudrait *trop* supposer pour que le mouvement du ciel soit concevable. Voici ce qu'il écrit :

> *Et puisque le Ciel, qui contient et cèle tout, est le lieu commun de toutes choses, on ne voit pas d'emblée pourquoi attribuer le mouvement au contenu plutôt qu'au contenant, et à ce qui est dans le lieu plutôt qu'à ce qui donne un lieu.*[2]

Le latin exprime mieux encore le privilège accordé à la plus grande simplicité – la raison d'attribuer le mouvement au ciel plutôt qu'à la Terre *non satim apparet*[3]. Il nous faut donc élucider la raison pour laquelle la règle qui est valable pour le mouvement annuel des

1 *Ibid*., pp27 28
2 Copernic, *De Revolutionibus orbium coelestium, op.cit.*, II, p.23.
3 *Ibid*. p.23

planètes n'est pas appliquée par Ptolémée en ce qui concerne l'explication du mouvement diurne des objets célestes. Notre hypothèse est que ce n'est pas seulement pour des raisons cosmologiques ou physiques, mais qu'il y a une raison logique de fond, relative à la nature même de cette hypothèse astronomique.

Pour essayer d'élucider cela, venons-en au cœur de l'analyse que fait Duhem de Ptolémée, qui rejoint le fil directeur de son propos dans ce petit ouvrage : Ptolémée pratique une astronomie que l'on pourrait qualifier de *phénoméniste*, tenant les hypothèses posées par l'astronome comme des fictions. La thèse est bien connue, et nous ne voulons pas ici la discuter ; en revanche, il est quelque chose d'extrêmement important et complexe que Duhem dit en cet endroit[1] et sur lequel nous voudrions nous arrêter. Cela concerne le statut épistémique non pas des hypothèses elles-mêmes mais de la trajectoire qui est produite par les mouvements fictifs ; écoutons Duhem :

> *Les diverses rotations sur des cercles concentriques ou excentriques, sur des épicycles, qu'il faut composer pour obtenir la trajectoire d'un astre errant sont des artifices combinés en vue de sauver les phénomènes à l'aide des hypothèses les plus simples qui se puissent trouver. Mais il faut bien se garder de croire que ces constructions mécaniques aient, dans le Ciel, la moindre réalité.*[2]

Si les hypothèses astronomiques sont fictives, quel est le statut de la trajectoire elle-même au regard de la réalité ? Une première réponse consiste à dire que la trajectoire comprise comme composition de mouvement est une fiction, et Ptolémée l'écrit lui-même :

1 Duhem, S*ozein ta phainomena, op.cit.* p.29.
2 *Ibid.*, p.29

il faut faire la différence entre cette composition « pénible »[1] de mouvements et « ce qui se passe dans le Ciel ». Mais cette distinction entre une trajectoire fictive et une trajectoire réelle est-elle tenable ? Comment une trajectoire réelle peut-elle être sauvée par une trajectoire fictive ?

Afin de conclure ce moment sur Pierre Duhem, revenons sur l'enjeu initial de notre parcours ; nous avons voulu dégager le type de norme, sinon d'idéal, de connaissance à l'œuvre dans les interprétations de Kepler. Au terme de ce parcours, on peut avancer l'idée que chez Duhem, le reproche en illogicité adressé à Kepler (ainsi qu'aux autres grandes figures de la révolution copernicienne) dévoile, derrière la réfutation du réalisme, une hostilité au type de systématicité qui se met en place dans le copernicianisme en général, et chez Kepler en particulier. Du reste, le *système* est un nom qui pourrait tout à fait convenir au type de relations qui unissent les hypothèses entre elles lorsqu'est mis en œuvre une preuve par *expérience cruciale* – type d'administration de preuve dont Duhem nie toute pertinence.

Afin de bien comprendre les termes du débat, un détour par la *Théorie physique* s'impose ; non pas afin de l'étudier pour elle-même – tel n'est pas notre propos ici, mais afin d'essayer de cerner l'usage que fait Duhem lui-même de la notion de système, sans jamais la déterminer conceptuellement. Duhem fait, dans la Théorie physique, un usage dual de la notion de système, puisqu'il l'utilise : a/ d'une part pour désigner ce qu'il appelle des « systèmes métaphysiques », systèmes dans la dépendance desquels se placent les

1 Ptolémée cité par Duhem in *op.cit.*, p.29.

théories physiques lorsqu'elles se présentent comme des explications, c'est-à-dire des dévoilements[1], de la réalité, mais b/ d'autre part pour qualifier les théories physiques elles-mêmes, lorsque celles-ci sont correctement comprises, c'est-à-dire lorsqu'elles sont « autonomes »[2] par rapport à toute position métaphysique :

> *Une théorie physique n'est pas une explication. C'est un système de propositions mathématiques, déduites d'un petit nombre de principes, qui ont pour but de représenter aussi simplement, aussi complètement et aussi exactement que possible, un ensemble de lois expérimentales.*[3]

Dans l'explicitation qu'il donne de cette définition, Duhem laisse entrevoir ce qu'il entend par un système de propositions : il s'agit d'un ensemble restreint de principes, ou hypothèses, qui servent de « fondements »[4] à la théorie en question. Dans la mesure où ces principes ne prétendent pas décrire la nature des choses mais simplement opérer une liaison entre des régularités expérimentales, ils peuvent être choisis de manière arbitraire[5] sans qu'il n'y ait entre eux aucune contradiction. Les deux principes – et deux seuls – qui s'imposent à qui veut produire une théorie physique au sens de Duhem sont donc :

1) le principe d'économie et

2) le principe de contradiction.

La question qui se pose à nous, ici, est donc la suivante : ces deux principes sont-ils suffisants pour que l'on puisse parler de *système* ? L'idée que nous voudrions défendre, à la

1 Voir le tout début de la *Théorie physique (1906)*, in Duhem, P., *La théorie physique Son objet, sa structure, coll. Bibliothèque des textes philosophiques, Vrin, Paris 2007.*
2 *Ibid*., p.23
3 *Ibid*., p.24.
4 *Ibid*., p.25
5 « Ces hypothèses peuvent donc être formulées de manière arbitraire », *ibid*., p.25.

lumière de sa lecture de Kepler, est que ce que Duhem appelle *système* désigne plutôt ce que nous pourrions appeler un *esprit de système*, c'est-à-dire non pas une totalité centralisée et organique, mais un type de rapport aux objets du savoir dont les ressorts principaux sont l'abstraction et la généralisation. Or, ces deux attitudes d'esprit, abstraction et généralisation, sont, comme la systématisation, des modes d'idéalisation, qui plus est dans la théorie physique, des modes d'idéalisation mathématique, mais qui ne coïncident pas avec la systématisation.

À l'appui de cela, nous voudrions remarquer que la notion d'esprit de système est en affinité avec le vocabulaire de Duhem lui-même, puisque son chapitre IV, « Les théories abstraites et les modèles mécaniques (I) », commence par deux portraits, deux caractères, presque, pourrions-nous dire, décrivant « deux sortes d'esprit : les esprits amples et les esprits profonds »[1]. Considérant que son travail est de combattre, comme il le dit, l'amplitude d'esprit, c'est-à-dire cette disposition par laquelle certains ont « une merveilleuse aptitude pour rendre présent à leur imagination un ensemble compliqué d'objets disparates »[2], qui sont capables de percevoir d'un seul regard tous les éléments de cet ensemble, avec tous les détails, il met en avant l'esprit certes plus étroit, dont l'acuité du regard est beaucoup plus réduite, et qui de ce fait, presque comme une seconde navigation, « choisit ces propriétés premières, [...] formule ces hypothèses fondamentales, de telle sorte qu'une déduction fort longue peut-être, mais très sûre, en puisse tirer toutes les lois appartenant à l'ensemble qu'il étudie »[3]. Il est clair ici que ce qu'il entend par *esprit* (amplitude d'esprit, esprits amples, esprits profonds) renvoie davantage à un ensemble de dispositions psychologiques plutôt qu'à un idéal de connaissance. En conséquence de quoi,

1 *Ibid*. p.77.
2 *Ibid*. p.79
3 *Ibid*. p.77

l'idéal de systématicité dont nous pensons avoir trouvé la trace et, par endroits, l'expression, dans l'œuvre de Kepler, en est tout à fait distinct.

Pour établir cela, restituons d'abord un paragraphe essentiel, et qui se situe à la toute fin du petit ouvrage de 1908, *Sauver les apparences* :

> *Lorsque Kepler multipliait ses tentatives pour rendre compte des mouvements des astres à l'aide des propriétés des cours d'eau et des aimants, lorsque Galilée cherchait à accorder la course des projectiles avec le mouvement de la Terre, ou à tirer de ce dernier mouvement l'explication des marées, ils croyaient prouver, l'un et l'autre, que les hypothèses coperniciennes ont leur fondement dans la nature des choses ; mais la vérité qu'ils introduisaient peu à peu dans la Science, c'est qu'une même Dynamique doit, en un ensemble unique de formules mathématiques, représenter les mouvements des astres, les oscillations de l'Océan, la chute des graves ; ils croyaient renouveler Aristote, ils préparaient Newton.*[1]

Le défi lancé par les esprits utilitaires à la théorie physique est assez clair : comment peut-on concilier l'idéal d'abstraction et de généralisation d'un côté, et de l'autre la coexistence possible de plusieurs complexes expérimentaux, symbolisés par plusieurs théories, reposant chacun « sur des hypothèses inconciliables avec les hypothèses qui portent les autres »[2] ? Autrement dit, la définition de la théorie physique par la généralisation et l'abstraction expose à la possibilité du pluralisme théorique – possibilité en laquelle gît le risque de l'incohérence logique. Or, répond Duhem par anticipation de cette objection, la logique seule n'est pas suffisante pour interdire ce pluralisme : elle ne permet pas d'« empêcher un physicien de représenter par plusieurs théories inconciliables soit des ensembles divers de lois, soit même un groupe unique de lois »[3] ; et Duhem de

1 Duhem, P., *Sauver les apparences, op.cit., p.152.*
2 Duhem, *La Théorie physique, op.cit*., p.148.
3 *Ibid*., p.148.

conclure très nettement de cela : « on ne peut condamner l'incohérence de la théorie physique »[1]. Thèse apparemment déroutante, et bien connue, qui toutefois n'est valable qu'à la condition expresse que soit acceptée la conception duhémienne de la théorie physique, et plus exactement qu'elle ne soit pas tenue pour ce qu'elle n'est pas – « une explication des lois du monde inorganique »5. L'incohérence dans les théories n'est un problème que si elle suppose l'existence de choses contradictoires au sein même de la réalité : il serait en effet absurde, car contradictoire, que tel ou tel élément de la matière à la fois ait et n'ait pas telle ou telle propriété. Toutefois, si l'on ne parle de rien de *réel*, on ne se contredit pas : on est dans une incohérence non-contradictoire, ou, dit autrement, une contradiction acceptable pour la logique de la connaissance scientifique : « La logique ne fournit donc point d'argument sans réplique à qui prétend imposer à la théorie physique un ordre exempt de toute contradiction [...] »[2].

L'idée que nous voudrions développer maintenant fait fond sur une remarque de Cassirer, dans Le Problème de la connaissance1 : il y a dans l'œuvre de Kepler une trajectoire que nous pourrions appeler d'émancipation vis-à-vis de la perfection. La libération de la hantise de la circularité n'aurait pu se faire si l'astronome impérial en était resté à une certaine « naïveté »[3] dont Copernic n'était pas parvenu à se défaire. Cette naïveté réside dans la soumission de la recherche concernant les trajectoires planétaires à une « déduction téléologique »[4], c'est-à-dire à partir d'une forme prédéfinie de la trajectoire des planètes – la forme circulaire – et à chercher *à tout prix* à ce que le mouvement de la planète soit sauvé par une combinaison de tels cercles. Cette déduction

1 *Ibid*., p.148.
2 *Ibid*, pp.149-150.
3 *Ibid*., p.278.
4 *Ibid*., p.278

est téléologique dans la mesure où elle s'appuie sur le fait qu'en se mouvant de manière réellement circulaire – ou plus exactement, en se mouvant de manière plusieurs fois circulaire, puisque c'est bien une combinaison de cercles que décrit la planète – la planète actualise la perfection de son être. Évidemment, rechercher *à tout prix* un bouquet de cercles a un coût technique particulièrement élevé, en ce qu'il oblige à multiplier de façon déraisonnable le nombre d'éléments de la combinaison cinétique : en ceci, on ne rappellera jamais assez à quel point on a exagéré, rétrospectivement, la simplification apportée par Copernic dans la description des mouvements planétaires. Mais il y a un problème plus profond, une contradiction, pourrions-nous dire, qui traverse de manière longitudinale toute l'astronomie circulariste : la soumission de la trajectoire planétaire au perfectionnisme circulaire, en donnant à l'astronomie sa finalité heuristique, en détruit les conditions de possibilité épistémiques. Expliquons-nous : le programme circulariste repose sur l'idée selon laquelle les trajectoires planétaires sont *en apparence* erratiques, mais *réellement* régulières ; en ceci, et contrairement à ce qu'affirme Duhem, l'injonction à *sozein ta phainomena* est un programme réaliste, c'est-à-dire qu'il invite à déchirer le voile d'irrégularités pour accéder à une réalité régulière et parfaite – régulière *donc* parfaite.

Que les planètes ne se meuvent pas réellement en cercles, mais en ellipses, n'est au fond pas le problème le plus important pour l'astronomie circulariste – même si c'est le passage à l'ellipse qui peut être tenu pour l'acte de rupture qui fait sortir l'histoire de l'astronomie d'une ornière dans laquelle elle s'était enfermée depuis près de deux mille ans. Le mal venait de plus loin. Il venait de ce que l'idée même de combinaison de cercles est une contradiction quasi-performative : combiner des cercles pour reconduire de l'irrégulier à du régulier est une illusion constitutive du programme circulariste. La combinaison de cercles fait exactement le contraire : elle produit de l'irrégulier à partir du

régulier, elle produit des trajectoires erratiques à partir d'un mouvement simple et parfait. L'astronomie des épicycles et des excentriques produit donc le contraire de ce qu'elle recherche : en lieu et place d'une reconduction d'une irrégularité apparente à une régularité réelle, elle substitue à une irrégularité réelle une irrégularité fictive. La recherche de la régularité à partir de données observationnelles irrégulières ne peut produire que de l'irrégularité : sauver des phénomènes irréguliers conduit au paradoxe épistémique qui consiste à vouloir rendre intelligible de l'inintelligible en montrant comment des éléments suprêmement intelligibles (en l'occurrence des cercles) produisent des phénomènes irréguliers donc par nature inintelligibles. Les combinaisons de cercles, en gâtant la circularité effective de la trajectoire, déchoient l'intelligibilité ; en ce sens, le mot de Bergson selon lequel « le physique est du logique gâté »[1] prend, avec quelques aménagements, tout son sens : le phénomène planétaire est du géométrique gâté, et la géométrie échoue à rendre intelligible ce qui par nature ne lui est pas connaturel. À l'opposé du monde physique qui entretient avec l'intelligible un rapport de participation par la médiation des mathématiques, c'est-à-dire où les mathématiques sont le *metaxu* par lequel peut s'opérer la transformation de l'un en multiple, du logique en physique, etc., dans l'astronomie circulariste, en réalité, les objets géométriques ne sont pas transformants mais transformés, le cercle est dé-circularisé par la combinaison – autrement dit : la combinaison de cercles introduit la confusion qui rend la trajectoire décrite aussi irrégulière et, en somme, absurde, que la trajectoire empirique apparente. On ne reconduit pas l'empirique au logique par les mathématiques, on dé-logicise les mathématiques pour les rendre assimilables à des observations apparemment dépourvues de logique.

1 Bergson, *L'Evolution créatrice*, Puf, Paris, 1907, p.343.

En sorte que, pour paraphraser le mot de Duhem contre Kepler et Galilée, mais le diriger au contraire vers l'astronomie anté-képlérienne, l'astronomie des cercles fictifs repose bien sur un « réalisme illogique »[1], qui consiste à vouloir ramener de l'irrégulier apparent à du régulier réel ; en fait de cela, les combinaisons de cercle sont une technique de production d'irrégulier mathématique : pour refuser que quoi que ce soit dans la réalité soit différent du cercle, on montre que le cercle peut être tordu. C'est, à notre sens, pour cela que l'astronome doit bien se garder de se demander si ces hypothèses qu'il utilise, ces excentriques et ces épicycles, ont une quelconque *réalité* : leur caractère fictif, que Duhem a mis en valeur avec une grande netteté et une force démonstrative impressionnante, ne vient cependant pas d'une épistémologie phénoméniste ou instrumentaliste de l'astronomie, mais bien de la perte de réalité que subit le cercle dès lors que, par combinaison, par torsion, il épouse les formes irrégulières des données d'observation. De ce point de vue, Copernic comme Ptolémée se trouvent embarqués sur ce radeau de fortune épistémique qui consiste à dérégulariser le cercle pour perfectionner les mouvements : ce perfectionnisme planétaire est une contradiction épistémique performative dont Kepler fut le premier à sortir, précisément parce qu'il a renoncé au perfectionnisme.

Laissons la parole à Cassirer :

> *Kepler, « contraint par des observations » de passer à des trajectoires elliptiques, mit fin de ce seul fait à une intuition méthodologique fondamentale ; il fut le premier à donner une réalité scientifique à l'idée qu'il y a de l'ordre et de la légalité dans l'irrégulier* [Cassirer souligne][2].

1 Voir dans Duhem, S*ozein ta phainomena, op.cit., p.152.*

2 Cassirer, E., *Le problème de la connaissance dans la philosophie et la science des Temps modernes.* I. *De Nicolas de Cues à Bayle.* Traduit de l'allemand par René Fréreux. Préface par Massimo Ferrari (traduite de l'italien par Thomas Loisel). 2004, p.279.

Comprenons bien : l'ellipse et le cercle sont deux objets géométriques et le traitement des données observationnelles sur les mouvements des planètes est équivalent du point de vue épistémologique : il s'agit bien dans les deux cas, mais avec des techniques différentes, de mathématiser les trajectoires planétaires. Mais la différence entre l'ellipse képlérienne et le cercle anté-képlérien est principielle : l'ellipse de la nouvelle astronomie permet une mise en ordre rationnelle d'un désordre empirique accepté, *contraignant* – contraignant c'est-à-dire *réel*, là où le cercle de l'ancienne astronomie est une expression confuse et fictive d'un désordre auquel on refuse toute existence.

L'idéalisme qui se met en place est donc de cette nature : le désordre est existant, l'ordre est réel.

Pour que le mouvement des planètes puisse être conçu de manière légale, c'est-à-dire que la trajectoire soit l'expression phénoménale d'une relation constante et nécessaire entre des variables déterminées et quantifiées, il fallait que fût acceptée l'existence d'une irrégularité au sein même du monde. Non seulement il fallait s'émanciper de la fameuse hantise de la circularité, mais il fallait par ailleurs considérer que le passage de l'irrégularité à la régularité n'est pas une réduction, ou une reconduction, en tout cas la *metabasis* d'un type de réalité à un autre type de réalité. Il fallait au contraire que pût être envisagé que l'irrégularité n'est pas le contraire de la légalité, et par conséquent faire voler en éclat toutes les antinomies qui se structuraient autour du tandem régulier/irrégulier, en l'occurrence réel/apparent, intelligible/inintelligible, etc. Le geste képlérien, en ce sens inaugural (« il fut le premier… »[1]) et fondateur (« la nouvelle idée fondamentale… »[2]), a consisté précisément à montrer que l'irrégulier *existe*, qu'elle est intelligible parce que

1 *Ibid*., p.279
2 *Ibid*,. p.280

légale. Comme l'écrit Cassirer, « la constance cherchée n'est plus dans la forme de sa trajectoire, elle est dans les principes de sa mécanique et de sa physique »[1].

C'est là que gît la supériorité épistémique de la loi sur le cercle. Contrairement au cercle qui perd sa nature (sa circularité) dans la pluralité (une combinaison de cercles n'est pas circulaire : la pluralité détruit la circularité), la loi est par nature production de pluralité à partir d'unité. Ce qui est important dans la *forme* ellipse est donc moins la *morphè* (encore qu'elle soit celle qui corresponde aux trajectoires planétaires, ce qui était, du point de vue du calcul, l'essentiel) que la forme cognitive dont elle était grosse dans l'esprit de Kepler : la forme de la légalité, car cette forme permettait d'intégrer *tous* les phénomènes observés, de n'être gêné par aucun mais d'être au contraire principe de production de tous, ceux qui apparaissent comme réguliers comme ceux qui introduisent dans le monde phénoménal de l'irrégularité. À la limite, le concept de loi rend caduque la notion de régularité (et, partant, d'irrégularité) et vaine sa recherche comme principe moteur de la science. Du point de vue de la science légale, la « régularité » n'est plus que le fantasme – pour ne pas dire le fantôme – d'une constance non légale, c'est-à-dire, en fait, une constance aléatoire ; non légale, la régularité est par ailleurs illicite, en ce qu'elle est au principe d'un tri arbitraire entre les phénomènes, ne pouvant les accepter tous, et s'appuyant abusivement sur une distinction entre le réel et l'apparent pour effectuer ce tri.

C'est bien d'ailleurs ce que connote l'expression « *sozein ta phainomena* » : il s'agit de *sauver*, c'est-à-dire, littéralement, de faire échapper à la disparition, à la dissolution dans le néant, de raccrocher ce qui peut l'être à la réalité et à l'intelligibilité. Mais l'histoire de l'astronomie telle que Kepler l'a sous les yeux au moment où lui résiste la détermination de

1 *Ibid* ., p.279

la trajectoire de mars montre comment ce sauvetage a pris, jusques et y compris après l'inversion copernicienne des hypothèses, la forme d'un *sauve-qui-peut* observationnel, d'une arche prenant l'eau en permanence et dans laquelle tous les phénomènes ne peuvent monter.

III. Cassirer : Kepler et le problème de la connaissance

le concept philosophique fondamental qui pénètre et unifie toutes les parties du système scientifique de Kepler, à savoir le concept d'harmonie.[1]

Dans son immense somme intitulée *Problème de la connaissance dans la philosophie et la science des temps modernes*, Cassirer consacre un chapitre à ce qu'il nomme « la naissance de la science exacte »[2] et au cours duquel il étudie successivement Léonard de Vinci, Kepler et Galilée. Nous voudrions tenter de saisir la spécificité de la lecture que fait Cassirer de Kepler, et montrer comment la notion de systématisation invite à compléter cette dernière, en même temps qu'elle y trouve un éclairage extrêmement précieux.

Cassirer présente Kepler comme un cas singulier et l'incarnation d'un « problème philosophique fascinant et significatif ». Comme pour beaucoup d'exégètes, il situe le mathématicien impérial dans une situation hybride, intermédiaire entre la science telle qu'elle se faisait avant lui et son devenir ultérieur. L'économie de ce chapitre, c'est que cette position hybride s'incarne dans son insertion entre Léonard et Galilée. Nous voudrions donc, pour mieux apprécier une telle hybridité, montrer les rapports et les écarts qu'il pointe respectivement, et presque symétriquement, entre Kepler et les deux Italiens.

La rupture que Kepler introduit avec la science renaissante se situe d'abord et avant tout, aux yeux de Cassirer, dans le rapport à l'expérience : il l'affirme sans ambages dans le

1 Cassirer, E., *Le problème de la connaissance dans la philosophie et la science des Temps modernes.* I. *De Nicolas de Cues à Bayle.* Traduit de l'allemand par René Fréreux. Préface par Massimo Ferrari (traduite de l'italien par Thomas Loisel). 2004, p.250.

2 Cassirer, E., *Le problème de la connaissance dans la philosophie et la science des Temps modernes.* I. *De Nicolas de Cues à Bayle.* Traduit de l'allemand par René Fréreux. Préface par Massimo Ferrari (traduite de l'italien par Thomas Loisel). 2004, p.250.

paragraphe immédiatement précédent, alors qu'il conclut son analyse de Léonard de Vinci : « le concept moderne d'expérience n'est apparu qu'avec Kepler »[1] . Néanmoins, comme l'explique Cassirer, lecteur attentif de Duhem sur ce point[2], les analyses de Léonard ont, sur la question de l'expérience en particulier, initié une transformation que Kepler a, pour sa part, accomplie. Le trait essentiel de ce qu'il appelle le *type d'esprit scientifique* de Léonard de Vinci[3] est le détachement progressif des spéculations de la philosophie de la Nature de son temps, sous l'influence de Nicolas de Cues, au profit d'un explication mathématique de l'ordre naturel :

> *Car c'est aussi*[4] *sous l'empire et la direction de la mathématique pure qu'il place l'idée de Nature. Ce qui est décisif dans la conception des mathématiques de Léonard, c'est que non seulement il les situe au sommet pour leur certitude interne, immanente, leur certezza subjective, mais qu'il y voit la première étape nécessaire pour fixer le concept de règle et de loi de la nature. Tant qu'on se contente de penser la nature en elle-même, elle reste à nos yeux un chaos de forces et de prodiges occultes. Seul le critère du mathématique permet de distinguer l'ordre légal, un et inviolable, qui ne souffre aucune expression chimérique, et toutes les inventions de l'imagination ; il trace dont la frontière entre la sophistique et la science.*[5]

Cette caractérisation de l'esprit scientifique de Vinci nous semble appeler deux commentaires :

---

1 *Ibid*, p.248

2 Ainsi qu'il le reconnaît lui-même, ce sont les analyses de Duhem qui ont montré, « de façon convaincante », l'inscription historique des travaux de Léonard, *ibid*., p.243

3 Cassirer, E., *Le problème de la connaissance dans la philosophie et la science des Temps modernes.* I. *De Nicolas de Cues à Bayle.* Traduit de l'allemand par René Fréreux. Préface par Massimo Ferrari (traduite de l'italien par Thomas Loisel). 2004, p.242.

4 « Aussi », c'est-à-dire à l'instar de Nicolas de Cues ; *cf*. p.243.

5 Cassirer , E., *op.cit*., p.243 ; et Cassirer cite ensuite Léonard dans le texte : « Qui méconnaît la suprême certitude des mathématiques se repaît de confusion et ne réduira jamais au silence les contradictions des sciences sophistiques qui font un bruit perpétuel ».

1) Tout d'abord, la position architectonique des mathématiques, si elle permet de distinguer science et sophistique, c'est-à-dire d'une part une connaissance rationnelle – et, partant, vraie – de la nature et d'autre part des explications fantaisistes, fantastiques même, et par conséquent qui appellent une reconfiguration du rapport entre entendement et imagination, produit également une transformation du statut de l'expérience : si cette dernière est ce à quoi l'on doit faire appel contre l'autorité et la tradition – autrement dit, pour reprendre les belles formules de Cassirer, si l'expérience est « la grande et éternelle institutrice »[1], « la maîtresse de ces maîtres de l'école »[2] à laquelle il faut toujours revenir, elle ne garantit pas en tant que tel le type de savoir qui sera produit à partir d'elle. Tant et si bien que si elle constitue le point de départ de l'activité scientifique, c'est au titre de ce qui doit être dépassé vers l'explication du phénomène dont on peut faire l'expérience. Dans une telle présentation, la science de Léonard est donc illustrative des ambiguïtés du rapport entre la science moderne et l'expérience, et annonciatrice, ou anticipatrice, de l'empirisme subtil de Galilée, prônant à la fois un retour aux choses vues mêmes, et construisant en même temps une physique contre-intuitive de l'expérience ordinaire ; Cassirer le présente même explicitement comme ça, comme ayant « anticipé » la méthode[3] de Galilée, et plus largement de la science moderne de la nature. Plus généralement, le portrait épistémologique que Cassirer peint de Léonard est bien orienté par la recherche de germes de ce qui fleurit chez ses successeurs. Dans le cas de Kepler, il va même jusqu'à assimiler les deux dans le partage de deux traits

1 Cassirer, E., *op.cit.*, p.246
2 *Ibid.*, p.246.
3 *Ibid.*,p.246

de tempérament intellectuel : « la liberté et la vivacité de la fantaisie esthétique d'une part, la pureté et la profondeur de la spéculation mathématique d'autre part ».[1]

2) Cette lecture à la fois rétrospective (dans le rapport à Nicolas de Cues) et prospective (Kepler, Galilée) de la place de Léonard de Vinci dans l'histoire de la philosophie, s'accompagne d'une définition en creux d'un certain type d'intelligibilité de la nature, qui se trouve à l'articulation de ces deux traits d'esprit – esthétisme et mathématisme. Cassirer insiste sur le dépassement de la contingence des événements naturels que doit permettre leur explication scientifique ; de telle sorte que cette dernière doit établir à la fois la nécessité de chaque phénomène et, indissociablement sous la plume de Cassirer, l'unité de la nature. Citons la manière dont il compare, ou plus exactement oppose, l'attitude scientifique de ce que l'on pourrait ici qualifier d'attitude naturelle – à la fois attitude de la nature elle-même, et aussi sans doute d'une certaine disposition pré-scientifique de l'esprit :

La pensée doit inverser le rapport entre la cause et l'effet tel qu'il existe dans la nature ; si celle-ci va du simple au complexe, des conditions à l'effet, celle-là commence nécessairement par le phénomène en sa complexité et revenir ainsi à ses éléments fondamentaux.[2]

La nécessitation des événements naturels suppose une reconduite de l'effet à la cause, du complexe au simple, du divers à l'unité.

1 Ibid., p.248.
2 Cassirer, E., *op.cit.,* p.246.

Voyons comment cette exigence posée sur l'intelligibilité de la nature imprègne la conception que Cassirer développe d'une part de la légalité de la nature (A), d'autre part de l'harmonie du monde (B), enfin du mouvement (C), chez Kepler.

A. Cassirer et la légalité képlérienne de la nature

La cheville ouvrière de la transformation de la physique képlérienne se situe, à l'instar de ce qu'elle est chez Pauli, au niveau de l'animisme astronomique. Dans sa jeunesse, le motif dominant de son interprétation du système des planètes résidait dans les âmes qu'il leur attribuait, et qui possédaient une valeur explicative réelle de leur mouvement. Non seulement, elles avaient la puissance motrice à même de les mouvoir en l'absence de sphères solides, mais il était concevable de leur attribuer la capacité de les diriger sur la voie sinueuse et irrégulière que constitue, en apparence du moins, leur orbite. Cassirer attribue cette explication animiste du mouvement des planètes et, faisant référence à Bruno, Scaliger, et même à Dante[1], pour peindre un époque pénétrée de cette conception d'un monde hanté par les âmes, vision qui trouvait son expression à la fois, et conjointement, dans les productions théoriques et dans les productions esthétiques. Kepler fut à l'origine le produit de cette époque, ainsi qu'en témoignent les spéculations du *Mysterium*.

Fidèle à sa méthode consistant, pour partie du moins, à chercher dans l'histoire de la pensée – ici en l'occurrence d'*une* pensée, celle de Kepler – des *traces*, ou plus exactement des *germes* de son devenir ultérieur. En ce qui concerne Kepler, c'est écrit très

1 « Il suffit de penser à la vision grandiose de *Dante*, célébrant, au début du « Paradis », l'unité et la connexion des cercles célestes et de leur « moteur bienheureux » ; voir Cassirer, E., *op.cit*., p.266.

explicitement, sa période animiste contenait les germes de sa rupture avec l'animisme et de la substitution du concept d'âme par le concept de force :

L'intuition qu'il avait eue, dans son œuvre de jeunesse, d'une action moins forte des *âmes* des planètes quand les planètes sont plus éloignées de leur centre commun, contenait déjà en germe [...] le principe sur lequel devaient s'appuyer plus tard les observations des mouvements de Mars et toute la physique du ciel ; il n'y a qu'une seule différence : c'est qu'au lieu du *concept d'âme*, qu'on utilisait jusque-là, il faudrait mettre en œuvre le *concept de force*.[1]

Arrêtons-nous un instant sur cette phrase. Cassirer explique que l'abandon du concept d'âme a été motivé par un élément qui était déjà présent à l'époque où les âmes constituaient le principe explicatif du mouvement des planètes – en l'occurrence, ce qui dès le *Mysterium cosmographicum* était tenu pour un acquis de l'observation : la vitesse d'une planète est fonction inverse de sa distance au Soleil, de manière analogue à la lumière émise par la Soleil s'atténue à mesure que l'on s'en éloigne. Tirant de là que la cause du mouvement des planètes devait elle-même décroître avec l'augmentation de la distance au soleil, il en vint à conclure, comme il l'écrit lui-même, que « cette cause devait être quelque chose de corporel »[2] ; cette *incorporation*, si nous pouvons dire, de la cause du mouvement, a conduit Kepler à abandonner les âmes au profit des forces et, ce faisant, élément remarqué souligné par Cassirer[3], les concepts d'*âme* et de *force* perdaient la synonymie avec

1 Cassirer, E., *op.cit.,* p.246
2 *Ibid*., p.266.
3 *Ibid*., p.266

laquelle ils étaient utilisés jusque-là pour devenir à présent des *contraires conceptuels* : dès lors, l'explication par les âmes et l'explication par les forces devenaient exclusives l'une de l'autre et seule la seconde pouvait être à bon droit tenue pour une explication scientifique du mouvement des planètes. *Quid* alors du fait que Kepler n'ait jamais abandonné la référence aux âmes dans sa philosophie naturelle ultérieure ? Cassirer y voit simplement dans cet animisme tardif un vestige ne se maintenant que comme « jeu de l'imagination esthétique » et non pas au titre d'une « idée scientifique qui aurait une signification et une réalité objectives »[1].

Nous voudrions alors esquisser ici deux remarques :

1) Tout d'abord, nous soulevons les mêmes réserves quant à l'interprétation du statut des âmes planétaires que nous l'avions fait quelques pages plus tôt concernant les analyses de W. Pauli : il ne s'agit, selon nous, non pas d'un vestige mais d'une anticipation sur ce qui est à même de remplir la fonction motrice qui lui est dévolue dans le système des interactions planétaires.

2) La lecture cassirérienne de la désanimation du monde au prisme de la notion de *fonction* confirme du reste – et nous espérons que cela apparaîtra de façon plus évidente dans les pages qui suivront, que le type d'idéalisation képlérienne de la nature constitue une systématisation, en ce sens, une fois de plus, où dans toute systématisation la position de chacun des éléments n'est pas un lieu mais une fonction.

1 *Ibid*., p.267.

B. Idéalisation et harmonie du monde

Nous voudrions maintenant interroger, avec Cassirer, le concept d'harmonie lui-même dans la pensée de Kepler ; c'est en effet lui qui nous paraît à même de cerner toute la difficulté qui nous occupe ici, et qu'il nous faudra mettre en lien – ou en confrontation – avec la notion de système. C'est aussi en lui que nous devrons penser la place des nouveautés célestes, comme contre-épreuve de l'harmonie du monde et, en négatif, preuve de la systématicité de la science nouvelle de ce monde. Cassirer est celui qui a posé presque explicitement la question du rapport entre harmonie du monde et systématicité de la connaissance, lorsqu'il évoque :

> *le concept philosophique fondamental qui pénètre et unifie toutes les parties du système scientifique de Kepler, à savoir le concept d'harmonie.*[1]

Comme il est très clairement dit dans cet extrait et dans les lignes qui suivent, la systématicité est bien quelque chose qui caractérise la science elle-même, ou, en l'occurrence, la pensée d'un auteur, alors que l'harmonie, de son côté, renvoie au monde : comme l'écrit Cassirer[2], « une acception et une signification objectives », et « renvoie à l'intuition du monde comme *cosmos* », c'est-à-dire comme un tout ordonné selon des lois géométriques.

Nous voudrions interroger, avec Cassirer, cette dichotomie entre ce que nous pourrions appeler un système-sujet et une harmonie-objet ; nous voudrions aussi insérer cette question dans la thématisation spécifique de la notion de système – notion qui est ici

1 Cassirer, E., *op.cit.*,p.250.
2 *Ibid.*, p.250.

employée par Cassirer mais qui, n'étant pas présente sous la plume de Kepler, n'est pas thématisée dans ce chapitre que Cassirer lui consacre.

Dans les connaissances que produit un savant, ou une communauté savante, ou une période de l'histoire des idées, sont toujours contenues, scellées, de manière plus ou moins consciente et explicite, les *normes* distinctives du savoir à l'aune desquelles ces connaissances ont été produites. Dit autrement, il doit être possible de trouver au sein d'un texte ou d'une théorie scientifique les règles et les exigences qu'avait en vue celui qui les a produits, et auxquelles il se soumettait pour que ses idées puissent valoir comme des connaissances ; de ce point de vue, les théories vraies comme les théories fausses sont également dignes d'intérêt pour le philosophe des sciences, car de ce point de vue par ailleurs, théories vraies et théories fausses diffèrent en regard de la *vérité* mais non en celui de la *scientificité*. Dit autrement encore, si l'on veut comprendre ce qu'une théorie a de vrai au regard de l'histoire des sciences, il faut être capable de suspendre la question de sa vérité au regard de l'histoire des connaissances. Cela nécessite donc de distinguer l'histoire des sciences de l'histoire des connaissances, celle-là étant une histoire des normes épistémiques, celle-ci l'histoire de la production et de l'élimination des théories à l'aune des normes produites par celle-là. Demandons-nous maintenant, avec Cassirer qui, dans ces pages serrées, nous permet de déployer le problème dans toute sa profondeur philosophique : quelle norme épistémique commande l'harmonisme géométrique, c'est-à-dire le modèle képlérien constant d'élucidation du monde, modèle qui a survécu à l'élimination partielle de l'animation du monde ? Et, corrélativement, pourquoi et comment l'harmonisme a-t-il pu survivre à l'animisme duquel, à première vue, il semblait indissociable ?

Harmonie et animisme

Pour commencer à répondre à ces questions, commençons par rappeler *pourquoi* le destin de l'harmonisme et celui de l'animisme étaient, *de droit*, liés. Ce sera l'occasion de comprendre pourquoi, *de fait*, ils ne l'ont pas été.

L'existence des âmes planétaires fournissait, chez le jeune Kepler, une intelligibilité de secours aux mouvements planétaires après la disparition des orbes solides. Mais cette intelligibilité ne tient pas simplement à l'explication que les âmes donnaient à la puissance motrice des planètes, c'est-à-dire au fait que, nonobstant leur répugnance au mouvement, elles puissent se mouvoir sans être serties dans des sphères en mouvement. Elles permettaient aussi de comprendre comment les planètes pouvaient connaître le mouvement qu'elles devaient suivre et, partant, réaliser un mouvement qui corresponde à l'harmonie générale de l'ensemble – chaque planète ne se déplaçant pas, si nous pouvons dire, n'importe comment, mais selon une trajectoire réglée et en harmonie avec les autres.

En sorte que l'animisme *explique* l'harmonie – pas de disposition ni de mouvement harmonieux des planètes sans l'existence des âmes planétaires – et que l'harmonie, en un sens, *prouve* l'animisme : le comportement réglé (pour *chaque* planète) et cohérent manifestant l'existence d'une puissance à la fois motrice mais également intelligente dans chacune des parties du système planétaire.

Cassirer et le concept d'harmonie

Regardons maintenant attentivement l'analyse que propose Cassirer de l'harmonie chez Kepler, et, partant, de l'harmonie en général ; nous voudrions notamment relever dans son analyse deux caractéristiques principales :

1) D'une part, l'harmonisme est une forme d'idéalisation et

2) D'autre part, Cassirer focalise l'harmonie képlérienne sur la question planétaire.

Ce qui retient son attention dans la théorie képlérienne, et qui est à la racine de la conception harmonique du monde, relève d'un processus d'*idéalisation*. Pour reprendre les termes de Cassirer, « on peut tirer du concept d'harmonie un noyau purement *logique* »[1] ; *logique* doit être ici entendu non pas au strict sens des règles formelles du raisonnement, mais bien plutôt des exigences propres à la rationalité et auxquelles il convient de soumettre les résultats empiriques. Non seulement, pour Cassirer, il y a un noyau logique de l'harmonie, c'est-à-dire une affinité entre les exigences de l'esprit et la nature de l'harmonie, mais bien davantage la recherche de l'harmonie est une forme idéale-typique de la démarche rationnelle. Pourquoi ? La raison réside dans la considération des *rapports* – l'harmonie ayant pour objet non les choses mais les rapports entre les choses, et la rationalité pouvant être comprise, ainsi que le suggère l'étymologie même du mot français, comme la faculté des rapports ; lisons plutôt Cassirer :

> *La réflexion prend tout d'abord une nouvelle orientation quand, des rapports qui gouvernent les objets, elle revient vers leur origine : elle cherche alors à comprendre et à développer ce qu'est l'harmonie en y voyant un attribut, non des choses, mais de l'esprit. Les relations harmoniques des objets constituent le corrélat dont l'esprit a nécessairement besoin pour se compléter et se perfectionner lui-même : les rapports*

1 Cassirer, *op.cit.*, p.250.

numériques qui existent dans le ciel raniment et nourrissent l'âme qui, sans eux, dépérirait.[1]

Et plus loin, et plus explicitement encore :

L'harmonie est donc l'expression de l'existence, non d'une chose, mais d'une pure relation. Ce n'est pas un nouvel objet concret qui viendrait s'ajouter aux éléments particuliers, elle ne doit son être qu'aux actes spirituels au moyen desquels nous constituons l'unité du divers en établissant un rapport général entre ses parties. En ce sens, c'est une pure « chose de pensée » : imaginons que la fonction unificatrice de l'âme et de la pensée disparaisse, et il n'y a plus de place pour l'harmonie.[2]

L'harmonie n'étant rien d'autre qu'un ensemble fini de rapports, son existence est suspendue à celle de l'activité de mise en rapports des éléments de l'ensemble entre eux – activité qui n'est autre que celle de l'esprit. Mais de quel esprit, ou de quelle âme, s'agit-il ? Cette activité est-elle le fait d'un *ingenium*, d'une puissance intellectuelle capable d'enchaîner des rapports, c'est-à-dire des raisons, ou bien provient-elle d'une animation immanente aux choses harmonieuses elles-mêmes ? Dit autrement, il s'agit de savoir si l'harmonie est le résultat d'une spiritualité connaissante ou d'une spiritualité mondaine ; dit autrement encore, l'harmonie est-elle nécessairement le corrélat d'une *conscience* ?

D'un côté, la nature même des proportions géométriques indique que le lieu d'apparition de l'harmonie n'est pas le monde lui-même mais celui auquel le monde apparaît ; et Cassirer insiste là-dessus : l'harmonie n'est pas une chose, ce n'est pas un objet

1 *Ibid*., p.250.
2 *Ibid.*, p.251.

à côté des autres objets, ça n'est pas quelque chose qui, à l'intérieur du monde, rendrait l'ensemble ordonné plutôt que chaotique. Pas plus qu'elle n'est une note dans une mélodie, l'harmonie n'est une chose dans le monde : elle n'est rien de *mondain*, et le caractère indissociable de la dimension géométrique et de la dimension esthétique, au sein même de l'harmonie, renforce cette idée-là. Les choses pouvant exister sans une conscience qui les perçoit, la chose-harmonie, si par impossible elle existait, se passerait bien d'une conscience pour exister. Mais dans la mesure où rien n'est l'harmonie, mais où tout est *en* harmonie, ce tout ne peut être en harmonie que pour quelque chose qui est hors de lui, en l'occurrence une conscience calculante (dimension géométrique) et percevante (dimension esthétique).

D'un autre côté, parce qu'elle est ce qui manifeste dans le monde le fait qu'il est le produit d'une intelligence créatrice, mais aussi parce qu'elle se maintient dans le monde malgré le devenir auquel il est soumis (dont le plus exemplaire est la régularité des mouvements célestes), l'harmonie apparaît comme quelque chose d'immanent au monde ; certes pas quelque chose du monde, mais ce qui fait précisément que la totalité des choses se donne comme organisée et mue selon des règles. Où l'on voit que les règles du mouvement sont le point pour lequel l'immanence de l'harmonie s'impose avec le plus d'évidence ; en conséquence de quoi, l'*animation* – comprise en un sens mécanique – appelle une animation – comprise en un sens dynamique, c'est-à-dire l'existence d'âmes motrices à même de faire advenir le type de mouvements qui maintient l'harmonie dans le devenir.

Il semble, avant la prise en considération des archétypes, qu'il y ait sur cette question une dualité képlérienne, pour ne pas dire, comme le dit Cassirer lui-même, une ambiguïté :

l'harmonie ne désigne pas seulement pour Kepler quelque chose de psychologique ; ce concept

> *possède en effet, au début de la spéculation de Kepler, une autre signification, mythico-poétique. L'ordre de l'univers sert ici à témoigner également de son animation globale : l'unité de la vie qui pénètre le cosmos se manifeste d'abord dans la corrélation et la dépendance de ses parties.*[1]

C'est donc bien l'animation du monde qui paraît sceller, chez Kepler, l'harmonie à même le monde lui-même ; et le descellement intervient, selon Cassirer, par un approfondissement du « caractère logique de l'idée »[2].

À partir de là, il y a deux questions que nous souhaiterions poser à Kepler – questions qui rejoignent directement le fil de notre enquête :

1) Tout d'abord, il convient de se demander si nous ne tenons pas là une préconception de la notion de système : lorsque Cassirer affirme que c'est dans la corrélation et la dépendance des parties que se manifeste l'unité du *cosmos*, il nous est permis de nous demander si, précisément, ce n'est pas un monde systématique qui se dessine sous les atours d'un monde harmonique ;

2) La question des nouveautés célestes est ici, une fois de plus, sous-jacente, dans la mesure où ce sont bien ces objets tout singuliers qui, comme nous l'avons déjà expliqué, constituent une contre-épreuve de l'harmonie, et *a fortiori* de la systématicité, du monde. Cette contre-épreuve tient en ce que leur nouveauté paraît

1 Cassirer, E., *op.cit.,* p.252
2 *Ibid*., p.252.

au premier abord (mais peut-être au premier abord *seulement*) installer une tension avec la réminiscence képlérienne, dans la mesure où elles ne semblent pouvoir s'installer qu'*a posteriori* dans l'harmonie du monde et ne pas pouvoir être toujours-déjà connues, comme l'est cette harmonie grâce aux *archétypes*.

C. Cassirer et la question du mouvement

Nous voudrions pousser plus avant la notion de systématicité, en réinvestissant la manière dont Cassirer la lie, implicitement au moins, avec la notion de mouvement lui-même. Dans son étude sur la conceptualisation dans les sciences de la nature, dans *Substance et fonction*, Cassirer s'attaque à la conception qui semble dominer la philosophie moderne de la physique, qui a tourné le dos à une volonté d'élucidation métaphysique de la nature au profit d'une description, plus modeste, des phénomènes eux-mêmes. En sorte que la science n'a plus pour objet un quelconque au-delà non phénoménal de ce qui se donne phénoménalement dans l'impression sensible (dans l'infinie variété des couleurs, des sons, des odeurs, des goûts et des contacts) ; mais que cette phénoménalité constitue « le seul et unique substrat sur lequel va s'édifier le monde du physicien »[1]. Posés en ces termes, le constat et la question philosophique sous-jacente – celle du réductionnisme empiriste des énoncés scientifiques à des données observationnelles – sont pour ainsi dire classiques. Mais la manière dont Cassirer caractérise, dans les lignes qui suivent, l'activité scientifique, introduit une focale spécifique : celle de la *conceptualisation* ; dans la conception empiriste des sciences de la nature, le travestissement du monde sensible par

1 Cassirer, E., *Substance et fonction* (1910), tr.fr. Pierre Caussat, coll. Le sens commun, Editions de Minuit, Paris, 1977, p.319.

le monde des physiciens est un travestissement par concepts. Et la réfutation qu'il propose de cette conception empiriste de la conceptualisation dans les sciences de la nature est d'autant plus intéressante pour nous qu'elle commence avec et par une interrogation sur la nature du mouvement et une référence à Kepler.

La thèse de Cassirer sur la nature du mouvement en physique est claire : le mouvement est *en apparence*, et en apparence *seulement*, un fait qui émane de la perception sensible[1] ; en réalité, il n'y a pas de mouvement sans concept : le mouvement est rationnel. Mais cette idéalité du mouvement demeure cachée à l'expérience ordinaire. En effet, dans une phénoménalité naturelle en proie à une mobilité généralisée, dans ce « branloire pérenne » qu'est le monde de l'expérience sensible, il n'est pas étonnant que le mouvement constitue le type même de ce que la nature nous donne à voir, de ce qui se manifeste par soi-même. Le mouvement est la perception même : *moveri est percipii*. Évidemment, ce sensualisme naïf ne résiste pas bien longtemps à l'analyse, et quelques arguments élémentaires de type transcendantal suffisent à le confondre : le *proton pseudos* consiste, bien évidemment, à croire que l'unité d'une multiplicité d'impressions sensibles qui les constitue comme un phénomène peut être apportée par cette multiplicité elle-même. C'est impossible, et le mouvement est aussi exemplaire de cela qu'il ne l'était de la conception naïve : pas plus qu'il ne pourrait exister un *mouvement* qui ne soit *un* mouvement, ne peut exister un *phénomène* qui ne soit *un* phénomène ; et l'intuition qui, par nature, ne délivre que du divers, ne saurait être l'opérateur de la synthèse sans laquelle nul phénomène, nul mouvement, n'est perçu.

1 Cassirer, *op.cit., p.144.*

À partir de ces quelques remarques, nous voudrions faire deux autres remarques : tout d'abord, nous nous demanderons dans quelle mesure cette nature synthétique du mouvement n'est pas ce qui permet de caractériser au mieux le changement introduit par Kepler dans la conception du mouvement orbital ; ensuite, nous voudrions montrer en quoi cette conception de l'idéalisation (propre à la science) par conceptualisation est exemplaire de ce que nous appelons, depuis le début de notre enquête, *systématisation du monde*.

Nous voudrions interroger le rapport à l'observation tel que le théorise ici Cassirer, et dont il prend Kepler pour paradigme. Que dit-il exactement ? Que Kepler n'aurait jamais abouti à une description de la trajectoire de Mars à partir des simples données observationnelles :

> *Les emplacements ponctuels de Mars, que Kepler exploite en se fondant sur les observations de Tycho-Brahe, ne contiennent pas, à s'en tenir à eux, l'idée de la trajectoire de Marx ; et on aura beau accumuler les différentes positions et leurs déterminations propres, on n'aboutira jamais à cette idée si on ne mise pas, d'abord, sur de pures présuppositions théoriques permettant de compléter et de combler les lacunes de la perception réellement donnée. Ce que nous devons à l'impression se réduit à une pluralité de points brillants situés sur la voûte du ciel ; avec le pur concept mathématique d'ellipse, produit par notre travail conceptuel, cet agrégat discret s'efface au profit de la continuité du système.*[1]

Ce passage est, à notre sens, moins évident qu'il n'en a l'air, parce qu'il y a une légère ambiguïté sur ce qui est vraiment en jeu. En effet, on peut se demander quelle est la nature de l'opération dont Cassirer explique, quelques lignes plus loin, qu'il s'agit d'une « synthèse

1 Cassirer, E., *Substance et fonction*, *op.cit.*, p.144.

intellectuelle », c'est-à-dire d'une reconduction à l'unité d'un divers observationnel. Deux interprétations semblent en effet possibles :

1) Soit la synthèse intellectuelle est l'opération par laquelle une infinité de positions d'une planète peuvent être appréhendées comme des états successifs d'un même mouvement, et la reconduction à l'unité est l'opération par laquelle il est seulement possible de concevoir que la planète ait une *trajectoire*. Dans ce cas, le travail de Kepler est simplement *illustratif* du travail de l'astronome, qui, quelle que soit sa manière de décrire cette trajectoire, réalise nécessairement ce travail de dépassement du donné, de comblement des lacunes (toutes les positions ne pouvant faire l'objet d'une observation). Cette interprétation est corroborée par le fait qu'à ce moment du propos, Cassirer paraît décrire les conditions transcendantales de constitution du mouvement comme objet de connaissance ;

2) Soit ce qui intéresse Cassirer est, non pas de savoir comment une trajectoire peut être appréhendée comme telle plutôt que comme un « agrégat discret », mais plutôt comment il est possible de déterminer la trajectoire *exacte* de la planète, ou, dit autrement, la loi qui permet de déterminer les positions que cette dernière a occupé ou occupera à tel instant précis. Dans ce cas, le travail de Kepler n'est plus *exemplaire* du travail de l'astronome mais paradigmatique d'une nouvelle façon de concevoir l'astronomie, fondée non plus directement sur l'observation mais sur « l'anticipation opérée par une loi générale », pour reprendre la formule qu'il utilise dans ce même paragraphe[1] – formule qui vient à l'appui de cette seconde lecture. Ce qui est alors en jeu n'est plus l'existence de la trajectoire mais

1 Cassirer, E., *Substance et fonction, op.cit.,* p.145.

> la détermination mathématique de l'orbite ; ou, plus exactement, il n'y a véritablement donation d'une trajectoire qu'à partir de la connaissance de la loi suivie par l'orbite planétaire, en sorte qu'avant Kepler, les astronomes n'avaient pas pour objet, à proprement parler, des mouvements célestes.

L'hypothèse d'une discontinuité introduite par Kepler dans l'histoire des sciences, aux yeux de Cassirer, semble corroborée par l'analyse qu'il fait de son rapport à l'histoire de la philosophie. Dans le même chapitre de *Substance et fonction*, il réinvestit l'idée développée dans *Le Problème de la connaissance*, c'est-à-dire la naissance de la science moderne au prisme d'un changement, ou plus exactement d'une substitution, de philosophie de référence – en l'occurrence un retour d'Aristote à Platon. Or, selon Cassirer, « c'est chez Kepler *surtout* que cette conversion est nettement affirmée » [nous soulignons][1] ; et le grief principal que fait Kepler à l'aristotélisme tient au statut du mathématicien : il refuse que ce dernier soit réduit au simple rang de calculateur, c'est-à-dire de prédicteur ou de rétrodicteur de mouvements apparents, car cette position lui interdit, de droit et de fait, de se prononcer sur la nature des choses. En sorte que l'astronome se trouve alors, aux yeux de Kepler-Cassirer, dans la pire des situations épistémiques : d'un côté il se doit d'être muet sur ce qui concerne la nature des choses, sur la réalité du monde physique. Mais d'un autre côté, pour lui, la simple collection des faits d'observation, par essence lacunaires, ne lui permettra jamais d'atteindre, c'est-à-dire de constituer, l'objet de son enquête : la trajectoire planétaire. Kepler est donc celui qui aurait refusé, en quelque sorte, l'alternative entre un réalisme illicite et un phénoménisme stérile. Sans doute doit-on, dans cette perspective, imputer à cette dernière alternative tous les

1 Cassirer, E., *Substance et fonction, op.cit.*, p.163.

errements de l'astronomie planétaire – à condition de considérer, de ce point de vue, que l'errance planétaire de l'astronomie n'a point pris fin avec Copernic mais avec Kepler, et d'estimer donc que le cœur du système des planètes est constitué non par le choix du centre des révolutions mais bien plutôt par la nature de l'objet orbite. C'est ce qu'il nous paraît important de discuter ici.

En effet, la primauté de la légalité de l'orbite dans la constitution du système des planètes est explicitement assumée par Cassirer. Selon lui, pour Kepler, il s'agit d'aller à rebours de la philosophie spéculative de la nature qui avait pour fonction épistémique de « passer du phénomène mathématiquement codifié à ses causes absolues »[1] – tâche prohibée pour l'astronome et dévolue au physicien, c'est-à-dire au philosophe. Pour Kepler, au contraire, « il s'agit de passer des données premières, les faits de perception encore privés d'élaboration conceptuelle, à l'intelligibilité quantitative de la réalité »[2] ; ce qui signifierait, et Cassirer l'assume comme tel, que « le physicien désireux de fonder la physique comme telle peut parfaitement laisser en sommeil la question des 'forces' dernières qui ont donné ses formes à l'être »[3] . Nous ne nous occuperons pas en détail, dans ce travail, de la notion de force, mais ce que nous voudrions ici en dire d'emblée est qu'à rebours de ce que nous venons de dire, elle s'inscrit de plein pied dans la systématisation du copernicianisme, en ce que c'est grâce à la notion de force que l'on comprend comment chacun des éléments qui composent le système du monde – en l'occurrence, le système solaire – remplit la fonction qui lui est dévolue dans ce système.

1 *Ibid.*, p.163
2 *Ibid.*, p.163.
3 *Ibid.*, p.163.

IV. Kepler, Leibniz et Descartes : les interprétations de G. Simon et J.-L. Marion

On ne s'endort pas un soir dans les ténèbres préscientifiques, serait-on un Kepler, pour se réveiller le matin dans la claire lumière de la science. Bien au contraire, la rupture s'inscrit dans une durée, et elle possède son rythme, ses exigences, ses décrochements propres : à l'origine d'une histoire, on trouve toujours l'histoire d'une origine. [1]

Parmi les exégètes que nous convoquons ici, Gérard Simon se distingue en ce qu'il refuse l'idée d'une dualité irréductible chez Kepler ; tout son travail est, d'une certaine manière, orienté contre cette image d'Epinal réductrice et trompeuse. Non qu'il récuse la formule koyréenne du *Janus bifrons*, il oriente en revanche singulièrement l'interprétation qu'il convient d'en faire : « Si selon le mot de Koyré Kepler est un véritable *Janus bifrons*, il l'est d'abord en ce que la face moderne et la face archaïque de son génie sont rigoureusement indissociables. »[2] Il n'y aurait entre les deux faces aucune distinction réelle, mais simplement une dissociation perspective dans le regard contemporain et rétrospectif sur un génie du passé. Sans restituer la méthode historiographique de Gérard Simon, essayons de présenter les périls historiographiques et épistémologiques contre lesquels ce dernier se prémunit en affirmant l'indissociabilité des deux faces.

L'exacerbation, au sein de la pensée, de la césure entre une phase moderne et une phase archaïque comporte deux dangers, qui concernent chacune des deux faces :

1 Simon, G., *Kepler astronome astrologue*, Bibliothèque des sciences humaines, Gallimard, 1979.
2 Simon, G., *Kepler astronome astrologue, op.cit.,* p.449.

1) D'un côté, cette conception prête le flanc à l'anachronisme dans l'interprétation de la face moderne, c'est-à-dire à lire celle-ci au prisme des normes de la rationalité qui sont les nôtres, et ne pas voir son ancrage dans les structures de pensée qui étaient effectivement celles de Kepler, et au sein desquelles se sont effectivement constitués les objets de son savoir. Dire qu'il y avait deux Kepler, c'est d'une certaine manière affirmer que ce n'était pas la même personne, à tout le moins pas le même esprit, qui traquait l'orbite de Mars et confectionnait des horoscopes. Or, pour Simon, tout dans la lecture des textes képlérien conduit à penser que son esprit était identique dans ces opérations aussi variées. *In fine*, étudier la face moderne en jetant le voile sur la face archaïque revient à ignorer, de manière délibérée et fautive, le contexte historique d'élaboration d'un cadre de pensée ; le rôle de l'historien des sciences consiste alors, entre autres, à rappeler cet ancrage contextuel et historique aux attentions et aux mémoires défaillantes.

2) D'un autre côté gît l'éventualité tout aussi funeste et pour ainsi dire symétrique qui consisterait à considérer que les références archaïques dans la pensée et l'œuvre de Kepler, et notamment le pythagorisme et le néo-platonisme, ne sont que « de pures et simples répétitions du passé »[1], et d'être aveugles aux éléments inédits, aux recompositions et reconfigurations que l'usage képlérien leur fait subir. Et cette dimension-là nous intéresse tout particulièrement, dans la mesure où la reconfiguration apportée par Kepler à ces inspirations antiques, tel que G. Simon la décrit, portait les traits essentiels d'une systématisation ; c'est même assez explicitement ainsi qu'elle se trouve présentée dans ces pages très denses

1 *Ibid*., p.449.

du début de la conclusion. Le premier et le plus essentiel de ces traits, c'est l'*unification*, unification « d'une signification originaire et d'une causalité fondatrice » par la symbolique trinitaire[1] ; le second, et de manière corollaire, c'est la diversification, c'est-à-dire non pas la coexistence d'éléments épars et qualitativement distincts, mais le résultat d'une pluralisation rendue possible par et à partir du principe d'unité. Mais cette unification et cette diversification sont décrites ici comme reposant sur un substitut fourni par la philosophie aux assises encore manquantes de la science moderne – philosophie qui, comme nous allons le lire dans les lignes suivantes, portera quelques décennies plus tard un nom :

> *A une époque où la science nouvelle n'a pas encore assuré elle-même ses propres assises, la philosophie offre les substituts qu'elle peut fournir, avec la justification ultime du rôle régulateur et heuristique du Principe de Raison, que l'on retrouve ultérieurement avec la même fonction chez Leibniz. Le monde s'unifie et se diversifie jusque dans ses détails selon la cohérence et la perfection d'un modèle primordial d'où il tire son ordre et ses lois ; et les disparités de fait qui présidaient à son approche qualitative, si elles ne sont pas toutes abolies, sont remaniées et systématisées en droit par la pensée causale, dont la logique implique que rien ne lui échappe.*[2]

Il est très clair ici que la clef de compréhension du geste képlérien est la systématisation, dont la causalité est la cheville ouvrière. L'expression « que rien ne lui échappe » exprime sans doute de la plus parlante des manières l'exigence, ou l'idéal, que Gérard Simon lit dans l'œuvre de Kepler ; ce qui est d'autant plus intéressant, c'est que c'est la figure de Leibniz qui est convoquée comme l'accomplissement proprement philosophique préparé dans les spéculations philosophiques de l'astronome impérial. Ce qui va donc nous intéresser ici, c'est de mesurer la portée philosophique de l'assimilation

1 *Ibid*., p.150.
2 *Ibid*., p.150.

de l'idéal de systématicité au principe de raison leibnizien ; en conséquence de quoi, nous allons tenter de confronter cette lecture leibnizienne de l'idéal de systématicité à la formulation proprement képlérienne du Principe de Raison.

Cette dualité, se retrouve selon G. Simon de la même manière, c'est-à-dire tout aussi indissociable, en astronomie, c'est-à-dire au sein même de la discipline dans laquelle – avec l'optique – Kepler s'est montré sans doute le plus novateur. Les arguments en faveur de cela ne manquent évidemment pas, et s'organisent d'une manière générale autour d'une ligne : ce que nous pourrions qualifier de remise en cause du copernicianisme calculatoire en vue d'une consolidation de l'hypothèse copernicienne ; dans cette opération ardue mais, en grande partie, couronnée de succès, Kepler met au service du nouveau monde des techniques empruntées à l'ancienne astronomie. L'élément essentiel réside, comme nous le préciserons ultérieurement, dans la réhabilitation du point équant, motivée par la substitution du Soleil vrai au Soleil moyen dans les calculs des trajectoires planétaires. Le plus important, c'est que le cheminement qui l'a conduit à la loi des aires a été, ainsi que le décrit G. Simon, guidé par ses *a priori* métaphysiques, « loin d'être desservi par eux »[1]. C'est précisément ces convictions métaphysiques qui font figure de vestiges du monde ancien dans l'image du *bifrons* ; on en retiendra ici, sans entrer dans les détails, les deux principales : d'une part, rendant raison de la disposition des planètes, la représentation du monde ordonnée selon les proportions des polyèdres réguliers, d'autre part, rendant raison de la motricité planétaire (une fois éliminées par Tycho les orbes planétaires), l'hypothèse d'une force émanant du soleil, dont G. Simon note – et c'est là l'élément important – qu'il ne s'agit pas d'une force qui « ait conquis son statut physique moderne : presque substantifiée sous la forme d'espèces (*species*) entraînant dans leur tourbillon tous les corps

1 *Ibid*., p.453.

mobiles situés à l'intérieur des limites du monde, elle n'est pas fondamentalement différente des *esprits* (*spiritus*) par lesquels une âme anime les parties les plus lointaines du corps qui lui est imparti ».

Pour résumer donc, on ne saurait dissocier dans l'astronomie de Kepler la modernité de la loi des aires et de la révolution elliptique de l'archaïsme des spéculations du *Mysterium* et de l'animisme de sa dynamique.

Faisons donc ici un bilan provisoire : pour Gérard Simon, les deux faces du *bifrons* sont indissociables. Et cette indissociable dualité se diffracte, sans se défaire, dans les différents domaines de sa pensée. Astrologie, astronomie, cosmologie : les éléments archaïques sont les moteurs de l'invention des éléments les plus modernes de la science képlérienne, éléments modernes qui, en retour, permettent intiment d'apprécier autrement que comme des vestiges les éléments archaïques.

Cette unité est appelée par un principe que G. Simon pose comme architectonique de toute la pensée képlérienne : le Principe de Raison, que lui « offre » la philosophie, et qui place l'astronome impérial sous le parrainage par anticipation de Leibniz. Ce principe constitue en quelque sorte la croisée d'ogive de tout l'édifice, puisqu'il produit de l'unité dans chacun des domaines et qu'il unifie les domaines entre eux. Plus exactement, il semblerait que le Principe de Raison garantisse une convertibilité entre l'unité du monde d'un côté et l'unité de l'explication du monde de l'autre. Pour reformuler ceci dans les termes qui nous occupent dans notre enquête, le Principe de Raison garantit la *systématicité* de la science képlérienne (c'est explicitement écrit par Gérard Simon : les disparités qui résistaient à l'unité dans le monde qualitatif de l'ancienne science « sont remaniées et *systématisées* en droit par la pensée causale »[1] [nous soulignons]). Cette systématicité

1 *Ibid*., p 450.

produit, sous les auspices du Principe de Raison qui est un principe d'unification, l'unité du monde d'un côté, et l'unité de l'explication causale des phénomènes dans ce monde de l'autre (le premier de ces phénomènes causalement expliqués étant le mouvement des corps planétaires). Comprenons-bien : l'unité du monde (comme sa finité d'ailleurs) est évidemment une thèse métaphysique, qui ne fait l'objet d'aucune observation possible, et c'est la face archaïque qui la fournit ; l'unité de l'explication est, elle, physique, car elle repose tout entière sur la causalité physique (y compris en astrologie). L'unité des deux faces est la condition de l'unité de chacune d'elles : sans unité métaphysique du *cosmos*, aucune recherche d'un principe d'unité causale n'est appelée, et sans unité physique de l'explication causale, c'est l'unité même du monde qui reste un mystère, qui ne fait l'objet d'aucune saisie rationnelle.

Posons donc une hypothèse sur la conception de la systématicité sous-jacente à l'analyse de Gérard Simon – à défaut, comme chez l'ensemble de ceux que nous étudions ici, d'une conceptualisation explicite de la notion de système : le système est une unité d'unités, c'est-à-dire que la pensée de Kepler est systématique en ce que l'unité de sa physique (moderne) et de sa métaphysique (archaïque), est la condition de l'unité de leurs objets respectifs : unité de l'explication causale pour la physique, unité (et finité) du *cosmos* pour la métaphysique. Le vecteur d'unification, le pôle d'unité, est le Principe de Raison, dont la vertu première est d'assurer la convertibilité de l'un à l'autre champ : d'un côté (métaphysique) rien n'a été créé dans le monde sans raison, d'un autre côté (physique) aucun phénomène terrestre ou céleste ne se produit sans cause, c'est-à-dire sans cause physique. L'unité de ces deux unités permet que les causes physiques des phénomènes

fournissent leur raison, et que la raison de l'ordonnancement du monde fonde les mécanismes causaux qui y sont à l'œuvre.

D'une univocité anticartésienne : J.-L. Marion lecteur de Kepler

Dans *Sur la théologie blanche de Descartes*, Marion part lui-même du constat du *janus bifrons* : « l'usage veut que l'on dénonce l'étrange coexistence entre une recherche toute positive de lois, vérifiées par calculs et observations, et, par ailleurs, une irrépressible propension à la spéculation théologique »[1]. Les deux faces seraient donc celles de l'empirisme et de la quantité d'un côté, de la théologie de l'autre. Mais pour Marion, c'est sous-estimer l'audace de Kepler ; nous allons essayer, ici, de restituer l'audace – coupable à ses yeux – qu'il décèle chez l'astronome.

Si nous inscrivons l'analyse de Jean-Luc Marion dans cette partie consacrée à l'interprétation Simon, c'est d'abord parce que cela nous semble autorisé par le texte même de son ouvrage *Sur la théologie blanche de Descartes,* qui affirme dans une note de la deuxième section avoir trouvé dans le *Kepler, astronome, astrologue* une formulation « fortement soulignée »[2] de l'univocité entre Dieu et les vérités mathématiques. C'est là, nous semble-t-il, la thèse principale de Marion concernant Kepler, et s'il la creuse et l'étaye avec insistance à cet endroit, c'est pour mieux accentuer la distance entre ce dernier et Descartes, que les lettres de 1630 rangent comme un adversaire, isolé mais résolu, d'une marche vers l'univocité qui, dans le sillage de Suarez, a déjà entraîné à cette époque aussi bien la

1 Marion, J.-L., S*ur la théologie blanche de Descartes* (1981), Quadrige, Puf, Paris 1991, p.185.
2 Marion, J.-L., *Sur la théologie blanche de Descartes*, p.179 n.2.

théologie que, sous son influence, la pensée scientifique[1]. Davantage même, dans les lettres de 1630 sur le statut des vérités dites éternelles, Mersenne ne serait aux yeux de Descartes que le lieutenant d'interlocuteurs – et d'adversaires – d'une autre importance que la sienne, et dont la position personnelle sur la question ne serait que « l'écho »[2], Descartes n'ayant jamais manifesté d'intérêt pour la pensée propre de son correspondant.

Nous ne restituerons pas toute la démonstration de Jean-Luc Marion, qui s'appuie de manière abondante et précise sur le texte képlérien, mais nous voudrions simplement en faire ressortir le trait saillant. Marion insiste sur la thèse de la *coéternité* entre Dieu et les mathématiques ; celle-ci se trouve affirmée dans plusieurs ouvrages de Kepler, dont la distance dans le temps témoigne d'une grande constance dans sa pensée : que ce soit dans le *Mysterium*, dans l'*Harmonice* dans l'*Epitome*[3], Kepler écrit que les êtres mathématiques, les quantités, la géométrie, qui sont les archétypes du monde, c'est-à-dire les raisons de la création de toutes choses, sont *coéternels* à Dieu. La clef de la compréhension de cette thèse se trouve évidemment dans l'interprétation qu'il convient d'accorder à la notion de *coéternité* : selon Marion, il ne s'agit pas de la simple affirmation de ce que les vérités mathématiques, les idées géométriques et quantitatives, bénéficient de l'éternité divine, autrement dit qu'elles sont éternelles parce que Dieu dont elles procèdent est lui-même éternel. Ceci, qui constituerait l'interprétation faible, ne prend pas assez en compte la distinction qui existe entre *éternité* et *coéternité* ; mais ainsi que l'écrit Marion, « la coéternité dit beaucoup plus que l'éternité »[4]. Ce que dit la co-éternité, que ne dit pas

1 « Ainsi retrouvons-nous, au seuil d'une tendance scientifique à l'univocité, l'influence, non reniée mais reprise dans un faisceau de raisons, de celui qui a mené la tradition théologique au plus extrême de l'univocité – Suarez. », *op.cit.*, p.176.
2 *Ibid.*, p.178.
3 Voir Jean-Luc Marion, in *op.cit.*, p.181.
4 Marion, J.-L., *Sur la théologie blanche de Descartes, op.cit.*, p.182.

l'éternité, c'est une relation très spécifique entre Dieu et les idées mathématiques, en l'occurrence une relation d'identité :

> *Kepler pousse bien au-delà : les idées géométriques et quantitatives ne bénéficieraient pas de l'éternité même de Dieu, si, plus essentiellement, elles ne s'identifiaient à Dieu, Deus ipse [...]. Car, il n'en va pas ici des mathématiques comme d'un mode de connaissance, dont la rigueur et la clarté permettraient d'accéder plus avant dans la connaissance de Dieu ; Dieu est connu mathématiquement parce que Dieu lui-même est mathématicien ; bien plus, Dieu ne pratique pas tant les mathématiques qu'il ne consiste en elles. Les mathématiques offrent certes le moyen de connaître Dieu, mais surtout elles en manifestent l'essence. Strictement, les vérités mathématiques sont divines [...].*[1]

Marion dissipe immédiatement un contresens possible, en précisant que son interprétation ne signifie pas que Dieu s'épuiserait tout entier dans les mathématiques – autrement dit, l'identité entre Dieu et les mathématiques n'implique pas un réductionnisme mathématique du divin. Il n'en demeure pas moins que le geste théologique de Kepler procède à une véritable uniformisation entre Dieu et les mathématiques, entre le quantitatif et le divin. Cette univocité « sans restriction ni condition » entre les deux êtres porte en elle une autre univocité – entre la connaissance divine et la connaissance humaine. Si Dieu est d'essence mathématique, ou si, ce qui revient au même, les mathématiques sont d'essence divine, alors, la connaissance mathématique peut être tenue pour *une connaissance de Dieu,* au double sens du génitif :

1) Dieu est l'objet de cette connaissance : la connaissance mathématique permet de connaître Dieu, puisqu'elle en connaît ce qui constitue son essence. En conséquence de quoi le mathématicien dispose d'une connaissance théologique ;

1 *Ibidem*, pp.182-183.

2) Dieu est le sujet de cette connaissance : il connaît mathématiquement, et sa connaissance est une connaissance mathématique. En conséquence de quoi, celui qui connaît mathématiquement connaît *comme Dieu connaît* ; la connaissance mathématique est également accessible à l'esprit humain et à l'esprit divin, et l'homme connaît comme Dieu connaît.

À la limite, et réunissant ces deux dimensions, on peut affirmer que la connaissance humaine est une connaissance divine. Cette image d'un Kepler héraut d'une univocité radicale contraste pour le moins avec l'image du *janus bifrons*, qui dénotait une personnalité intellectuelle duale et, disons-le, connotait une certaine équivocité chez le savant impérial. C'est de cela que J.-L. Marion la conclusion que l'opposition que l'on voit chez Kepler, essentiellement entre la recherche positive des lois et les spéculations théologiques manque l'essentiel, dans la mesure où le traitement mathématique du monde admet la spéculation théologique comme « condition épistémologique fondamentale »[1] : c'est en effet cette dernière qui « permet de traiter l'univers [...] comme un *continuum* homogène, disposé pour une interprétation quantifiante »[2]. De la conception d'un Dieu mathématicien à la quantification de la nature, la conséquence est la bonne – à ceci près que, pour Jean-Luc Marion, cette théologie est en réalité une fausse monnaie – à tel point que le terme de théologie lui-même ne peut lui être attribué qu'avec la précaution de guillemets. L'exégèse fait alors place à une appréciation particulièrement critique, qu'il nous paraît important de restituer, dans la mesure où une telle sévérité à l'endroit de Kepler fait figure, à notre connaissance, de quasi-hapax dans la littérature secondaire :

1 Marion, J.-L., *op.cit.*, p.185.
2 *Ibid.*, p.186.

> *[...] L'audace théologique de Kepler, loin de manifester une survivance de (ou une attirance pour) la pensée authentiquement théologique, révèle au contraire un simplisme presque barbare, qui méconnaît les exigences les plus élémentaires d'un discours accordé à celui qu'il vise et qui le suscite – Dieu. Ce que l'on nomme improprement la « théologie » de Kepler ne devient possible, dans sa prétention admirable et dérisoire, qu'une fois perdue de vue la condition de possibilité d'un discours théologique : la critique du discours par l'instance théologique.*[1]

Cette dépréciation de la théologie képlérienne ne se comprend, et ne prend même son sens, que dans le contraste qu'elle introduit avec l'analyse de la conception cartésienne des vérités éternelles.

Le cœur de la théologie, ou de la pseudo-théologie, képlérienne se situe donc dans l'univocité, et Jean-Luc Marion montre que cette univocité se traduit dans la géométrisation, si l'on peut dire, de l'essence divine, c'est-à-dire dans l'application de modèles géométriques pour penser la Trinité[2] : Kepler propose en effet une représentation sphérique de cette dernière, en assimilant l'Esprit-Saint au centre de la sphère, le Père à sa surface, et le Fils à l'espace intermédiaire entre le centre et la surface. Comme le note J.-L. Marion, il n'y a là rien de symbolique mais constitue bien un modèle, constant dans l'œuvre de Kepler, fournissant « un principe unique d'intelligibilité du créé et de l'incréé, du physique et du spirituel, sous l'égide de l'univocité mathématique »[3].

C'est là-dessus que nous voudrions nous arrêter. En effet, la figuration géométrique de la Trinité, pour montrer en quoi l'analyse proposée fournit elle-même l'occasion d'une question, qui peut être posée à la fois à Kepler et à cette exégèse. Il est évident que cette géométrisation de Dieu sous la forme d'une sphère le rend assimilable au modèle physique de l'univers, l'univocité conduisant presque naturellement à assimiler sphère divine et

1 *Ibid*., p.186.
2 *Ibid*., p.194.
3 *Ibid*., p.195.

sphère cosmique : ainsi, le créé et l'incréé, c'est-à-dire le physique et le divin ayant la même forme, la même figure, le divin se trouve en quelque manière dans le physique, et inversement le physique est habité par le divin. Là il nous faut être attentifs à la façon dont J.-L. Marion présente « l'audace » qui « culmine avec la quasi-localisation de Dieu dans le Soleil » ; ce qui nous intéresse ici au plus haut point, c'est que l'assimilation de Dieu n'est que partielle, ou, pour reprendre une très heureuse expression qu'il utilise quelques lignes plus loin, elle est « tangentielle »[1]. Faisons alors, pour finir, une remarque : si cette assimilation est tangentielle, ou asymptotique, si c'est une quasi-assimilation, c'est bel et bien que se maintient un écart, qu'il y a un résidu qui retient l'assimilation totale de Dieu au Soleil ; le maintien de cet écart ne peut se justifier par une quelconque prudence théologique ou épistémologique, dans la mesure où l'univocité autorise l'assimilation de Dieu à la géométrie, et de la géométrie au monde physique. Plutôt que de minimiser l'écart pour insister sur l'assimilation, nous voudrions nous interroger sur l'importance et les raisons de cet écart. Pour cela, il faut interroger la signification épistémique de la centralité du Soleil dans la cosmologie de Kepler.

1 *Ibid*., p.195.

V. KOYRE

Dans la pléiade des grands esprits dont l'effort conjugué a produit ce qu'il est convenu d'appeler «la révolution scientifique du XVIIe siècle », Johann Kepler occupe une place tout à fait singulière. Il est, pourrait-on dire, à la fois en avance, et en retard sur ses contemporains. En effet, il a été le premier à surmonter – par- tellement du moins - la hantise de la circularité dont un Galilée n'a jamais réussi à se libérer et, par-là, à débarrasser l'astronomie de l'encombrant appareil des sphères et des cercles que Copernic avait maintenu dans toute sa rigueur : de ce fait, du point de vue purement scientifique, il est, beaucoup plus encore que Copernic qui, techniquement, est un Ptoléméen ou même un Hipparquien d'assez stricte observance, le fondateur véritable de l'Astronomie Nouvelle; et c'est lui cependant qui, de toutes ses forces, s'oppose à l'infinitisation du monde par Giordano Bruno', et croit dur comme fer - ou plutôt dur comme glace, car c'est de glace qu'il l'estimait composée - à l'existence d'une voûte céleste embrassant le monde et contenant les fixes.[1]

L'ambivalence de la position historico-épistémique de Kepler est soulignée par Koyré dès l'introduction de la partie de sa *Révolution astronomique* consacrée à Kepler, et exprimée avec brio par l'assimilation du mathématicien impérial à un « *Janus bifrons*[2] ». Il note, par un jeu de symétries multiples, la singularité d'un esprit tout à la fois plus moderne et plus ancien que ses contemporains[3] : moderne dans sa rénovation de l'astronomie et l'abolition de la « hantise de la circularité, ancien dans son finitisme et le maintien, contre les intuitions géniales de Giordano Bruno, d'une sphère des fixes à l'intérieur de laquelle est

1 Koyré, A., *La Révolution astronomique, Copernic, Kepler, Borelli, op.cit*., p.119.

2 Koyré, *La Révolution astronomique, Copernic, Kepler, Borelli (1961),* coll. L'Âne d'or, Les Belles Lettres, Paris, 2016, p.120.

3 « Dans la pléiade des grands esprits dont l'effort conjugué a produit ce qu'il est convenu d'appeler 'la révolution scientifique', Johann Kepler occupe une place tout à fait singulière. Il est, pourrait-on dire, à la fois en avance, et en retard sur ses contemporains. En effet, il a été le premier à surmonter – partiellement du moins – la hantise de la circularité dont un Galilée n'a jamais réussi à se libérer et, par-là, à débarrasser l'encombrant appareil des sphères et des cercles que Copernic avait maintenu dans toute sa rigueur [...] ; et c'est lui cependant qui, de toutes ses forces, s'oppose à l'infinitisation du monde par Giordano Bruno, et croit dur comme fer [...] à l'existence d'une voûte céleste embrassant le monde et contenant les fixes. » Koyré, RA, p. 119.

contenue la totalité du monde ». Plus ancien peut-être encore est « l'astrobiologie solaire », sur laquelle Kepler appuie la dynamique céleste dont il est l'inventeur, et au sein de cette dernière, l'existence et le rôle d'une âme solaire, et, jusqu'à une certaine période et dans le cadre d'un mécanisme extrêmement subtil et complexe, l'existence et le rôle des âmes planétaires[1].

C'est bien en effet avec la question dynamique, peut-être davantage encore que sur la structure et la taille de l'univers, que Koyré trouve l'occasion de rattacher Kepler à l'ancien monde, et plus précisément à l'aristotélisme lui-même. L'affiliation de la dynamique képlérienne à Aristote est explicite dans le chapitre que Koyré consacre à *L'Epitome*[2] : commentant un texte consacré aux vertus motrices respectives du Soleil et des planètes, Koyré y dit : « une fois de plus, la dynamique aristotélicienne exerce son emprise sur la pensée de Kepler ; et vole au secours de sa cosmologie »[3]. Attardons-nous maintenant sur les raisons et la pertinence de cette interprétation.

Le problème képlérien qui est en jeu dans le passage de l'*Epitome* est celui de la motricité planétaire ; problème dont nous avons rappelé qu'il était la conséquence directe de la suppression des orbes solides par Tycho. Dans l'*Epitome*, Kepler propose à ce problème une solution qui remanie considérablement le dispositif qui avait été mis en place dans l'*Astronomia nova* : entre les deux ouvrages, toute la motricité a été transférée au seul Soleil, dépossédant les âmes planétaires non de leur existence, mais de leur action motrice, et, partant, de leur pouvoir explicatif quant au fonctionnement de l'ensemble. Davantage

1 Sur cette question, voir *Granada, Miguel A., « A quo moventur planetae ?. Kepler et la question de l'agent du mouvement planétaire après la disparition des orbes solides »,* Galilaeana. Journal of Galilean Studies, 7, 2010, pp. 111.141.

2 Koyré, *op. cit.*, II, 3, chap.1, pp.285-327.

3 *Ibid.*, p.305.

même, et Koyré le souligne dans son commentaire[1], les planètes s'opposent au mouvement, ou plus exactement opposent au mouvement une résistance qui est due à la répugnance naturelle des corps au mouvement.

La question est alors de comprendre pourquoi Kepler opère ce transfert au seul Soleil de l'origine du mouvement. Nous ne restituons pas ici le récit de l'évolution de Kepler sur la question des âmes planétaires : nous voudrions mettre l'accent sur les raisons propres au raisonnement qu'il propose dans l'*Epitome*, et qui nous paraissent relever directement de la démarche de systématisation.

Voilà la difficulté que Kepler doit résoudre à cet endroit du traité : d'un côté, il attribue aux planètes des propriétés magnétiques, donc un pouvoir d'attraction et de répulsion qui par nature devrait pouvoir être à l'origine de tout ou d'une partie de leur mouvement ; mais d'un autre côté, il attribue au seul Soleil l'origine, c'est-à-dire la cause, de ce mouvement. Dit autrement, les corps planétaires ont *en tant que corps* des vertus motrices qui leur sont conférées par leur structure magnétique interne, mais *en tant que planètes*, ils sont passivement mus par la *vis motrix* du Soleil.

La difficulté apparaît alors même que, du point de vue de l'économie générale du propos de Kepler, et pour reprendre la formule de Koyré, le principal acquis de ce passage est la démonstration de la dignité éminente du Soleil[2] ; cette position, doublement centrale – centrale par rapport aux planètes et centrale dans la production du mouvement – est la seule qui rende intelligible le mouvement de l'ensemble des corps célestes et qui rende harmonieux son fonctionnement.

1 *Ibid*., p.303.
2 Voir Koyré, *op.cit.*, p.288.

Si paradoxe il y a, c'est qu'en réalité Kepler affronte ici, sans que ce soit formulé explicitement dans la mesure où l'expression elle-même est absente – pour les raisons que nous avons expliquées dans la première partie –, en ce moment problématique, la tension entre les deux conceptions du système du monde (le système du monde compris comme étude des parties du *cosmos* et le système du monde compris comme description des mouvements planétaires). Du point de vue de la nature des parties du monde, l'unification du ciel et de la Terre et, plus généralement, « l'unification scientifique du montre astral et du monde sublunaire » commande le maintien des âmes planétaires au même titre que celles de l'âme solaire.

Nous voulions ainsi finir cette enquête sur les enquêteurs, en ce qu'elle est celle qui nous dirige le plus directement vers les quelques analyses que nous sommes en mesure de donner, sur Kepler directement, à la lumière de ce que nous venons de lire et de dire. Il nous faut aller tout de suite à la confirmation de l'inscription de Kepler dans le mouvement de systématisation que nous croyons avoir trouvée dans le moment de l'histoire des sciences qui nous occupe ici.

Partie II - Retour à Kepler

Nous allons maintenant, et pour finir ce parcours képlérien, montrer, dans les choses et dans les mots, la manifestation de cet idéal de systématicité chez Kepler. Nous commencerons par convoquer trois opérations effectuées par Kepler qui nous paraissent toutes trois témoigner de cet effort : la restauration provisoire de l'équant, la substitution du Soleil moyen par le Soleil vrai, et enfin la désignation du Soleil comme source (*fons*) des mouvements planétaires. Puis nous étudierons brièvement l'usage que fait Kepler lui-même de la notion

La restauration de l'équant

Nous voudrions ici nous attarder quelques instants sur la restauration de l'équant, qui a été techniquement rendu nécessaire, du moins pendant un temps, par le remplacement du Soleil moyen par le Soleil vrai. Ce qui est particulièrement intéressant dans cette restauration provisoire d'une vieille technique, c'est qu'elle se situe sur les deux trajectoires dans lesquelles s'est situé Kepler : à la fois la transformation de l'astronomie en physique, et le remplacement du cercle par l'ellipse.

Copernic avait, avec de solides arguments, tourné le dos à l'équant, et reprochait explicitement aux ptoléméens d'avoir fait usage de cette technique de calcul en astronomie : il critiquait ainsi ces artifices par lesquels l'astre paraissait n'être mû avec une vitesse toujours uniforme, ni sur son orbe déférent, ni autour de son centre propre[1]

1 Copernic, N., Commentariolus, in Copernic, N., *Des révolutions des orbes célestes*, tr. M.-P. Lerner, A.-P. Segonds, J.-P. Verdet, Paris, 2015, vol. I, 231.

Copernic est du reste parfaitement cohérent sur cette question, si l'on se place du point de vue d'une astronomie réaliste. La planète se meut uniformément : tel est le réquisit. Mais par rapport à quoi se meut-elle uniformément ? Là se loge la possibilité d'une fausse uniformité, c'est-à-dire d'une uniformité apparente, donc, en quelque sorte, trompeuse : en effet, si la planète n'a un mouvement uniforme – mouvement angulaire en l'occurrence – que par rapport à un point mathématique, alors elle se meut très irrégulièrement par rapport au centre de l'orbe. Autrement dit, il s'agit d'une uniformité parfaitement fictive, et, pourrions-nous dire, arbitraire : elle échappe complètement à l'exigence de nécessité que nous avons pointée précédemment chez Copernic. On se situe du reste dans le cadre d'une astronomie parfaitement circulariste : or, avec l'équant, les mouvements de la planète ne sont pas *réellement* circulaires uniformes ; ils ne le sont qu'au prix d'une fiction et, à la limite, on pourrait trouver pour n'importe quel mouvement un point de vue depuis lequel il est susceptible d'apparaître régulier. Copernic a donc décidé de faire coïncider le point d'uniformité avec le centre présumé de l'orbe.

Quel sens alors donner à la restauration képlérienne de l'équant ? Nous l'avons dit, cette restauration se situe sur la route de l'ellipse ; il s'agit donc d'un détour vers une technique ancienne comme étape vers l'élimination radicalement novatrice. Personne mieux qu'Alexandre Koyré n'a exprimé la situation singulière de l'équant

Laissons la parole à Alexandre Koyré, et apprécions sous sa plume la dialecticité du chemin parcouru par Kepler dans cette réintroduction de l'équant :

Kepler, lui, refait le chemin inverse : de Copernic (Hipparque), il revient (ou il s'avance) vers Ptolémée, et c'est sans doute pour justifier sa démarche que, dès les premiers chapitres du premier livre de l'*Astronomia nova* (c. III et IV) il nous démontre longuement l'équivalence, il est vrai seulement approximative, de la théorie ptoléméenne (excentrique et *punctum aequens*) et de celle (ou celles) de Copernic : excentrique et épicycle ou concentrique et deux épicycles[1].

Pourquoi, alors, Kepler préfère-t-il la théorie ptoléméenne de l'équant à celle de Copernic ?

C'est que, pour Kepler, écrit Koyré, elle est supérieure à celle de Hipparque - Copernic. Et même doublement supérieure. Non seulement, en effet, elle est mathématiquement plus simple, et plus élégante, mais elle est aussi physiquement « plus vraie » en tant qu'elle reconnaît ouvertement le fait physique de la variation des vitesses des mouvements planétaires au lieu d'essayer de le masquer par une construction artificielle (superposition de mouvements circulaires uniformes)[2].

Nous voudrions ici, à la lumière de cette remarque particulièrement éclairante, suggérer brièvement en quoi la restauration de l'équant signe un effort vers l'idéal de systématicité. En effet, à première vue, nous pourrions penser qu'il y a un vrai recul, notamment du point de vue des critères que nous avons pointés : en effet, on ne voit pas très bien comment le point équant, dans la mesure où il s'agit bien d'un point géométrique

1 A. Koyré, *La Révolution astronomique, op. cit.* (note 18), p. 177.
2 *Ibidem*.

et non pas d'un point physique, serait en mesure d'accomplir la fonction physique à même de justifier le choix d'en faire le centre de l'uniformité de la vitesse du mouvement.

Cependant, et c'est ici, nous semble-t-il, que se trouve à la fois la difficulté mais aussi ce qu'il y a de plus essentiel dans ces quelques lignes : cette restauration refus une construction artificielle qui aurait pour fonction de masquer les inégalités dans les vitesses planétaires. C'est en ce sens, nous dit Koyré, que cette solution est plus vraie : physiquement, c'est-à-dire *réellement,* la planète connaît des variations, et la tâche de l'astronome est d'intégrer cette inégalité à son calcul. L'effort pour construire artificiellement des cercles est, comme nous avons déjà eu l'occasion de le voir, caractéristique de l'ancienne astronomie. Or, intégrer dans une fonction les inégalités de vitesse, et justement caractéristique de cette systématisation que nous essayons de décrire : l'équant permet d'établir un rapport entre toutes les différences de vitesses réelles, c'est-à-dire entre des rapports. *L'idéal de systématisation s'est bien substitué à l'idéal de construction.* C'est en ce sens qu'il y a bien une fonction au sens mathématique (on exprime les vitesses en fonction d'un point donné), capable de rendre raison d'une inégalité réelle plutôt que de construire une égalité fictive.

Mais il reste quelque dans le maintien de l'équant quelque chose qui ne satisfait pas les exigences que nous avons tenté de dégager. En effet, si l'usage de l'équant permet d'intégrer au système les inégalités réelles dans la vitesse de l'astre, il arrime un mouvement sur un point mathématique, et non sur un point physique. Il y a là quelque chose d'essentiel, du point de vue de ce que nous avons dit précédemment : la point équant est pertinent dans la mesure où il permet de tourner le dos à la fiction des improbables combinaisons circulaires, mais, *en tant que point*, il n'est doté d'aucune propriété qui lui

permette d'assurer la fonction qui lui est dévolue - en l'occurrence, réguler la vitesse de la planète.

Du point de vue de la systématisation, la restauration de l'équant est un geste qui trouve son sens, mais qui reste subordonné au geste plus fondamental, vers lequel nous allons nous tourner en fi, qui a consisté dans la substitution du Soleil moyen par le Soleil vrai. Mais avant de nous pencher dessus directement, il nous faut nous attarder sur ce qui a rendu physiquement nécessaire le changement de centre (car, de Copernic à Kepler, avec le choix du Soleil vrai, il y a bien recentrement) : la nécessité de déterminer la cause du mouvement planétaire consécutive à la destruction des sphères solides.

Destruction des sphères et motricité planétaires

Comme l'a fort justement noté Miguel Granada[1], Kepler a accordé une importance capitale à la disparition des sphères solides. Pour l'astronome, ainsi qu'il l'écrit dans l'*Astronomia nova*, cette destruction était le résultat des observations de Tycho Brahe sur les comète : « *Solidi orbes, ut Braheus ex trajectionibus cometarum demonstravit, nulli sunt* » (« Les orbes solides, ainsi que la démontré Brahe à partir des trajectoires des comètes, n'existent pas »).[2] Dans le monde des sphères, les planètes ne sont pas, à proprement parler, des corps mobiles : leur mouvement est produit par le mouvement des sphères dont il est une combinaison ; la seule question qui est posée, d'un point de vue moteur, est de savoir ce qui

1 Granada, M.A., « 'A quo moventur planetae?' Kepler et la question de l'agent du mouvement planétaire après la disparition des orbes solides », in *Galileana, Journal of galilean studies*, Anno VII, 2010, pp.111-141.

2 Kepler, J., *Astronomia nova*, in *Gesammelte Werke*, éd. M. Caspar, Munich, Beck, 1937-, vol. 3, p. 34 ; citée par Granada, M.-A., *op.cit.*, p.112.

meut les sphères (en l'occurrence, des moteurs externes : intelligences ou anges[1]) ; mais l'élimination des sphères a transformé les planètes en corps mobiles, rendant alors nécessaire d'expliquer leur mouvement en trouvant un agent moteur, une cause motrice. Dit autrement : la question de la motricité planétaire se pose à partir du moment où les sphères solides ne sont plus là pour assurer ce rôle.

Miguel Granada note que cette question n'a pas d'emblée constituée un problème : un simple transfert de l'intelligence motrice depuis la sphère à l'intérieur de la planète suffisait, moyennant une légère complexification du travail de ladite intelligence, à la mesure de la complexité de la trajectoire planétaire - autant dire qu'il ne pouvait s'agir d'une intelligence rudimentaire... L'explication animiste tenait la corde, que ce soit chez Tycho, chez Rothmann, ou chez Bruno. Mais avons-nous là affaire à une véritable *explication* du phénomène, ou bien plutôt d'un expédient, ou, comme l'écrit heureusement Granada, d'un *deus ex machina* qui, à la manière des scolastiques, règle un problème de motricité en attribuant aux corps un petite âme qui les meut et les dirige ; la véritable question – *comment* se meuvent les planètes, est en somme esquissée par cet animisme planétaire : « c'est une conception de l'âme intelligence *qui considère comme acquise* sa capacité de mouvoir la planète de manière ordonnée et régulière, de la sorte qu'elle ne se demande jamais comment l'âme accomplit cette tâche, comme se demander comment se meuvent les poissons et les oiseaux dans leurs milieux respectifs s'avère, finalement, une question oiseuse » (Granada ; nous soulignons)[2].

1 Voir Granada, M.A., *op.cit.,* p.112.
2 *Ibid*., p.114.

Les conditions du passage d'un copernicianisme cinétique à un copernicianisme dynamique n'étaient pas réunies. La physique céleste ne pouvait naître qu'à partir du moment où l'on se demande *comment* s'accomplit cette tâche.

C'est Kepler qui a accompli ce pas. Ce pas n'a pas été complètement, ou plutôt prioritairement accompli dans le *Mysterium cosmographicum*, où la question essentielle est celle d'une détermination a priori de l'ordre du monde (nombre et grandeur des orbes) ; cependant, il y a bien dans le *Mysterium* la soumission de l'hypothèse copernicienne à l'idéal systématique de la nécessité, et le soulèvement de la question de l'aptitude des éléments à remplir la *fonction* qui leur est dévolue dans le système.

Tout d'abord, comme on le lit dans les lignes suivantes, l'alternative entre motricité des orbes et motricité de la planète y est posée :

> *bien des gens ne craignent pas de se demander s'il y a vraiment des orbes adamantins de cette sorte dans le ciel ou bien si c'est sous l'action de quelque puissance divine, réglant leur course par l'intellection de rapports géométriques, que les astres, libérés des entraves de ces orbes, se déplacent à travers les champs de l'éther.*[1]

Deux remarques :

1) Certes il y a bien une intellection qui est nécessaire à ce que la planète se meuve, et en ce sens l'explication du mouvement demeure bien animiste. Mais la planète est belle est bien passive dans ce mouvement : elle ne se meut pas, elle est mue[2] : Kepler rompt donc ici avec l'explication active qui semblait prévaloir, comme explication

1 Kepler, J., *Le Secret du monde*, tr.fr. Alain Segonds, coll. Tel, Gallimard, Paris, 1984, p.138.
2 Nous devons cette remarque à Miguel Granada in *op.cit.*, p.117.

de fortune, après la chute des orbes, chez Bruno et chez Brahe entre autres. Mais reste alors une question : où donc est localisée cette puissance divine qui règle intelligemment le mouvement de la planète ?

2) Ensuite, et c'est là quelque chose qui nous semble essentiel dans la transformation que nous essayons d'étudier, la motricité planétaire est désindividualisée : elle va être retirée aux planètes et attribuée à un principe unique.

Tournons-nous ensuite vers le chapitre XX du même *Mysterium*, dans lequel Kepler se demande où peut bien être localisée l'instance qui dispose à la fois de la force pour les mouvoir et de l'intelligence pour les diriger :

> *Ou bien plus les âmes motrices sont éloignées du Soleil, plus elles sont faibles ; ou bien qu'il n'y a qu'une seule âme motrice placée au centre de tous les orbes (c'est-à-dire dans le Soleil) qui meut d'autant plus vigoureusement un corps quelconque qu'il est plus proche et qui, dans les corps plus éloignés, en raison de l'éloignement et de la diminution de la force, s'affaiblit.*[1]

Ce qui nous paraît ici particulièrement important ici, c'est la chose suivante : Koyré nous enseigne que pour Kepler ces deux hypothèses ne sont clairement pas équivalentes, et que sa préférence, quoi que non explicite dans le texte, va d'ores et déjà à la deuxième :

> *Des deux possibilités évoquées par lui, Kepler penche, visiblement, pour la seconde : il n'y a qu'une seule âme motrice, celle du Soleil, et c'est son action qui s'atténue avec l'éloignement. Dans quelle proportion ? Le plus vraisemblablement, estime-t-il, la même*

1 Kepler, J., *Le Secret du monde*, tr. française in *op.cit.*,

que celle avec laquelle s'atténue la lumière, proportion qui nous est bien connue par l'optique.[1]

Or, dans cette deuxième hypothèse, la propriété motrice du Soleil, c'est-à-dire son aptitude à remplir la fonction qui lui revient en tant que centre, lui est attribuable du fait que si on le choisit, lui, comme force motrice, alors on peut expliquer ensemble les différentes vitesses respectives des planètes (en fonction de leur éloignement). Le Soleil, pour en revenir à nos développements précédents, ne tire donc pas son privilège de centralité du *lieu* mais de la *fonction* qu'il est à même de remplir au titre des propriétés qui sont les siennes. Il est le meilleur centre possible, car il est le meilleur candidat à l'explication physique de tous les mouvements planétaires pris ensemble. Rien d'étonnant alors à ce que l'on retrouve, sous la plume de Kepler, des formules laudatives analogues à celles que nous avions repérées chez Rheticus, notamment dans leur dimension politique : le Soleil est décrit comme le souverain du monde, en l'occurrence, pour reprendre ses mots, il est le « cœur du monde, le Roi et Empereur des étoiles »[2]

Le *Mysterium* a donc indéniablement porté la physique céleste sur les fonts baptismaux ; nous ne nous attarderons pas sur les développements ultérieurs, et notamment les raffinements techniques, qui interviendront dans l'*Astronomia nova*. Nous voudrions seulement en relever les éléments qui confirment l'hypothèse que nous avons soulevée. Commençons par noter, avec Miguel Granada, que « l'*Astronomia nova* a apporté la confirmation de cette conception képlérienne de la dynamique du système planétaire

1 Koyré, A., *La Révolution astronomique*, op.cit., p.152.
2 Kepler, J., *Le Secret du monde, op.cit*., p.169. Miguel Granada, dans l'article cité ci-dessus, remarque que le même honneur est rendu au Soleil dans la dissertation de 1593, à Tübingen ; voir Granada, *op.cit.,* p.119.

héliocentrique, avec un raffinement et une définition de la production du mouvement planétaire plus corporelle et matérielle, plus proprement physique »[1].

Un élément doit retenir tout particulièrement notre attention. Dans la dynamique képlérienne, les corps ont une tendance au repos ; c'est cette tendance au repos qui nécessite de rendre raison du mouvement. Autrement dit, le mouvement a nécessairement une cause car, naturellement, les corps répugnent à bouger et tendent vers le repos. Comme nous l'avons précédemment noté, dans *La Révolution astronomique*, Koyré estimait que cet élément faisait de la dynamique képlérienne une dynamique frappée d'aristotélisme – le repos étant, chez Aristote, la fin du mouvement. Mais cette interprétation peut être discutée au regard d'un élément majeur, sur lequel Koyré insiste lui-même : les corps ont une tendance au repos *en n'importe quel lieu*, et non pas, comme c'est le cas chez Aristote, vers le lieu qui leur est propre. *La Révolution astronomique* le note clairement :

> *L'espace képlérien – bien qu'il soit fini et inclus dans la voûte céleste – est un espace parfaitement homogène, entièrement géométrisé, et dans lequel les « lieux » sont rigoureusement équivalents. Aussi les corps ne tendent-ils aucunement vers leurs « lieux naturels », puisqu'il n'y a pas de tels « lieux ». Ou, si l'on préfère, tous les « lieux » sont également naturels pour les corps qui, tous, sont également capables de se trouver dans tous les « lieux » ; et, s'y trouvant, d'y demeurer en repos sans éprouver la moindre tendance à en sortir.*[2]

Il n'y a pas de différenciation des lieux, mais un espace homogène dans lequel un corps est toujours-déjà à sa place, et dans lequel un mouvement est toujours une

1 Granada, M.-A., *op.cit.,* p.121.
2 Koyré, *La Révolution astronomique, op.cit*., p.194.

contrariété exercée par une action motrice extérieure. Il nous semble pouvoir lire dans cette composante non-aristotélicienne de la dynamique képlérienne un élément essentiel de la systématisation que nous avons tenté de pointer : l'explication du mouvement ne dépend pas du lieu, elle est, en quelque sorte, délocalisée : en même temps que le centre du système n'est pas un lieu privilégié mais un corps à même de remplir une fonction (la fonction motrice), de même le corps mû ne subit pas un dé-placement du fait du lieu où il se trouve, mais du fait de l'action d'un corps extérieur. Seuls les corps sont moteurs : par conséquent, d'une part les planètes ne se peuvent mouvoir qu'autour d'un corps (Soleil réel) et non d'un point, c'est-à-dire d'un lieu ; d'autre part, l'explication du mouvement planétaire se fait non pas par la position d'un astre en particulier, mais par sa position par rapport au centre, et se trouve ainsi ouverte la voie de son explication par sa position mise en rapport avec tous les astres pris ensemble. Le lieu n'est pas un principe moteur ; n'est principe moteur que ce qui met en rapport l'ensemble des éléments du système pris ensemble. Ce qui est abandonné, en filigrane, c'est donc la possibilité d'expliquer un mouvement pris à part de tous les autres là où, chez Aristote le lieu, étant différencié et propre, rend possible l'explication différenciée et propre à chaque corps de son mouvement.

On trouve trace explicite de cette liaison nécessaire entre tous les mouvements dans la *lettre à Herwart du 7 octobre 1602* (sept ans après le *Mysterium*) : le mouvement de la Terre se reflète « comme un miroir » dans les anomalies de Mars[1]. Reprenons une fois de plus le commentaire qu'en fait M.-A. Granada : « De cette manière se manifestait l'homogénéité ou

1 Kepler, J., *Lettre à Herwart du 7 octobre 1602*

l'uniformité de toutes les courses planétaires, sans aucune exception pour le Soleil ou la Terre »[1].

Mécanisation et systématisation

On peut donc remarquer la chose suivante, concernant une éventuelle idéalisation du monde chez Kepler. Il nous semble que si idéalisation il y a, elle doit être très clairement distinguée de la forme d'idéalisation qui consiste à prêter une faculté intelligente aux corps célestes. Une âme planétaire c'est aussi, et peut-être surtout, une *intelligence* planétaire, car l'explication du mouvement d'une planète est nulle et non avenue si elle ne rend pas compte de la raison pour laquelle la planète se meut *de cette façon* et non pas d'une autre. L'explication animiste du mouvement est idéaliste en ce qu'elle postule un mathématicien dans chaque planète.

En conséquence, l'explication animiste manque de systématicité : visiblement, elle dissocie l'explication motrice de l'explication de la trajectoire ; pour le dire autrement, en quelque sorte et à son corps défendant, l'explication animiste ne parvient pas à associer le dispositif moteur et le dispositif directeur.

A l'encontre de cet écueil, la physicisation képlérienne du mouvement planétaire est une mécanisation : la machine est un système de mouvements en ceci que tous les mouvements s'expliquent ensemble : une même force emporte l'ensemble du mécanisme et le mouvement de chaque pièce du mécanisme est fonction du mouvement de toutes les autres pièces, et inversement. Voilà du moins comment nous comprenons l'analogie entre le système solaire et la machine, dans la *lettre à Herwart* :

1 Granada, *op.cit.*, p.127.

> *Je m'occupe surtout de la recherche des causes physiques. Mon objectif est le suivant : d'expliquer que la machine céleste n'est pas comme un animal divin, mais comme une montre (celui qui croit qu'une montre est animée, il attribue à l'oeuvre la gloire de l'artisan), de sorte qu'en elle presque toute la variété des mouvements dépend d'une force magnétique corporelle très simple, de même que dans la montre tous les mouvements dépendent d'un poids très simple.*[1]

La montre est un petit système à l'aide duquel Kepler essaie de faire comprendre le sens de ses choix épistémiques. Du reste, nous voudrions insister ici sur une chose, à savoir que le système est bien un *idéal* de connaissance, qui aide à construire des théories explicatives ; nous voyons ici cela à deux éléments :

1) Tout d'abord, c'est clairement présenté ici comme un *objectif*, c'est-à-dire (du moins c'est ce que nous comprenons) comme la *norme* sur laquelle doit s'aligner toutes explication des mouvements planétaires ; autrement dit, celui qui prétend expliquer les mouvements planétaires *doit* le faire à la manière de celui qui rendrait raison du mouvement des aiguilles d'une montre ;

2) Il est très important de ne pas voir dans ces quelques lignes, ni plus généralement dans l'explication képlérienne du mouvement planétaire, une réduction mécaniste du *cosmos* : comme l'indique M. Granada, « la conception mécanique du mouvement planétaire à partir de l'action 'd'une force magnétique corporelle très simple' (qui n'est autre que la *vis motrix* solaire), laquelle n'implique pas toutefois la réduction ontologique de l'Univers à un système de corps en interaction mécanique, est, à notre avis, étroitement liée à la négation des âmes et des intelligences en tant

1 *Ibid*., lignes 56-61.

qu'agents du mouvement planétaire » (nous soulignons)[1]. Le point sur lequel nous voudrions insister est celui-ci : la mécanisation n'est pas une réduction ontologique. Cela veut dire que cette opération intellectuelle ne consiste ni à dépouiller le monde de quelque chose, ni à substituer des entités par d'autres : la mécanisation est simplement l'opération intellectuelle qui rend possible une connaissance systématique des mouvements planétaires. Dans n'importe quel monde, fût-il peuplé d'âmes et d'anges, vous ne rendrez raison des mouvements des corps qu'à condition de traiter ces mouvements ensemble et comme les effets d'une action mécanique extérieure. Par cette opération, Kepler satisfait en physicien, quant aux causes des mouvements, l'exigence que Copernic avait posée en astronome, quant à la disposition de l'univers : il en propose une explication *qualis alio modo reperiri non potest.* La nécessité de l'explication mécaniste disqualifie l'explication animiste, sans aucune réduction ontologique.

Du Soleil moyen au Soleil vrai

Cette substitution est le cœur de la révolution képlérienne, car c'est elle qui permet le passage d'un copernicianisme cinétique à un copernicianisme dynamique, c'est-à-dire physique, et qui supporte la substitution du cercle par l'ellipse.

Voyons, du point de vue de la systématisation, pour quelle raison il était nécessaire de prendre pour centre des mouvements le Soleil physique, c'est-à-dire le corps matériel du Soleil, et non plus, comme chez Copernic, un point mathématique.

1 Granada, *op.cit.*, p.129.

Commençons par en énoncer la raison sous la forme d'un principe : *c'est la fonction dévolue épistémiquement à l'objet qui conduit à s'intéresser aux propriétés physiques de l'objet choisi comme centre*. Sans cette fonctionnalité, alors il n'y a aucune raison d'affirmer que telle ou telle propriété physique ; il faut supposer la fonctionnalité pour pouvoir découvrir les propriétés auxquelles on s'attend en vertu même de cette centralité. C'est à partir, et à partir seulement, de ces propriétés, que l'on va pouvoir déterminer la fonctionnalité du centre, c'est-à-dire sa capacité à rendre raison de l'ensemble des rapports entre les éléments du système.

Pour répondre à cette question, il nous faut faire le pas accompli par Kepler, qui consiste en réalité en un double geste : dans un même mouvement le passage de la cinétique à la physique céleste, et, pour ce faire, comme condition de possibilité de ce passage, la substitution du soleil moyen par le soleil réel. Nous ne décrirons pas ici en détail l'histoire de cette transformation mais rappelons d'emblée pour commencer en quoi consista ce choix théorique : Kepler décida, dans le calcul des trajectoires célestes de prendre comme point de référence non pas le Soleil moyen, c'est-à-dire le point mathématique fictif qui était jusque lors utilisé, mais le Soleil réel, c'est-à-dire le corps physique.

Présentons brièvement ce moment décisif de l'histoire des sciences. C'est dans l'*Astronomia nova* que la décision, esquissée dans le *Mysterium cosmographicum* (et qui avait été esquissée dès le *Mystère du monde*) : dorénavant, les orbes ne seraient plus centrés sur un point géométrique, le Soleil moyen (c'est-à-dire le centre de l'orbe terrestre) mais sur le Soleil vrai, c'est-à-dire le Soleil physique. Voici comment l'énonce Kepler, assumant la rupture sur ce point non seulement avec Tycho, mais aussi et surtout, avec Copernic :

> *Or, le premier pas vers la détermination des causes physiques consiste dans la démonstration que le point commun des excentriques n'est pas un point quelconque dans le voisinage du Soleil, ainsi que l'ont cru Copernic et Brahe, mais est le centre du corps solaire lui-même*[1].

Pourquoi Copernic avait-il opté par la méthode du Soleil moyen ? Deux raisons doivent ici être avancées pour comprendre ce qui, rétrospectivement, et après l'invention de la physique céleste, semble être une anomalie, sinon un défaut, du modèle copernicien : d'une part, Copernic cherchant à déterminer de façon calculatoire le mouvement des astres, il lui était plus commode, d'un point de vue calculatoire, de calculer les trajectoires à partir d'un point de vue mathématique. D'autre part, il n'était pas du tout dans le propos de *rendre raison du mouvement* des planètes en un sens physique : cette question lui était tout à fait étrangère, et ne s'est posée, comme nous l'avons vue, qu'avec la destruction des sphères. Pour Copernic, la motricité planétaire était assurée par les orbes.

Pour Kepler en revanche, à partir du moment où l'on se propose de rendre raison de la motricité planétaire, c'est-à-dire à partir du moment où l'on se trouve dépourvu d'orbes motrices, il est absurde que le mouvement des planètes se règle sur un point dépourvu de propriétés physiques, un point mathématique. Dit autrement, le mouvement réel d'une planète ne peut réellement être réglé sur un point fictif. Pour reprendre ici les mots de Gérard Simon, il serait absurde « qu'un astre règle son mouvement sur un lieu où il n'y a

1 Kepler, *Astronomia nova*, KGW 3, 18-19.

pas de repère doué de réalité physique, ou le reçoive d'un endroit où n'existe effectivement aucun corps »[1].

Toutes ces choses-là sont, en réalité bien connues. Nous voudrions juste ici trouver une confirmation des réserves que nous avions émises sur l'interprétation magico-symbolique du maintien, chez Kepler, des âmes planétaires ; il s'agit plutôt pour nous d'une nécessité imposée par les exigences d'une explication systématique du mouvement. Les propriétés motrices des âmes constituent la vertu provisoire des corps en question à assure la fonction qui leur est dévolue dans le système des mouvements.

Le Soleil, source des mouvements planétaires

Choisir le Soleil vrai plutôt que le Soleil moyen, c'est donc soumettre le Soleil, comme centre, à la question que nous avions posée en définissant les critères de systématicité : comment le centre assure-t-il la fonction qui est la sienne. Nous ne rentrerons pas ici dans le détail de l'explication de la dynamique képlérienne, et des modalités par lesquels la force motrice du Soleil assure le ballet planétaire ; nous voudrions juste, pour finir par ce texte de Kepler, faisant suite à une visite à l'observatoire de Butzbach, et qui apporte une preuve du fait que le Soleil est l'origine du mouvement planétaire ; il y décrit un dispositif observationnel permettant d'observer les taches sur le Soleil :

1 G. Simon, *Kepler astronome astrologue*, *op. cit.* (note 7), 311.

Afin cependant de ne pas priver les lecteurs de tout l'agrément des spectacles, j'en évoquerai un seul, qui n'a pas laissé de m'émerveiller, quoique je sois particulièrement familier des observations. Dans un endroit dégagé et spacieux, on fixe un pieu d'une trentaine de pieds de hauteur ; au sommet, on place une poulie ; par cette poulie, on fait passer un câble de cabestan qui entoure un tube immense de cinquante pieds, mû à grand peine par six hommes robustes depuis son faîte ; on élève ce tube à une hauteur telle que, par son trou – qui fait la taille d'un petit pois, ou bien d'une lentille, ou même d'un grain de millet – le Soleil projette ses rayons sur une tablette blanche opposée, qui termine la cavité du tube à son extrémité. On distingue alors clairement, sur la tablette, les taches du Soleil, qui sont formées par le simple trou, sans l'interposition d'aucun verre convexe ; les figures, recueillies plusieurs jours d'affilée à midi, attestent que le mouvement des taches décrit une ligne qui est perpendiculaire à la ligne des solstices, et qui forme avec la ligne des équinoxes un angle complémentaire à l'obliquité de l'écliptique [in opposito aequinoctio plagae etiam contrariae] ; en sorte que cette ligne de mouvement se situe toujours dans le plan de l'écliptique. C'est pourquoi, si la tache est fixe à la surface du soleil, il s'ensuit que, de la même manière que celle-là, le globe solaire lui-même, dis-je, s'avance en suivant l'écliptique ; nous en concluons ainsi qu'il tourne autour de son axe et des pôles. Ajoute cet argument à tous ceux que j'ai déjà mentionnés dans l'Epit. Ast. Lib. IV p. 514 num. 4, et demande-toi si quoi que ce soit nous empêche encore de tenir pour très certaine la proposition suivante : LE SOLEIL EST L'ORIGINE DU MOUVEMENT DES PLANETES.[1]

Ici, il nous semble que le parcours est achevé, car le Soleil est bel et bien centre, mais il est centre *en tant* qu'il est origine du mouvement. Il n'y a aucun autre moyen d'expliquer les mouvements respectifs des planètes, il les explique tous ensemble, sa centralité est justifiée par sa fonction motrice.

1 Kepler, *Ad Epistolam.... Jacobi Bartschii... Responsio : de computatione et editione Ephemeridum*, KGW 11, 1, 469, l. 18-42.

Conclusion

En conclusion, nous voudrions remarquer que la présentation de Kepler comme un *janus bifrons,* de même que la tentation de rétrocéder sa place dans l'histoire des idées depuis les Modernes vers les Anciens (ainsi que nous avons pu le lire chez Pauli) peut être nuancée à la suite des réflexions que nous avons tenté d'esquisser. L'idéal de systématicité permet de dégager à la fois une unité par-delà la dualité apparente entre mathématisation et magico-symbolisme, et de montrer l'effort tout entier orienté vers la rénovation de l'astronomie en lui donnant un fondement physique à même de rendre véritablement raison des mouvement planétaires.

CHAPITRE 8 - GALILÉE

Introduction

Au paragraphe 9 de la *Krisis*, Husserl décrit la manière dont la science galiléenne a promu la substitution d'un monde d'idéalités au monde réel ; la mathématisation de la physique aurait mis le sujet moderne au milieu d'un schisme entre un monde qui *apparaît*, rempli de qualités sensibles, mais *faux* au regard des exigences de la science, et un monde *vrai*, rationnel, connu, mais qui n'apparaît pas.

Dans une telle lecture, le moment galiléen des années 1610-1612 trouve nécessairement une place ambigüe. D'un côté, les nouveautés observées avec le télescope à cette période – essentiellement la surface de la Lune et la surface du Soleil – font figure d'écart par rapport à ce processus d'idéalisation du réel, par un retour aux choses empiriques mêmes et, notamment, pour ce qui est du *Messager céleste*, la restitution de contenus observationnels purs de toute théorisation. L'œil de Galilée ramène une science mathématique naissante à un donné non immédiatement mathématisable et non prévisible par les outils de la mathématisation – non prévisible *en droit*, selon la définition que nous avons donnée des nouveautés célestes[1]. On opposera donc aisément, au livre écrit en langage mathématique du *Saggiatore*, le *message du ciel* gracieusement délivré par la nature afin de dissiper le monde de papier de la cosmologie péripatéticienne[2].

1 Nous avons défini en introduction les nouveautés célestes comme des objets découverts par l'observation, qui à la fois n'étaient pas prévues *de fait*, et ne l'étaient pas non plus *en droit* dans aucun système du monde possible. À ce titre, les taches du soleil et les étoiles nouvelles, sont des nouveautés célestes, alors que la parallaxe des fixes, ou les phases de Venus, n'en font pas partie : il s'agit de la confirmation observationnelle de phénomènes prédits sous un système donné.

2 Dans son ouvrage *Galilée et Husserl,* François de Gandt dit les choses, à ce propos, de fort belle manière : « De quoi Galilée se glorifie-t-il à la fin de sa vie ? D'avoir agrandi le monde par ses observations et ses démonstrations – lui qui est accusé d'avoir idéalisé le monde, substitué un autre monde métaphysique à la place du vrai monde, jeté sur notre monde un manteau d'idées [...] tout bien pesé, il nous semble que Husserl et les néo-kantiens ont manqué un trait éminent de l'œuvre de Galilée : l'ouverture nouvelle au monde sensible, l'exigence de vérification, d'observation, de « sortie » des livres et des théories, par une inspection directe et personnelle des choses. [...] Il a vu et il a fait voir ». Le moment 1610-1612 est évidemment l'épisode

D'un autre côté cependant, les nouveautés des années 1610 parachèvent, provisoirement du moins, un processus d'unification physique du monde et d'abolition de sa division en deux zones distinctes et hétérogènes – processus préparatoire et producteur du traitement mathématique de la nature. Leur étude par Galilée s'inscrit donc directement dans l'histoire des transformations cosmologiques et physiques induites par l'observation des nouveautés célestes, depuis les comètes et les *novae* observées à partir des années 1570, et la destruction des orbes solides qui en a résulté. Ainsi, il est remarquable que le premier reproche qui est adressé au jésuite Scheiner, dans la lettre du 4 mai 1612 (la première des trois lettres écrites par Galilée sur la question des taches solaires) concerne son adhésion toujours maintenue à l'existence physique, solide de ces orbes, signe manifeste de « son incapacité à se détacher totalement des opinions gravées dans son esprit[1] » ; ce qui est en jeu pour Galilée ne concerne donc pas exclusivement, peut-être même pas essentiellement, la composition du soleil, ni celle de la corruptibilité de la matière céleste, mais quelque chose de plus général : la « constitution de l'univers ». À ce titre, et malgré le retour à l'observation pure dont elles sont l'occasion, ou qu'à tout le moins elles revendiquent, les réflexions de Galilée sur les taches solaire portent à son acmé l'avènement d'une nature dans laquelle pourra se déployer le mode de pensée géométrique. Absent du *Messager*, discret dans les *Lettres* de 1612, l'usage des mathématiques s'applique à une nature qui trouve, à cette occasion, la preuve de sa *réalité*.

Mais de quelle réalité s'agit-il ? Doit-on vraiment concéder à Husserl qu'il s'agit d'une réalité de substitution, et plus exactement d'une « substitution frauduleuse [...], qui met le monde mathématique des idéalités, grâce à une substruction, à la place de l'unique monde

de la vie savante de Galilée qui conforte au plus haut point une telle remarque, et de Gandt cite à son appui l'observation des surfaces lunaire et solaire.

1 Galilée, *Lettre à Welser du 4 mai 1612*, in Clavelin, M., *Galilée copernicien*, Bibliothèque de l'évolution de l'humanité, Albin Michel, Paris, 2004, p.102.

effectif, le monde effectivement donné dans la perception [...][1] » ? Mais alors, comment concilier cette idée avec l'évidence que la nature nouvelle a éliminé une substitution plus frauduleuse encore, celle qui mettait à la place de l'évidence sensible les spéculations les plus hasardeuses ?

L'étude des surfaces des deux luminaires permet de proposer une lecture qui dissipe, en partie du moins, le malentendu[2] de la lecture husserlienne ; il s'agit moins de concilier empirisme et mathématisme dans la pensée de Galilée que de montrer comment ces nouveautés célestes ont été l'occasion, certes d'une idéalisation de la nature, mais qui ne réside pas dans la substitution d'un monde vécu par un monde mathématique. À l'épreuve de ces nouveautés, la science galiléenne a contribué à promouvoir un monde *systématique* en lieu et place d'un monde *cosmique* ; cette systématisation du monde ne pouvait être, à ce moment, que partielle, dans la mesure où la notion même de *systema mundi*, dont Galilée promut l'usage dans le titre de son *Dialogo* de 1633, n'était elle-même pas encore unifiée – la notion désignait à la fois, dans la tradition grecque, comme nous l'avons vu, la constitution de l'ensemble des parties du monde, et, dans une acception astronomique plus récente, les différentes hypothèses concernant la structure des mouvements planétaires[3]. Les textes du *Messager* et des lettres à Welser illustrent cette hybridité de la notion de système et l'effort pour la dépasser – la nouveauté de leurs objets étant l'épreuve de ce qui les distingue encore et de la nécessité de leur unification en un *systema mundi* présentant à

1 De Gandt, F., *Husserl et Galilée, Sur la crise des sciences européennes*, Bibliothèque des textes philosophiques, Vrin, Paris, 2004, p.70.

2 Pour la spécification du malentendu, nous renvoyons encore aux analyses de François de Gandt, *op. cit.*, pp.105 sq. ; *cf.* : « Mais, tout bien pesé, il nous semble que Husserl et les néo-kantiens ont manqué un trait éminent de l'œuvre de Galilée : l'ouverture nouvelle au monde sensible [...]. »

3 Voir à ce sujet l'article de Michel-Pierre Lerner « The Origin and Meaning of 'World System' », Journal for the History of Astronomy, vol.36, novembre 2005.

la fois la véritable constitution de l'univers et la structure vraie du monde autour de son centre immobile.

Dans ce chapitre, nous commencerons donc par montrer les reconfigurations induites par ces observations sur la conception de l'astronomie et de ses rapports avec la cosmologie. Puis nous montrerons la façon dont les différentes modalités de preuve apportées, contre l'opposition entre domaine terrestre et domaine céleste notamment, mettent davantage en jeu la *systématicité* du copernicianisme que sa vérité empirique.

I. Galiléisme, copernicianisme et systématicité du monde

Nous l'avons déjà vu : la supériorité du système de Copernic n'est pas seulement observationnelle – elle n'est pas d'ailleurs *essentiellement* observationnelle[1] ; elle s'éprouve également par sa plus grande simplicité[2], sa plus grande économie, et sa plus grande résistance aux phénomènes nouveaux. Ce n'est pas seulement comme outil mathématique que l'héliocentrisme s'est imposé progressivement, à partir de la fin du XVIe siècle, mais aussi comme modèle de ce qu'une théorie scientifique *doit* être, c'est-à-dire un ensemble cohérent et économique d'hypothèses, rendant raison de l'ensemble des phénomènes observés et faisant preuve d'une grande capacité à résister aux tests empiriques.

Galilée avait une pleine conscience de cet aspect du copernicianisme, et notamment de la vertu même de la cohérence en épistémologie ; « Qui ne sait que toutes les vérités dans la nature s'accordent entre elles avec la plus grande harmonie, alors qu'il existe une dissonance aiguë entre les positions fausses et les effets vrais ? »[3], écrit-il ainsi dans ses *Considérations sur l'opinion copernicienne*. L'harmonie désigne ici, vraisemblablement, une propriété commune à la nature et au discours vrai que l'on tient sur elle ; le postulat métaphysique d'un ordre immanent au monde induit donc un critère épistémologique de discrimination entre les positions – les positions « dissonantes » devant être éliminées. Remarquons au passage que l'harmonie, la consonance et la dissonance, sont non seulement des *signes* de présence, de reconnaissance, de la vérité dans une théorie, mais,

1 Sur la quasi-équivalence observationnelle des systèmes de Copernic et Ptolémée, voir l'article de Nicholas Jardine, « The forging of modern realism : Clavius and Kepler against the sceptics », Studies in History and Philosophy of Science Part A », Vol. 10, Issue 2, June 1979, pp. 141-173.

2 Encore que, comme le remarque Alexandre Koyré dans *La Révolution astronomique, op.cit*., la simplification calculatoire apportée par Copernic est toute relative.

3 In *Considérations sur l'opinion copernicienne*, cité par Philippe Hamou, dans son article « Faire système du monde. Défis et apories d'une cosmologie copernicienne dans l'œuvre de Galilée », Les Etudes philosophiques, 2018/2 (n°125), pp.227-250 ; p.237.

dans la mesure où elles sont l'expression d'une propriété essentielle du monde lui-même, elles sont des *critères* de vérité.

Parmi les analyses classiques qui ont mis en évidence les propriétés spécifiques du modèle copernicien, nous voudrions en ce début de réflexion sur Galilée, brièvement, restituer et commenter celle que propose Imre Lakatos dans son *Histoire et méthodologie des sciences*[1]. Ce dernier analyse essentiellement la capacité de ce modèle à intégrer des données observationnelles nouvelles, et à prédire des choses qui n'avaient jamais été observées auparavant ; dit autrement, si le modèle copernicien a réussi à s'imposer, c'est parce qu'en lui était contenu, comme étant susceptible d'être expliqué par lui, des phénomènes qui ne pouvaient s'intégrer au modèle ptoléméen ; dit autrement encore, l'héliocentrisme copernicien résiste mieux que tout autre modèle à la contre-épreuve des données observationnelles nouvelles. Pour utiliser sa propre terminologie, il est à la fois *théoriquement* et *empiriquement* « progressif »[2]. Nous voudrions montrer ici pourquoi cette analyse, dont nous ne minimisons en rien le mérite, ne parvient pas complètement à saisir en quoi le modèle copernicien se distingue essentiellement de ses rivaux par sa *systématicité*, et que c'est cette dernière qui explique, en retour, la progressivité dont parle Lakatos.

1Lakatos, I., *Histoire et méthodologie des sciences : Programmes de recherche et reconstruction rationnelle*, trad. Catherine Malamoud et Jean-Fabien Spitz sous la dir. De Luce Giard, Bibliothèque d'histoire des sciences, PUF, Paris, 1994

2 « Un programme de recherche est soit progressif, soit dégénératif. Il est théoriquement progressif si toute modification si toute modification amène des prédictions nouvelles inattendues et il est empiriquement progressif si quelques-unes au moins de ces prédictions inédites sont corroborées » ; in Lakatos, I., *Histoire et méthodologie des sciences : Programmes de recherche et reconstruction rationnelle*, trad. Catherine Malamoud et Jean-Fabien Spitz sous la dir. De Luce Giard, Bibliothèque d'histoire des sciences, PUF, Paris, 1994, p.172.

Regardons les exemples que ce dernier dégage pour montrer la progressivité du système de Copernic, c'est-à-dire sa capacité à prédire et être confirmé par des faits observationnels inédits ; ils sont au nombre de quatre[1], et aucun parmi eux n'appartient à la catégorie d'objets que nous étudions sous le terme de « nouveautés célestes ». De manière très significative, il suggère que « le programme de Copernic n'est devenu *empiriquement* progressif qu'en 1616 », c'est-à-dire après la découverte de la supralunarité des comètes, des étoiles nouvelles, et près de six ans après les premières observations télescopiques de Galilée.

Ceci est d'autant plus surprenant qu'il insiste à juste titre, dans l'avènement de cette progressivité, sur la fondation par Kepler de la dynamique héliocentrique, qui constitue selon lui une heuristique « révolutionnairement nouvelle » ; il est très curieux que Lakatos ne fasse pas le lien, historiquement réel, entre la fondation de la dynamique céleste et l'intégration des nouveautés célestes (en l'occurrence des étoiles nouvelles et surtout des comètes) au programme de la science astronomique – tant il est vrai que la destruction des orbes induite par les découvertes de Tycho a été au principe de la question képlérienne de la motricité planétaire. Cet aspect de l'histoire de l'astronomie est notoirement absent dans l'analyse de Lakatos, et plus largement, la destruction des orbes et l'abolition de la distinction entre les deux domaines sont passée sous silence. Notre hypothèse est que son modèle explicatif de ce moment de l'histoire des sciences repose sur deux éléments, qui l'empêchent de prendre ceci véritablement en considération, et qui de fait réduisent le champ de ces choses inédites que le copernicianisme était à même d'embrasser :

1 A savoir : « le retour de la comète de Halley, la découverte de Neptune, la courbure einsteinienne des rayons lumineux, l'expérience de Davisson et Germer » ; in Lakatos, *op.cit,* p.172.

1) Lakatos, dans la lignée de Zahar qui, dans ce texte, constitue sa référence principale, focalise son attention sur les « faits inédits », c'est-à-dire sur des phénomènes que le modèle nouveau est le seul à pouvoir expliquer, sinon le seul à pouvoir prédire. Or, la destruction des orbes et l'abolition de la distinction entre zone sublunaire et zone supralunaire ne sont pas des faits inédits, mais ce sont eux-mêmes des éléments du modèle qui permettent d'intégrer ces nouveaux faits à la théorie.

2) La conception de l'astronomie latente dans cette analyse de la révolution copernicienne demeure essentiellement *calculatoire* et *planétaire* : *in fine*, les nouveautés que le modèle héliocentrique pourrait se targuer d'avoir, seul, prédites ou rendues observables, concernent les mouvements planétaires. Ceci est manifeste dans la liste qu'il propose de ce qu'à partir du modèle fondamental de Copernic, on peut prédire avant toute observation[1], au premier rang de laquelle figurent les arrêts et les rétrogradations des planètes (que l'on n'est plus tenu de sauver en rajoutant des hypothèses *ad hoc*, mais qui sont « de simples conséquences logiques du modèle »[2]) et l'augmentation de la période des planètes relativement à leur distance par rapport au soleil. Dans l'exégèse qu'il propose de ce dernier élément, il fait du choix même du Soleil comme centre du monde un choix essentiellement calculatoire :

> *La période d'une planète augmente strictement avec sa distance au Soleil, c'est-à-dire à ce qui est à l'origine du cadre de référence copernicienne. Cela est compatible avec le savoir acquis et établi. Le programme ptoléméen en tant que tel ne fait pas place aux distances planétaires, mais seulement aux mouvements angulaires des planètes. Par*

1 Cf Lakatos, *op. cit.*, pp. 174-175.
2 *Ibid*, p.174

conséquent, la détermination des distances planétaire représente un contenu supplémentaire de la théorie copernicienne par rapport à celle de Ptolémée.[1]

Nous pouvons lire dans ces lignes le primat de la dimension calculatoire de l'astronomie, telle que Lakatos la conçoit ; la supériorité du système de Copernic s'éprouve par sa capacité à intégrer cette question au domaine astronomique, c'est-à-dire à montrer comment le choix du centre du système permet de donner une place à part entière, au sein du modèle, à la question des distances spatiales. Non pas, bien sûr, qu'un tel calcul ne soit pas possible dans le cadre de l'astronomie ptoléméenne : Lakatos prend soin de préciser la formule par laquelle, dans cette dernière, les distances peuvent être calculables. Mais « ces équations se greffent sur le programme de Ptolémée de manière *ad hoc* »[2] ; très curieusement, dans cette conception calculatoire, et, en un certain sens, instrumentale, de l'hypothèse astronomique, il est possible pour Lakatos de discriminer entre des questions *ad hoc* et des questions qui sont comprises dans le programme – alors qu'il semblerait que ce soient les hypothèses qui soient *ad hoc* (ajout d'un épicycle par exemple) plutôt que les questions traitées par le système.

Il nous paraît donc essentiel de noter que la progressivité au sens de Lakatos ne s'applique que fort malaisément à la question des nouveautés célestes, et ce pour deux raisons essentielles.

D'une part, elle nous paraît en décalage avec le critère qu'elle prétend elle-même proposer pour justifier la supériorité d'une théorie sur une autre[3]. En effet, en réduisant

1 *Ibid*., p.176.
2 *Ibid*., p.176.
3 La normativité de la philosophie des sciences est parfaitement assumée au début du chapitre.

les phénomènes qui attestent de la progressivité du modèle au caractère purement calculatoire, à la prédictibilité spatio-temporelle, il s'empêche de penser la transformation à l'œuvre au sein de l'astronomie à cette même époque, c'est-à-dire son évolution d'une discipline mathématique ayant pour objet le calcul du mouvement planétaire à une physique des objets célestes (ces derniers ne se limitant plus aux seules planètes mais s'élargissant progressivement à ce qui, dans le sillage d'Aristote, était considéré comme des météores)[1]. Cette transformation, dont nous avons vu que le moment charnière fut l'invention, par Kepler, de la dynamique céleste, a émancipé l'astronomie de sa fonction de calcul des mouvements. Plus profondément, et nous voudrions montrer cela dans les pages qui viennent, la mathématisation de la physique à l'œuvre au début du XVII^{e} siècle n'aurait pas été possible sans la fin du cantonnement de l'astronomie à cette fonction calculatoire. Il fallait que l'astronomie arrêtât de seulement *calculer* pour que la physique pût se *mathématiser*.

La question qui va nous occuper dans ce chapitre sur Galilée, celle des nouveautés célestes observées à la lunette, nous paraît être la meilleure contre-épreuve de cette lecture ; ce que montre l'étude galiléenne des nouveautés du *Messager*, et des taches de 1612, c'est que la supériorité du système copernicien (même si elle n'était pas l'enjeu principal du *Messager*), ou, pour reprendre le terme de Lakatos, sa progressivité, s'est éprouvée de manière non calculatoire.

Centralité du Soleil et systématicité de l'héliocentrisme

1 Nous songeons ici d'abord et avant tout aux planètes.

Galilée a déclaré en maints endroits son adhésion au copernicianisme ; l'un des textes les plus importants, nous l'avons déjà évoqué, est la lettre envoyée à Kepler le 4 août 1597 :

> *Je suis venu à l'opinion de Copernic il y a déjà plusieurs années et [...] j'ai découvert, à partir de cette hypothèse, la cause de beaucoup d'effets naturels qui sont assurément inexplicables au moyen de l'hypothèse commune : j'ai composé beaucoup de démonstrations et préparé la réfutation de beaucoup d'arguments contraires, mais jusqu'à présent je n'ai pas osé publier tout cela [...].*[1]

Ce qui est mis en avant comme signe de supériorité, mettant hors de propos toute éventuelle équivalence des hypothèses, est donc la plus grande fécondité explicative de l'héliocentrisme.

Dans la Troisième journée du *Dialogo,* Galilée esquisse un itinéraire bref de la pensée de Copernic, et en retient deux étapes ; ce dernier a « commencé par restaurer la science astronomique à partir des suppositions de Ptolémée »[2], et a notamment apporté des corrections aux mouvements planétaires, de telle sorte que calculs et apparences correspondent très exactement les uns aux les autres. Dans la restitution qu'en propose Galilée, et du strict point de vue de l'astronome calculateur, cette entreprise était une réussite, à une condition toutefois : que les planètes fussent considérées une par une, séparément, et que l'on évaluât le système pour sa capacité à sauver chaque trajectoire planétaire prise séparément des autres. En revanche, « quand il voulut saisir ensemble toute la structure de ces constructions particulières, il en sortit un monstre et une chimère faite de membres absolument disproportionnés et incompatibles entre eux »[3], de telle sorte

1 Galilée, *lettre à Kepler du 4 août 1597*, OG, X, p.68 ; cité in Bucciantini, M., *op.,cit.,* p.62.

2 Galilée, *Dialogo sopra I due massimi sistemi del mondo* (1632) ; *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, Galilée, publié en 1632, traduction par René Fréreux et François de Gandt. Paris, Seuil, Points Sciences, 2000, p.508.

3 *Ibid*., p.509.

qu'à la satisfaction de l'astronome calculateur répondait le trouble du philosophe. L'introduction de la rotation diurne et du mouvement annuel par Copernic, deuxième moment de cet itinéraire, vinrent donc combler un manque de satisfaction concernant non pas le mouvement des planètes prises individuellement mais la constitution de l'ensemble, ou comme le dit Salviati, le rapport entre le tout et les parties.

La réplique de ce dernier laisse d'ailleurs une certaine incertitude concernant le statut exact de l'hypothèse, prise isolément : il se contente de dire que « si, avec des hypothèses fausses par nature, on peut sauver les apparences, il vaut mieux le faire à partir de suppositions vraies »[1]. Le refus galiléen de l'équivalence des hypothèses[2] trouve ici son horizon véritable : non pas tant la capacité à sauver les phénomènes qu'à proposer une constitution systématique de l'ensemble des phénomènes astronomiques.

Nous avons montré précédemment les éléments qui grevaient, aux yeux de Copernic, la systématicité de la constitution ptoléméenne du monde, et notamment le recours à l'équant. Nous voudrions ici montrer le lien étroit entre cette exigence de systématisation de l'astronomie et les nouveautés célestes observées par Galilée. Juste avant ce moment, Salviati présente la confirmation des phases de Vénus apportée par le télescope : s'il ne s'agit pas d'une nouveauté céleste, au sens où c'est un phénomène qui était prévisible à partir de l'hypothèse elle-même, la nouveauté des données observationnelles permises par l'instrument d'optique permet à Sagredo d'exclamer l'effet de systématicité éprouvé par ces nouvelles explications[3]. Cette satisfaction, presque psychologique, manifeste par

1 *Ibid*., p.509.
2 Cf Clavelin Maurice. Galilée et le refus de l'équivalence des hypothèses. In: *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, tome 17, n°4, 1964. pp. 305-314.
3 « Ô Nicolas Copernic ! quelle délectation ç'aurait été pour toi de voir par des expériences si claires confirmer cette partie de ton système », in Galilée, D*ialogue sur les deux grands systèmes du monde, op.cit. p.506.*

ailleurs la conscience de ce que le télescope constitue un allié dans la bataille copernicienne, en l'absence d'une preuve directe du mouvement de la Terre.

Galilée multiplie alors les exemples de succès explicatifs rencontrés par l'hypothèse copernicienne, avant d'évoquer *la place du Soleil* au sein du système. On comprend alors que la centralité de celui-ci n'est pas purement astronomique, qu'elle ne se limite pas à sa position de référence pour les mouvements planétaires. Voici ce que dit Salviati, juste avant d'évoquer les taches solaires elles-mêmes :

> *Mais il y a un autre effet, non moins admirable et difficile à dénouer, qui contraint l'intellect humain à admettre la rotation annuelle du globe terrestre ; il s'agit d'une hypothèse nouvelle et inattendue qui porte sur le Soleil lui-même ; car le Soleil n'est pas resté à l'écart, il a voulu contribuer lui aussi à confirmer une conclusion aussi importante, et témoigner hautement qu'elle ne connaît aucune exception.*[1]

S'ensuit une longue et quasi-exhaustive restitution des éléments qui sont contenus dans les lettres de 1612 (et sur lesquels nous reviendrons ci-dessous). Ce qu'il est particulièrement intéressant de noter, c'est que la conclusion de ce passage propose une réfutation par l'absurde de l'astronomie géocentrique ; et à cette occasion, le Soleil trouve une place bien plus importante qu'il ne paraît dans les lignes que nous avons citées ci-dessus : sa centralité coïncide avec une rationalisation de l'ensemble des éléments explicatifs des mouvements.

En effet, alors que dans l'hypothèse héliocentrique l'explication du mouvement des taches à sa surface impose la conciliation, impossible, de quatre mouvements différents (le mouvement du Soleil sur l'écliptique en un an, un mouvement journalier en spirale ou en

1 *Ibid*., p.509.

cercle, un mouvement mensuel de son axe et de ses pôles, et enfin une rotation sur lui-même), sa mise au centre permet d'obtenir un seul mouvement, son mouvement autour d'un axe immuable. La présence de ces taches et l'observation de leur mouvement ont donc permis de montrer que la centralité du Soleil était la seule explication rationnelle possible, non seulement du mouvement des planètes, mais également du mouvement du Soleil lui-même. En sorte que, grâce au changement d'hypothèse, c'est l'ensemble des mouvements qui se trouvent liés les uns aux autres par un lien de nécessité, là où dans l'hypothèse rivale ils doivent être dissociés les uns des autres afin de ne pas être en contrariété les uns avec les autres.

L'observation des taches est donc le moment où la centralité du Soleil répond non pas à un simple besoin de sauver les apparences, ou d'accorder les calculs avec les apparences, mais de réunir par un lien de nécessité l'ensemble des mouvements mesurés et la totalité des objets observés. La liaison nécessaire des éléments entre eux, conséquente à la centralisation du Soleil, permet donc de passer d'une constitution d'éléments à une totalité au sein de laquelle se décrit le comportement des parties. En sorte que l'effet de va-et-vient entre les apparences et les calculs, que dénotait la description par Salviati de la démarche ptoléméenne (« faire correspondre très exactement les calculs aux apparences et les apparences aux calculs »[1]) s'arrête : les apparences sont nécessairement reliées à un principe explicatif unique et, en conséquence, ne trouvent plus aucune occasion de s'écarter des calculs.

1 *Ibid*., p.508.

II. Astronomie, cosmologie et empirisme de Galilée à l'épreuve des nouveautés célestes

La découverte de nouveautés dans les cieux a conduit Galilée, dans les écrits qu'il leur a consacrés, à exprimer, non pas systématiquement mais de manière impressionniste, par petites touches, sa conception de l'astronomie, de la cosmologie, et des rapports entre raisonnement et observations. Nous voudrions ici restituer ces différents éléments et montrer de quelle manière les nouveautés ont contribué à leur reconfiguration.

A. Précédents antiques de l'observation des taches solaires

1. Le contexte polémique des lettres de 1612

La querelle sur l'observation des taches solaires est double : elle porte d'abord sur la primauté de leur observation, Galilée et le jésuite Scheiner, destinataire réel des lettres de 1612, revendiquant tous deux avoir été les premiers à les observer. Cette querelle de primauté se redouble d'une controverse quant à l'interprétation du phénomène : s'agit-il à proprement parler de taches maculant la surface du Soleil (auxquelles la perfection de l'astre solaire trouve une réfutation empirique) ou bien s'agit-il, par exemple, de planètes passant entre l'observateur terrestre et le soleil, provoquant de toutes petites éclipses faussement perçues comme des taches ?

L'enjeu de cette bataille entre les deux ne saurait être compris sans relativiser la primauté des observations de 1611 au regard d'une histoire plus ancienne de l'astronomie ; en effet, comme cela a déjà été montré, ce n'était pas la première fois qu'un œil humain apercevait de telles taches à la surface du Soleil. Les Egyptiens dans l'Antiquité, les Arabes au moyen âge, mentionnèrent leur observation. Avant d'examiner brièvement le type

d'explication qui en avait été proposé, arrêtons-nous sur ce que nous pourrions nommer la cécité occidentale relative à ces taches. Comment se fait-il qu'en 1611, une controverse ait pu éclater sur des objets l'existence était connue, dans d'autres ères historiques et géographiques, depuis de si nombreux siècles ?

L'explication ne peut être que théorique. Les astronomes occidentaux, et notamment les Grecs, n'ont pas vu ces taches parce qu'ils ne pouvaient pas les voir ; l'existence de phénomènes transitoires, soumis au devenir, à la surface d'un astre était au premier abord incompatible avec l'incorruptibilité de la matière céleste. C'est donc parce que l'existence de tels phénomènes n'était pas prévue par le cadre scientifique et cosmologique dominant qu'elles ne pouvaient pas exister ; et c'est parce qu'elles ne pouvaient pas exister qu'elles ne pouvaient pas être vues.

Il faut en particulier remarquer que l'usage de la lunette n'était pas nécessaire pour observer ces taches, dont certaines sont suffisamment grandes pour être vues à l'œil nu, au lever et au coucher du soleil. Comme l'a bien expliqué de G. Sarton, dans un article en 1947, « Early observations of the Sunspots ? »[1], si la découverte de Fabricius, Galilée et Scheiner, au début des années 1610, a bien été effectuée et rendue fructueuse par l'usage d'un instrument d'optique – la lunette, celle-ci n'était en rien nécessaire pour les percevoir. Ce qui était nécessaire en revanche était de vaincre « l'inertie intellectuelle », le « préjugé », selon lesquels la surface du Soleil ne saurait être maculée de la sorte.

2. Taches solaires et anti-aristotélisme dans l'Antiquité

De fait, les analyses disponibles de ces taches en contexte grec illustrent le défi qu'il était possible de lancer à la science aristotélicienne en confrontant le cadre cosmologique

1Sarton, G., « Query n°111 – Early Observations of the Sunspots ? », Isis, *37*, 1947, pp. 69-71.

de celle-ci avec l'analyse de leur nature. Dans une étude intitulée « Le problème de la composition du ciel »[1], Marwan Rashed a restitué avec une grande précision le cadre historique dans lequel il convenait, selon lui, de restituer le débat sur les taches à la Renaissance. Commençons donc par rappeler les apports majeurs de son article, à la lumière de la question qui nous occupe ici : le statut épistémologique exact de cette controverse au début des années 1610.

L'article de Marwan Rashed apporte une pièce essentielle au dossier, qui réside dans la réévaluation du rôle de Jean Philopon, philosophe alexandrin du VIe siècle, dans cette histoire. Ce dernier rédigea un traité intitulé *Contre Aristote sur l'éternité du monde*, dont le contenu ne nous est connu que par la réfutation qu'en fait Simplicius dans ses commentaires au *De Caelo* et à la *Physique* d'Aristote. Les termes du débat sont les suivants : Simplicius refuse l'assimilation, par Philopon, du ciel et du domaine sublunaire, assimilation présentée par Simplicius comme étant moins une discussion qu'une tentative de discréditation, pour ne pas dire d'humiliation, de l'ensemble de la physique aristotélicienne. « L'hérésie appelant moins la critique que la réprimande », commente Marwan Rashed, Simplicius ne discute pas les arguments de Philopon, mais se contente de réaffirmer les éléments fondamentaux de la cosmologie aristotélicienne.

Quel est l'argument de Philopon ? Tel que restitué par Simplicius, il se présente de la manière qui suit. Le premier pas du raisonnement consiste à dire que si le ciel est visible, alors il est tangible : « Mais après avoir dit d'autres choses semblables, il ajoute pour finir que le ciel, étant visible, obligatoirement, est aussi tangible »[2].

1 In Rashed, M., *L'Héritage aristotélicien, Textes inédits de l'Antiquité*, coll. Anagoge, Les Belles Lettres, Paris, 2016.

2 *Ibidem*.

Une fois la tangibilité du ciel ainsi établie, ne reste plus qu'à en tirer les conséquences quant à la véritable nature de la matière céleste : s'il est tangible, le ciel « a des qualités tangibles : dureté, douceur, lisse, sécheresse, humidité, et d'autres de ce type ».

Ainsi se trouve établie, en deux étapes, l'identité des propriétés de la matière céleste avec celles de la matière terrestre, c'est-à-dire des propriétés sensibles.

Peut-on lire dans ce raisonnement des prémisses à la démonstration de Galilée dans les lettres de 1612 ? La première partie du raisonnement semble indiquer que ce n'est pas le cas : l'idée selon laquelle la visibilité entraîne la tangibilité est incompatible avec la conception galiléenne de la matière céleste, conception dans laquelle la tangibilité ne saurait découler de la visibilité. En effet, la possibilité même d'utiliser l'outil mathématique de la parallaxe suppose de faire une distinction, parmi les objets qui tombent sous l'observation visuelle, entre ceux qui sont de véritables corps et ceux qui sont de véritables phénomènes optiques ; c'est ainsi que, comme ce sera le cas au moment où il rédigera l'*Essayeur*, il expliquera que, s'agissant des comètes, la conséquence n'est pas bonne de la visibilité à la tangibilité.

Nous tenons ici un élément permettant de situer le propos de Galilée, en 1612, par rapport à ce type de raisonnement ; il ne s'agit pas d'établir une comparaison entre la pensée de Galilée et un texte auquel il n'a pas pu avoir accès, mais de montrer la pluralité des voies par lesquelles l'immuabilité des cieux et la corruptibilité de la matière céleste pouvaient tomber, et de comprendre ce qu'est celle qui été empruntée au début des années 1610. Là où, chez Philopon, les enseignements philosophiques de la vision passent par une considération sur la nature de la chose considérée, en tant qu'elle est une chose matérielle, susceptible d'être touchée, et par conséquent d'avoir les propriétés des choses que l'on peut

toucher, Galilée pose la vision comme fondement direct de la certitude de l'homogénéité de la nature.

Voyons maintenant de quelles reconfigurations du statut de l'astronome et du statut de la vision la polémique de 1612 a été l'occasion.

B. Nouveautés célestes et conception du travail de l'astronome

Purs astronomes et astronomes philosophes

Avec le moment 1610-1612 et l'utilisation astronomique de la lunette apparaît une nouvelle figure de l'astronome. Les mutations induites par l'usage des instruments d'optique, notamment en astronomie, ont fait l'objet d'analyses désormais classiques[1] ; si, par conséquent, nous ne nous attarderons pas sur ce point, nous voudrions étudier la manière dont Galilée caractérise lui-même, à cette occasion, le travail de l'astronome.

Dans son article intitulé « Galilée astronome philosophe », Clavelin note que, pour Galilée, le copernicianisme est au moins autant une transformation du statut de l'astronome que l'avènement d'un nouveau système[2] ; les observations du début des années 1610 sont une occasion privilégiée de cette transformation. En effet, dès le début de la première des trois *Lettres sur les taches solaires*, Galilée lie l'interprétation des taches à sa conception de l'astronomie, et établit une distinction entre les *purs astronomes* et les *astronomes philosophes*[3] ; si cette distinction paraît, au premier regard, rejoindre celle,

1 Voir notamment l'ouvrage de Philippe Hamou, *La Mutation du visible*, qui nous a été fort utile dans la préparation de ce chapitre ; Hamou, Ph., *La Mutation du visible : Essai sur la portée épistémologique des instruments d'optique au XVIIe siècle,* vol. 2 : *Microscopes et télescopes en Angleterre, de Bacon à Hooke,* Villeneuve d'Ascq, Presses univ. du Septentrion, 2001.

2 Clavelin, M., *Galilée astronome philosophe*, J. Montesinos et C. Solis [éd.], 2001, p. 19-39., p.20.

3 Galilée, Lettre à Welser, trad.fr. : Galilée, *Lettre à Welser du 4 mai 1612*, in Clavelin, M., *Galilée copernicien*, Bibliothèque de l'évolution de l'humanité, Albin Michel, Paris, 2004, Clavelin pp.227-228. Cette distinction

classique, entre l'astronome et le physicien, le contexte dans lequel elle est posée montre que cette dernière trouve, à l'épreuve des nouveautés célestes, ses limites, et l'occasion de son dépassement.

Le contexte est celui d'une polémique épistolaire avec Scheiner, adversaire jésuite de Galilée et l'un des premiers observateurs des taches solaires ; afin de sauver la perfection des cieux, Scheiner récuse le fait que la surface solaire soit maculée de taches et attribue ces zones sombres à des corps célestes éloignés de la surface du soleil. Dans son explication du phénomène, ce dernier mobilise la cinématique des orbes célestes, et, ce faisant, comme l'écrit Galilée, « retient comme vrais et réels, effectivement distincts les uns des autres et mobiles, totalement ou en partie, ces excentriques, ces déférents, équants, épicycles, etc. ». Galilée précise alors, concernant tous ces objets, qu'ils sont « introduits par les purs astronomes afin de faciliter leurs calculs », mais qu'en revanche ils n'ont pas à :

> *être pris pour tels par les astronomes philosophes qui, outre leur souci de sauver par quelque moyen les apparences, s'appliquent à l'étude de ce suprême et admirable problème qu'est la vraie constitution de l'univers*[1] .

Galilée dit donc la chose suivante : les outils mathématiques avec lesquels les mouvements planétaires sont décrits par les purs astronomes sont purement fictifs. L'étude *réaliste* de la nature appartient bien aux astronomes philosophes ; mais, et

recoupe-t-elle celle, plus traditionnelle, entre l'astronome et le physicien, propose William Shea, dans son ouvrage sur *La Révolution galiléenne* ? Il n'en est rien : Galilée aurait aboli la barrière qui sépare le travail de l'astronome de celui du philosophe, et promu la nouvelle figure de « l'astronome philosophe », dont le statut était impensable dans l'ancienne division du travail. « Galilée ne retient rien de cette distinction », écrit ainsi clairement Shea, in *La Révolution galiléenne* (1977), trad. de Gandt, Seuil, coll. « Science ouverte », Paris, 1992, p.101. Shea remarque à cette occasion que des proches de Galilée, comme Giulio Cesare Lagalla ou Jacopo Mazzoni considéraient, à rebours de la position qu'il attribue lui-même à Galilée, « que les mathématiciens étaient des instrumentalistes du point de vue philosophique ».

1 *Ibid*., p.227.

l'originalité du texte réside à notre sens ici, il considère que la fonction des astronomes philosophes est double – comme le nom même l'indique explicitement : ils doivent d'une part, en astronomes, réussir à sauver les phénomènes, et de ce point de vue la tâche historique de l'astronomie est aussi à leur charge, et d'autre part, en philosophes, étudier la constitution de l'univers.

Le réalisme de Galilée

La situation de l'astronomie au temps de Galilée est à ses yeux confuse, puisque les deux tâches peuvent entrer en contradiction l'une avec l'autre. Dit plus exactement, il est tout à fait possible de contribuer positivement à l'étude de l'univers tout en étant dans l'erreur concernant les hypothèses astronomiques à même de sauver le mouvement des planètes. Face à un phénomène céleste nouveau, l'astronome doit donc se faire philosophe et se demander quelle constitution de l'univers est la mieux à même d'en rendre raison : cette question-là est distincte de celle du mouvement de la Terre, et c'est donc indirectement que l'étude des taches participe de la bataille copernicienne. Galilée fait d'ailleurs implicitement référence, sans le citer, à Tycho Brahe, qui illustre le brouillage qu'il peut y avoir en une contribution à la découverte de la constitution du monde – il est celui qui a initié la destruction des orbes physiques après ses observations de la comète de 1577, et qui pourtant a refusé d'accorder au Soleil la place centrale qui lui revient dans la vraie astronomie.

Le réalisme de Galilée se situe donc sur deux niveaux. Il professe d'abord un réalisme purement astronomique, qui affirme l'existence réelle des figures mathématiques utilisées par l'astronome pour décrire les mouvements planétaires, mais dont il considère que la

réalité est incompatible avec leur invraisemblable multiplication et complexification dans l'astronomie précopernicienne :

> *Je ne nie nullement les mouvements circulaires autour de la Terre, et avec un centre qui n'est pas le sien, et pas davantage les autres mouvements circulaires totalement séparés de la Terre [...], et je suis donc tout à fait sûr qu'il y a bien des mouvements circulaires décrivant des excentriques et des épicycles ; mais que pour les produire, la nature se serve vraiment de ce fatras de sphères et d'orbes imaginés par les astronomes, cela s'impose aussi peu qu'ils sont propres à faciliter les calculs astronomiques*[1]

Remarquons que dans l'exigence de simplicité, le réalisme de l'astronome se fonde sur celui du philosophe. L'argument de la simplicité ne vaut en effet rien comme tel ; à la rigueur, il vaut pour les astronomes de calcul, pour les sauveteurs de phénomènes, non pas comme critère de vérité, mais de commodité. Mais pour le philosophe astronome, il ne peut valoir que si cette simplification, l'élimination de ce « fatras », approche par principe le système proposé de la réalité du système du monde. Pour cela, une hypothèse supplémentaire est nécessaire. Cette hypothèse, c'est celle de la simplicité de la nature ; cette hypothèse, ou plus exactement cette thèse, peut ainsi s'énoncer comme suit : *pour produire un effet donné, la nature opère toujours de la manière la plus simple.* En conséquence de quoi, sur la question cinétique, plus l'explication d'un mouvement, par exemple d'un mouvement planétaire, introduit de mouvements différents, moins cette explication peut prétendre dire la vérité de la nature.

À un deuxième niveau, Galilée établit donc, sans le thématiser vraiment, un lien essentiel entre le réalisme des hypothèses astronomiques et le réalisme du philosophe qui

1 Lettres de 1612, in Galilée, *Lettre à Welser du 4 mai 1612*, in Clavelin, M., *Galilée copernicien*, Bibliothèque de l'évolution de l'humanité, Albin Michel, Paris, 2004, p.227.

décrit la constitution véritable de l'univers. L'étude des taches est la cheville autour de laquelle s'articule le lien entre une science réaliste des mouvements planétaires et une étude de la constitution réelle de l'univers. Accorder un mouvement propre aux taches autour du Soleil implique, chez l'adversaire de Galilée, de les situer dans la *sphère* du Soleil et de leur accorder un mouvement autonome dans cette sphère plutôt que de les coller au Soleil ; proposer une véritable explication des taches, pour Galilée, ne saurait se faire sans accepter la vraie constitution de l'univers, et, pour commencer, refuser l'existence des orbes.

L'unité du réalisme des mouvements planétaires et du réalisme de la constitution de l'univers n'est pas réalisée au moment où s'écrivent le *Messager* et les lettres de 1612. Mais leur observation est l'occasion d'une épreuve de ce que ce manque d'unité est une privation, plus importante encore pour l'astronomie nouvelle que l'absence de preuve observationnelle de la parallaxe des fixes.

C. Nouveautés célestes et cosmologie

L'unification des deux domaines

« Avec les taches solaires s'affirme donc cette unification physique du Ciel et de la Terre sans laquelle on ne saurait poser valablement le problème de la vérité du copernicianisme » : Maurice Clavelin résumait en ces termes le rôle essentiel joué par Galilée au sein de la révolution scientifique[1]. Si Galilée n'a pas proprement participé à la révolution astronomique – il ne peut être en effet considéré comme un astronome au sens traditionnel, c'est-à-dire un mathématicien des mouvements planétaires – il a apporté une

1 Clavelin, M., *La philosophie naturelle de Galilée*, p.204.

contribution décisive au copernicianisme : *les preuves observationnelles de l'unité des domaines terrestre et céleste*. Cette unité des deux domaines est solidaire du modèle héliocentrique comme leur distinction, dans la tradition aristotélicienne, était solidaire du modèle géocentrique.[1]

Au rang de ces preuves observationnelles figurent non seulement les taches du Soleil, mais également tout ce que Galilée a vu dans son télescope et donné à voir dans son *Messager céleste*. Ces choses nouvelles aperçues dans les cieux au tournant des années 1610 contribuent de deux manières au moins à l'identification de la Terre et du ciel : elles conduisent d'une part à assimiler la Terre aux autres planètes, et d'autre part elles réfutent l'immuabilité des cieux et l'incorruptibilité de la matière céleste.

Ainsi donc, en l'absence d'une preuve observationnelle directe, manifeste, du mouvement de la Terre[2], Galilée aurait apporté à son camp, dans la bataille copernicienne, la preuve observationnelle de la cosmologie sous-jacente au système héliocentrique des planètes.

Nous voudrions discuter cette thèse dans ce chapitre. Pour cela, il nous faudra interroger, par-delà la question des nouveautés célestes, la notion même de *preuve observationnelle.* Paradoxalement, les écrits de Galilée montrent que, s'agissant du système du monde, c'est-à-dire des hypothèses astronomiques, cette notion est dépourvue de

1 Duhem se montre tout aussi catégorique dans *Le Système du monde*, vol.9, p.40 : « Galilée, montrant avec son télescope qu'il y a des taches dans le Soleil, devait un jour porter le dernier coup à la Physique céleste d'Aristote [...] » ; plus largement cette lecture correspond à ce que nous appellerons, dans ces lignes, l'interprétation traditionnelle du moment des taches solaires : elles ont été l'occasion d'enfoncer un dernier coin dans le jardin aristotélicien et, par voie de conséquence, de contribuer à l'affirmation, et à l'édification, du nouveau système du monde. Voir aussi Bernard Dame, 1967 : cette découverte, affirme-t-il, « ruinait le dogme aristotélicien de l'incorruptibilité des cieux et elle infirmait ainsi la division du *Cosmos* en matière céleste et matière terrestre », préparant, toujours selon Bernard Dame, « l'unification, achevée avec Newton, de la physique céleste et de la physique terrestre ». Mais avant, et comme condition de possibilité de cet achèvement glorieux, Galilée aurait surtout permis, en prouvant le mouvement du Soleil par le mouvement des taches à sa surface, de fournir « des indices » en faveur du système héliocentrique.

2 C'est-à-dire compte tenu de l'impossibilité d'observer une parallaxe des fixes.

pertinence. En toute rigueur de termes, il n'y a pas de preuve observationnelle d'un *système du monde* ; la systématicité d'un modèle astronomique est bien plutôt ce qui permet d'éliminer *a priori* tout jeu, toute distorsion possible entre les observations et les calculs, entre les phénomènes et les hypothèses.

Observation et raisonnement en cosmologie

Pour discuter cette thèse d'une preuve observationnelle de la constitution du monde, faisons un détour par la présentation que donne Galilée de sa cosmologie, dans les *Dialogues sur les deux grands systèmes du monde*. Il y convoque ensemble les deux sources de la connaissance que sont l'observation et le raisonnement. Ce dernier possède toutefois une préséance évidente dans l'entreprise de démolition de la cosmologie traditionnelle. Le système aristotélicien du monde y apparaît en effet dans sa fragilité au regard des exigences de la raison seule : il ne résiste pas à l'examen systématique auquel le soumet Salviati-Galilée, cet exercice dialectique mené à partir des présupposés de la physique d'Aristote contre cette physique elle-même, et qui met à nu ses contradictions en mettant Simplicio-Aristote dans les cordes. La forme même du dialogue[1] contribue à faire du raisonnement le principal opérateur de l'entreprise critique ; au cours de la première journée, la conception aristotélicienne du mouvement ne résiste pas à cet *elenkhos* galiléen, qui trouve son illustration la plus spectaculaire dans l'expérience de pensée concernant la chute des graves. Ainsi donc, à la lecture du Galilée de 1632, la question cosmologique invite le savant à venir sur le terrain de la spéculation. Et c'est seulement sur ce terrain-là que les observations, les données empiriquement obtenues (notamment par l'usage du télescope),

1 Sur le choix par Galilée de la forme littéraire du dialogue, voir l'ouvrage de Marta Spranzi, *Galilée. Le Dialogue sur les deux grands systèmes du monde : rhétorique, dialectique et démonstration*, coll. Philosophies, Presses universitaires de France, Paris 2004.

peuvent être convoquées ; elles y sont opposées à une philosophie naturelle adverse. Ce primat du raisonnement contraste avec le primat observationnel des textes consacrés aux nouveautés célestes, et notamment avec le *Messager céleste*, dans lequel la théorisation est quasiment absente. Qu'est-ce qui permet de rendre compte de cette différence de traitement des données observationnelles, tantôt présentées pures de toute théorie, tantôt présentées comme appuis d'une cosmologie contre une autre ?

La nécessaire reconfiguration du rapport à l'observation

L'hypothèse que nous voulons proposer est la suivante : le traitement, théorique ou non, des données observationnelles, intervient toujours dans le cadre d'une systématisation de la nature. En sorte que, même lorsqu'elles sont présentées apparemment pures de toute théorisation, les observations sont toujours-déjà pensées comme exhibant des parties d'un système unifié.

L'œuvre cosmologique de Galilée a en effet une dimension positive, une *pars construens*, qui réside dans l'établissement de l'homogénéité entre les corps célestes et les corps terrestres. Il ne s'agit que de la simple reconnaissance de ce que le domaine céleste est soumis au devenir, et que, par conséquent, la distinction entre zones sublunaire et supralunaire n'a aucun fondement dans les choses. Il ne s'agit pas non plus d'affirmer seulement la corruptibilité de la matière céleste elle-même – toutes choses que l'observation permet, en fournissant une multitude de contre-exemples que les anciens ignoraient. Il s'agit, plus fondamentalement, d'affirmer *l'unité de la nature* – une unité principielle, sur le fond de laquelle se perçoivent et s'expliquent les différences entre les choses. Or, il y a dans l'unification de la nature, dans l'homogénéisation des deux domaines, dans l'assimilation de l'ensemble des étants, célestes et terrestres, *davantage* que dans la

simple saisie observationnelle de perturbations dans les cieux. Dès lors, dans cette cosmologie constructive, comment s'opère le passage de ce que l'observation permet – et qui semble essentiellement destructeur – à ce que le savant affirme ?

L'agnosticisme quant à la nature des cieux

Le problème se redouble quand on prend en considération le fait suivant : l'unité de la nature est principielle, et doit être tenue pour vraie alors même que l'essence des choses, et notamment l'essence des choses lointaines, nous est inaccessible. En effet, comme nous allons le voir, Galilée revendique son ignorance de la nature des choses, et affirme que la science doit fuir les spéculations sur les essences et se contenter de la connaissance des *propriétés* des substances. Dit autrement, Galilée épistémologue concède ne pas connaître la nature des choses, alors que Galilée cosmologue pose en principe l'unité de la nature. L'unification physique du Ciel et de la Terre, condition de *vérité* du copernicianisme, fait donc en réalité fond sur une relative quant à la constitution des parties du monde.

Une question se pose alors : sans accès aux secrets de la nature, privé de toute spéculation légitime sur l'essence des choses célestes comme des choses terrestres, comment Galilée a-t-il pu produire une cosmologie dont le point cardinal réside dans l'homogénéisation du Ciel et de la Terre ? C'est dans les lettres sur les taches solaires que la question se pose de la manière la plus aigüe ; en effet, l'homogénéité Terre-ciel et l'agnosticisme quant à la nature des cieux y font bloc. Et ce jusque dans la manière dont Galilée présente ses résultats.

Lisons le texte de la première lettre sur les taches solaires[1], dans lequel il établit une analogie entre les taches qu'il a pu observer avec sa lunette à la surface du soleil et les nuages que nous connaissons sur Terre. Il tente explicitement de concilier la pertinence de cette analogie avec son ignorance de la nature véritable des taches :

> *Je n'affirme pas [...] que ces taches sont des nuages d'une substance identique aux nôtres, constitués de vapeur d'eau montées de la Terre et attirées par le Soleil, mais je dis seulement que nous ne connaissons rien qui leur ressemble plus : qu'elles soient par ailleurs des vapeurs, des exhalaisons, des nuages, des fumées produites par le corps solaire, ou encore attirées par lui depuis d'autres régions, cela reste pour moi incertain, mille autres choses pouvant échapper à notre perception*[2]

Que dit Galilée exactement ? La relation entre les nuages et les taches n'est pas une relation d'identité – inaccessible à l'entendement – mais une relation de ressemblance – accessible à l'observation. En sorte que ce serait *l'observation* qui permettrait d'asseoir l'homogénéité entre ciel et terre, et – pour généraliser du cas des taches à celui de tout objet céleste en général – cette homogénéité consiste en une ressemblance *partes extra partes*. Précisons : d'une part, on remarque entre les éléments observés une apparence semblable dans des conditions d'observation similaires. Mais cette ressemblance se fait entre des objets particuliers appartenant aux domaines considérés : les nuages constituent ce qui, sur Terre, ressemble *le plus* aux taches que l'on peut observer sur le Soleil.

1 Galilée, Lettres à Welser, in Clavelin, M., *Galilée copernicien*, *op.cit.*, p.235.
2 *Ibid*., p.235.

III. L'homogénéisation des deux domaines

L'homogénéisation des deux domaines est donc plus complexe qu'il n'y paraît au premier abord : Galilée semble ne pas identifier clairement les objets célestes aux les objets terrestres – « mais je tiens la Lune pour très différente de la Terre », écrira-t-il dans le *Dialogo* –, mais plutôt disqualifier, par le recours à la comparaison avec les choses familières, toutes les différences de nature que l'on serait tenté de poser. Aucune de celles-ci ne résiste à l'observation, car pour chaque chose que l'on observe dans le ciel, on peut trouver dans notre bas-monde quelque chose qui lui ressemble, et dont les propriétés sont analogues : nos nuages pour les taches du soleil, nos montagnes pour les aspérités de la surface lunaire, etc. Plus que d'assimiler zone sublunaire et zone supralunaire, Galilée discréditerait donc plutôt l'idée même de zone, de région du monde qui se définirait par le type d'objet qu'elle contient. Cela n'a donc pas de sens de parler de zone sublunaire ou de zone supralunaire étant donné que les relations de ressemblance sont plus fortes entre certains objets appartenant aux différentes zones qu'au sein des zones elles-mêmes. L'homogénéité ciel-terre est donc produite par une redistribution subtile des similitudes et des différences au sein des zones et entre les zones.

La question qui se pose alors est de savoir si c'est bien l'observation qui est le moteur de cette homogénéisation, et si oui, de quelle observation il s'agit. Nous n'entrerons pas dans l'étude, déjà souvent menée, du rapport entre observation et raisonnement chez Galilée. Notons pour l'instant que les professions de foi empiristes se multiplient dans les textes consacrés aux nouveautés observationnelles, et que c'est le primat accordé à l'observation plutôt qu'à la lecture des textes anciens et aux spéculations qui constitue le

point d'appui premier de la nouvelle cosmologie. Maurice Clavelin a insisté sur cet aspect-là : dans sa *Philosophie naturelle de Galilée*, il explique que l'originalité de la démarche galiléenne réside moins dans la mise en cause de la cosmologie aristotélicienne[1] que dans la place accordée à l'observation et surtout la manière dont Galilée se rapporte à celle-ci. Le pas accompli réside peut-être moins dans la mise au point d'un nouvel outil ou dans l'aptitude que Galilée a eue de l'utiliser pour scruter les cieux, que dans la signification que Galilée accorde à l'expérience. Citons la très belle formule de Clavelin, qui résume la thèse de l'innovation empiriste de Galilée : « accordant [...] à l'expérience préalablement renouvelée la première place, raisonnant *à partir d'elle* et non seulement *à propos d'elle*, Galilée va rompre délibérément avec [la] démarche traditionnelle, et faire entrer d'un coup le problème de la connaissance physique du Monde dans sa phase moderne »[2]. On ne saurait mieux souligner à quel point l'empirisme de Galilée repose sur une évolution technique *et* sur une révolution épistémologique.

Mais la question paraît plus complexe quand on essaie de caractériser ce qui constitue cette homogénéité. Puisque par-delà les différences et les similitudes observables ponctuellement entre tel ou tel type d'objet terrestre et céleste, Galilée pose une propriété fondamentale de la matière en général, son *altérabilité* : si l'observation permet de montrer que cette propriété s'instancie dans tel ou tel objet (par exemple, que les taches à la surface du soleil connaissent des variations d'aspect), est-elle à même de prouver que c'est la matière *en général*, dans le domaine terrestre comme dans le domaine céleste, qui est soumise à l'altération ? Dit autrement : y a-t-il un sens à parler d'une preuve

1 Mise en cause pour laquelle les précédents ne manquent pas : Clavelin cite en exemple Nicolas de Cues et Giordano Bruno : voir à ce propos Clavelin, M., *Galilée copernicien, op. cit*., p.194.
2 *Ibid*., pp.194-195.

observationnelle de l'altération de *la* matière. Pour Galilée, il semble que cela soit le cas, puisqu'il va jusqu'à affirmer qu'Aristote n'aurait certainement pas maintenu sa doctrine de l'inaltérabilité de la matière céleste au regard de l'expérience manifeste[1].

Mais une question se pose, dans la mesure où le dispositif argumentatif déployé par Galilée, dans les textes relatifs aux nouveautés célestes au début des années 1610, consiste à systématiquement fonder les conclusions sur des observations particulières, et réfuter l'aristotélisme observation après observation. Le problème est d'ordre logique, et pourrait se formuler ainsi : des observations particulières, même répétées et congruentes, suffisent-elles à réfuter toute une cosmologie ?

Formulons les choses schématiquement. Si l'énoncé à réfuter est : « rien dans les cieux n'est soumis au devenir », alors logiquement, l'observation d'un seul phénomène céleste suffit à réfuter l'énoncé. En sorte qu'avec l'observation d'un phénomène transitoire situé avec exactitude au-delà de la Lune, il serait possible d'écrire : la cosmologie aristotélicienne est incompatible avec l'existence d'un tel phénomène ; or, l'expérience manifeste l'existence de ce phénomène, donc la cosmologie aristotélicienne est fausse. Mais nous avons formulé là l'hypothèse de telle sorte qu'elle soit le plus hautement réfutable, et c'est généralement comme cela qu'est présenté l'apport de Galilée à la destruction du *cosmos* traditionnel. En réalité, rien dans les textes n'indique que ce soit exactement de cette manière-là que la question se soit posée, pour Galilée lui-même, et que la preuve de la nouvelle cosmologie ait pu être administrée. Remarquons tout d'abord, avec M. Clavelin, qu'il y a un pas conséquent entre le discrédit d'une cosmologie traditionnelle et la preuve

1 Cf Galilée, *Lettres sur les taches solaires*, in Clavelin, M., *Galilée copernicien, op.cit*., p.272.

d'une cosmologie nouvelle[1]. En l'occurrence, si des expériences observationnelles particulières peuvent avoir un effet destructeur crucial (comme la comète de 1577 l'avait eu pour l'existence des orbes physiques), leur contribution à l'élaboration d'une nouvelle cosmologie est nécessairement, sinon moins crucial, moins immédiat. Dit autrement, à supposer que l'observation *seule* permette de discréditer la cosmologie aristotélicienne, elle est impuissante à fournir une nouvelle cosmologie ; dit autrement encore, et concernant plus précisément la matière, si l'observation des taches du soleil ou de tel ou tel phénomène supralunaire suffit à démentir l'inaltérabilité de la matière céleste, elle ne suffit pas à affirmer l'identité de nature entre matière terrestre et matière céleste.

Par conséquent, le régime argumentatif de Galilée, dans les textes consacrés aux nouveautés célestes entre le *Sidereus nuncius* et le *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, est traversé par une tension entre sa *pars destruens* et sa *pars construens*. Dans la mesure où il n'y a pas équivalence entre destruction du système aristotélicien et construction du système copernicien, il convient de déterminer la nature du supplément qui est apporté par la construction de la nouvelle cosmologie.

Pour reprendre la formule de Clavelin que nous avons citée ci-dessus, les taches solaires, avec l'ensemble des nouveautés célestes (comètes exceptées), ont certes permis *l'unification physique du ciel et de la terre,* mais en quel sens l'ont-elles permis ?

A. Empirisme et nouveautés célestes

1 Voici ce qu'écrit Maurice Clavelin : « Si elle discrédite la cosmologie traditionnelle, cette critique n'autorise évidemment aucune conclusion positive ; une théorie a été réfutée : rien n'indique encore que la théorie opposée soit vraie. » in Clavelin, M., *op.cit*., p.194.

Le Messager céleste *(1610)*

Il a déjà été montré, de manière définitive, que le *Messager céleste* n'est pas un ouvrage cosmologique, et que les découvertes qui y sont consignées ne se présentent pas comme des résultats expérimentaux permettant de trancher entre Aristote et Copernic. La force de l'ouvrage réside bien davantage dans ce qu'il montre, c'est-à-dire dans cette vue nouvelle offerte sur les cieux par l'usage du télescope, que dans ce qu'il dit. Du reste, les polémiques qu'il a pu déclencher portaient sur la réalité des choses observées par Galilée, sur la fiabilité de son instrument, plutôt que sur la vérité du nouveau système du monde. L'engagement copernicien de ce texte est donc à la fois discret et indirect ; est-ce parce qu'il s'agit d'un ouvrage d'observation et non d'un ouvrage de théorie ?

La question, posée ainsi, semble naïve : toute observation n'est-elle pas sous-tendue par un dispositif théorique ? Lequel dispositif non seulement oriente la manière dont on la retranscrit (que ce soit dans un dessin, un diagramme, ou dans le langage) et dont on l'interprète (même s'il ne s'agit pas d'une interprétation théorique, mais simplement d'une caractérisation qualitative et quantitative des phénomènes eux-mêmes), mais la rend véritablement informative : une observation brute, une « pure » observation, à supposer qu'elle puisse exister, ne serait digne d'aucun intérêt autre que celui de la perception ordinaire. Or, il est manifeste à la lecture que l'œil de Galilée, dans le *Messager*, ne perçoit pas ordinairement.

La charge théorique implicite du *Messager*, et plus largement des observations de Galilée, a fait l'objet d'un commentaire abondant dans la philosophie des sciences contemporaines ; davantage même, et comme le note Philippe Hamou, « les 'observations' galiléennes de 1610 et les débats qu'elles ont suscités ont été souvent invoqués comme

exemples paradigmatiques » de l'imprégnation par des présupposés intellectuels des données observationnelles, non seulement dans leur interprétation mais déjà dans leur appréhension. Il ne nous appartient pas ici de traiter de manière systématique la question de l'empirisme de Galilée ; nous voudrions cependant interroger, à la lumière de notre sujet, la conception que Galilée lui-même se faisait de l'expérience des sens, et la notion d'observation elle-même : ne peut-elle pas échapper, du moins jusqu'à un certain point, à l'encastrement théorique auquel le philosophe des sciences est toujours tenté de la reconduire ?

Si Galilée accorde un tel privilège épistémique à l'observation, ce n'est pas par un quelconque sensualisme, ou inductivisme, naïf ; il est peu suspect, Alexandre Koyré l'a montré de manière fort magistrale, d'incarner l'idéal illusoire d'un accès direct à la nature par l'observation. Plus généralement, la « révolution galiléenne », pour reprendre l'expression de W. Shea, ne trouve pas son origine dans l'observation, mais repose à rebours sur des éléments totalement étrangers à la perception ordinaire des choses de la nature. En revanche, l'expérience sensible est un puissant outil d'émancipation par rapport à l'autorité, notamment l'autorité des livres, et la spéculation. En ce sens, le recours à l'observation est bien un parti pris anti-péripatéticien, un outil de lutte contre une conception de la science qui se réclame sans cesse d'Aristote mais se détourne complètement de l'expérience.

Une remarque s'impose ici sur le rapport de Galilée au dessin. Le *Messager* et les lettres de 1612 présentent la particularité d'être agrémentées de dessins réalisés par Galilée – dessins de la surface de la Lune et des taches. Dans un article de 1992, « Representing the

heavens »[1], Winkler et van Helden ont montré qu'avant Galilée, l'astronomie n'avait pas recours aux dessins, et que Galilée lui-même n'en a fait qu'un usage très parcimonieux, et qu'après le *Messager* et les lettres de 1612, il n'y aura plus recours. On pourrait *a priori* trouver là un argument en faveur d'une parenthèse purement empiriste, et de la tentative de restitution exacte et fidèle d'un pur donné observationnel ; mais Winkler et van Helden montrent qu'il n'en est rien, et que les dessins de Galilée sont empreints de choix de figuration visant à faire ressortir certains éléments (les tailles des cavités sont ainsi exagérées). Ceci montre, à notre sens, que le passage au diagramme, à la figure géométrique, ne constitue pas une évacuation du rapport donné phénoménal au profit du mode de pensée géométrique. En réalité, même dans le dessin, la distorsion entre ce qui est *vu* est ce qui est *montré* est présente ; cette distorsion n'est pas une substitution mais une technique de restitution des éléments théoriquement pertinents. De ce point de vue, figuration picturale et figuration géométrique sont équivalentes.

Les lettres à Welser de 1612

Pour Galilée, l'observation des nouveautés célestes est un instrument polémique, qu'il dirige contre ses adversaires ; ce qui frappe à la lecture, plus encore dans les lettres de 1612 que dans le *Messager* puisque les raisonnements y sont davantage présents et le parti-pris anti-aristotélicien explicite, c'est l'affinité qui, sous la plume de Galilée, semble exister entre l'observation et la théorie. Non pas que l'observation soit la confirmation immédiate et certaine de telle ou telle théorie (dans les lettres, par exemple, la corruptibilité des

1 Winkler, M.G.,Van Helden, A., « Representing the Heavens: Galileo and Visual Astronomy », *Isis*, vol.83, n°2, The University of Chicago Press, juin 1992.

cieux), mais plutôt que pour chaque élément théorique adverse, comme par aubaine, une donnée observationnelle singulière en permet la réfutation.

Cette aubaine observationnelle est soulignée par Galilée lui-même quand, à la fin de sa deuxième lettre à Welser, il célèbre une nature bienveillante, qui met généreusement à disposition de l'astronome tout ce dont il a besoin pour l'interpréter correctement :

> *Je dirai, écrit-il, que la même nature a poussé la bienveillance au point d'avoir parfois pour notre enseignement maculé le Soleil d'une tache si grande et si obscure que d'innombrables personnes l'on vue à l'œil nu.*[1]

Cet enseignement de la nature se heurte à nos manières de voir, à la façon dont nos prénotions cosmologiques et physiques biaisent notre perception même des choses. Peu avant, après avoir décrit minutieusement le dispositif lui permettant de dessiner les taches, Galilée évoquait déjà « la courtoisie de la nature, qui nous a donné la possibilité de percevoir ces taches, et grâce à elles plusieurs conséquences de grande importance »[2].

Dans quel sens faut-il interpréter ce passage ? S'agit-il d'un simple manifeste empiriste, qui indiquerait que c'est de l'observation des taches que se déduit l'abolition de la distinction entre zone supralunaire et zone sublunaire ? Une telle lecture s'impose à première vue : c'est la *vision* qui entraîne des conséquences si importantes pour la philosophie naturelle.

De fait, la « courtoisie » de la nature se situe au strict niveau de la visibilité des taches, non pas à celui des enseignements de philosophie naturelle qu'il est possible d'en tirer. Si

1 Galilée, *Deuxième lettre à Marcus Welser*, 14 août 1612, OG V p.139, tr.fr. Clavelin, M., *Galilée copernicien*, coll. Bibliothèque de l'Evolution de l'Humanité, Albin Michel, Paris, 2004, p.271.
2 Galilée, *Lettres sur les taches solaires*, in Clavelin, M., *Galilée copernicien, op.cit*., p. 269.

la nature s'est montrée courtoise, ça n'est pas en dévoilant quelque secret, mais en faisant ces taches suffisamment grandes pour qu'elles puissent être perçues, et ce même sans l'entremise d'un instrument d'optique. Galilée l'affirme de deux manières : tout d'abord, en proposant à son lecteur une expérience très simple, et qui consiste à profiter, dans une église, d'un rayon de soleil tombant sur le sol ; il suffit alors d'intercepter le faisceau lumineux avec une feuille blanche pour observer, sur cette même feuille, les plus grandes des taches. En conséquence de quoi, le bénéfice de l'observation télescopique est de voir *davantage* de taches et de les voir *mieux*[1], mais pas de connaître leur existence. Ce qui est confirmé par ce que Galilée écrit immédiatement après :

> *La même nature a poussé la bienveillance au point d'avoir parfois pour notre enseignement maculé le soleil d'une tache si grande et si obscure que d'innombrables personnes l'ont vue à l'œil nu ; mais l'idée fausse et invétérée que les corps célestes échappent à toute altération et à tout changement, a fait juger (non sans honte d'ailleurs pour les astronomes de l'époque) que ce genre de tache était en réalité Mercure interposé entre le Soleil et nous*[2].

Galilée distingue donc deux ordres de perception : une perception à l'œil nu, qui est par trop tributaire de l'*a priori* philosophique avec lequel on observe la nature ; c'est *parce que* les Grecs pensaient que les substances célestes étaient inaltérables qu'ils ont refusé de voir que la surface solaire était maculée de taches. Et l'expédient qu'ils ont utilisé, le passage de Mercure devant le Soleil, confond en réalité leur mauvaise foi perceptive, tant cette explication manque de crédibilité : l'interposition de Mercure entre le Soleil et l'observateur ne peut en effet, comme le rappelle Galilée, durer plus de sept heures ;

1 « Il est vrai qu'elles ne sont pas, et pour beaucoup, aussi nettement délimitées qu'avec la lunette », *ibid*., p.270.

2 Galilée, *Lettres sur les taches solaires*, in Clavelin, M., *Galilée copernicien, op.cit*., p.272.

l'interposition est donc un phénomène plus bref que ne le sont les taches, quand bien même celles-ci sont soumises à la corruption.

La vision télescopique, en revanche, prémunit contre cet abus ; Galilée renverse donc, une fois de plus, la hiérarchie entre vision à l'œil nu et vision télescopique : sans pouvoir en attester la fiabilité par des arguments optiques[1], il montre que *de fait*, et par la qualité supérieure des phénomènes produits par le télescope, celui qui met son œil dans l'instrument ne peut pas *ne pas voir ce qu'il voit*.

Les « merveilles inattendues » et la générosité de la nature

Galilée revient en cette fin de lettre aux nouveautés célestes en général, en évoquant, avec les taches solaires, les comètes et les étoiles nouvelles[2]. S'il ne les étudie pas à proprement parler et qu'il se contente de les évoquer, il précise le statut qu'il convient de leur accorder, notamment pour interpréter l'histoire des idées sur la question. Nous voudrions maintenant préciser quelles conclusions tirer de la manière dont elles sont ici présentées.

Qualifiant les taches de « merveilles inattendues et demeurées cachées jusqu'à notre époque », il explique que ces dernières n'apporteront véritablement quelques fruits pour la connaissance qu'à la condition de « prêter désormais l'oreille à ces philosophes avisés qui jugèrent autrement qu'Aristote de la substance céleste[3] ». En premier lieu, le primat de

1 Sur l'optique de Galilée, voir notamment les analyses remarquables d'Isabelle Pantin, in Galileo Galilei, *Sidereus Nuncius / Le Messager céleste,* texte, trad., et notes établis par Isabelle Pantin, Les Belles Lettres, Paris, 1992).

2 Voir Galilée, in Clavelin, *Galilée copernicien, op.cit.*, p. 272.

3 A la suite, voici ce qu'il écrit : « et dont Aristote lui-même ne se serait pas éloigné s'il avait eu connaissance des observations actuelles : car non seulement il admettait les expériences manifestes au nombre des moyens

l'observation dans les conclusions qu'il faut tirer quant à la nature des cieux – conclusions qu'Aristote aurait lui-même tirées, selon Galilée, s'il avait disposé des mêmes informations est d'abord et avant tout *un primat sur les raisonnements probables ou apparents* : l'ancienne philosophie, incertaine dans ses conclusions, doit plier devant ce que la nouvelle lunette met sous les yeux des contemporains, et à quoi les Anciens n'avaient pas accès. Mais que l'expérience manifeste prime sur le raisonnement probable ne signifie ni que l'expérience manifeste *fonde* la connaissance et puisse être significative en dehors de tout raisonnement, ni qu'elle prime sur le raisonnement certain, ou, pour paraphraser Galilée quelques lignes plus loin, la nécessité des démonstrations géométriques.

En conséquence de quoi, il est clair que les nouveautés célestes sont moins demeurées cachées à l'œil qu'elles ne l'ont été à l'esprit. Et c'est bien ainsi qu'il faut interpréter l'hommage que Galilée rend aux « philosophes avisés »[1] qui ont bien avant lui contesté la conception aristotélicienne de la substance céleste. Sans observation, ils ont produit des considérations dignes d'intérêt sur les choses éloignées, et le fait qu'elles n'aient pas été fondées empiriquement ne les invalide en aucun cas. Nous pouvons ainsi interpréter la référence aux auteurs du passé : ils prouvent qu'en l'absence des observations, il est possible de philosopher justement, et que l'observation tranche entre des théories probables, entre des connaissances incertaines ; mais à aucun moment Galilée n'écrit que

permettant de conclure dans les problèmes de philosophie naturelle, mais il leur donnait la première place. Si donc il affirmait l'immutabilité du ciel en arguant que jusqu'ici on n'y avait vu nulle altération, on peut bien croire que si l'observation lui avait montré ce qu'elle nous rend manifeste, il aurait suivi l'opinion contraire, à laquelle nous sommes conviés par de si admirables découvertes. Je dirai même que je m'estime m'opposer beaucoup moins à la doctrine d'Aristote en tenant la matière céleste pour altérable (devant la vérité des présentes observations) que ceux qui voudraient la maintenir altérable ; car je suis sûr qu'il ne considéra jamais sa conclusion sur l'inaltérabilité à ce point certaine qu'il faille en son cas faire passer l'expérience manifeste après le raisonnement humain : et c'est pourquoi on philosophera mieux en donnant son assentiment aux conclusions dépendant d'observations manifestes qu'en persistant dans des opinions opposées aux données d'expérience, et que confirment seulement des raisonnements probables ou apparents. », *ibid*. p.272-273.

1 *Ibid*., p271.

l'observation prime sur le raisonnement lui-même. L'hommage à Aristote se comprend donc mieux, selon nous, de la manière suivante : selon Galilée, le Stagirite accordait une juste place aux données d'observation : au-dessus des « raisonnements humains »[1], c'est-à-dire trop humains, incertains, probables. Mais en aucune manière au-dessus des raisonnements géométriques nécessaires, auxquels les péripatéticiens ne parviennent pas à se hisser.

Revenons à présent à l'image galiléenne d'une nature bienveillante et courtoise, qui accepte de se dévoiler à l'œil de l'astronome. Ces expressions sont d'autant plus intéressantes qu'elles font écho à d'autres passages de la correspondance de Galilée où la nature, là encore personnifiée, est présentée à rebours comme « inexorable », sourde à nos prières, n'ayant passé aucun contrat avec les hommes et par conséquent ne leur devant rien. Galilée emploie le registre de l'inexorabilité pour signifier à la fois qu'il y a dans la nature quelque chose de nécessaire, que cette dernière suit scrupuleusement les décrets que Dieu a mis en elle, mais aussi que cette nécessité naturelle est éprouvée par l'homme comme échappant à sa maîtrise, à ses propres décrets, et qu'il doit accepter, lorsqu'il l'étudie, qu'il cherche à la connaître, de se soumettre à une vérité et une réalité qui ne dépendent de lui en aucune façon.[2]

Dès lors, comment concilier ces deux caractérisations antithétiques de la nature ? S'agit-il de simples facéties d'écriture chez un auteur écrivant brillamment mais peu enclin à une théorisation systématique des présupposés méthodologiques et philosophiques de son travail scientifique ? Nous voudrions, sans entrer dans une analyse systématique de

1 *Ibid*., p.271.
2 Philippe Hamou a bien montré, dans son article intitulé « La nature est inexorable », que l'inexorabilité n'est pas exactement synonyme de la nécessité, in Hamou, Ph., « 'La Nature est inexorable' Pour une reconsidération de la contribution de Galilée au problème de la connaissance », *Galilaeana*, Leo S. Olschki, 2008.

l'empirisme galiléen, montrer en quoi les nouveautés célestes confèrent une unité à ce rapport imagé ambigu à la nature. Les nouveautés sont ce qui appelle l'observateur à régler mieux son rapport à l'observation, ainsi que « le grand orgue désaccordé » de sa philosophie. La rationalité et la légalité de la nature ne dépendent pas de nos décrets mais des décrets divins, et il ne nous appartient pas de décider la vérité de ce qu'il y a dans les cieux, ou de la manière dont les astres se meuvent ; en revanche, il nous appartient d'accueillir, dans nos observations, ce que la nature nous donne à voir. En ce sens, les *a priori* théoriques constituent le filtre à travers lequel cette réalité nous parvient ; certes le cadre théorique n'est pas mobilisé, notamment dans le *Sidereus*, pour accueillir ces données observationnelles, mais dans le même temps le cadre théorique adverse a contribué à ce que demeurent cachées ces « merveilles inattendues ».

Une observation nouvelle n'est par conséquent pas assimilable par n'importe quel cadre théorique – ce qui fonde la supériorité de celui qui est capable, *a priori*, d'intégrer tout ce que l'observation peut *a posteriori* porter à notre connaissance. L'empirisme n'est pertinent que dans un cadre théorique qui rend possible cette intégration.

B. L'analogie entre la Terre et les Cieux

La capacité du cadre théorique copernicien à intégrer les nouveautés célestes s'illustre par la manière dont Galilée utilise l'analogie pour penser la nature des cieux ; le recours à l'analogie n'est en effet possible, comme nous allons le montrer maintenant, que si l'abolition entre les deux domaines, terrestre et céleste, est précédée par une unification transcendantale du monde – unification qui rend possible, précisément, la mise en rapport analogique d'éléments terrestres et célestes.

1/ L'assimilation fictive de la Terre à un astre lumineux dans la première lettre à Welser : une expérience de pensée ?

L'expérience de pensée

Classiquement comprise, l'expérience de pensée est un jeu sérieux de l'esprit avec l'imagination. Jeu, parce qu'aidé de l'imagination celui-ci y réalise en pensée ce qui, dans la réalité, est sinon impossible, du moins partout inactuel : un mouvement sans frottement, une surface parfaitement plane, une sphère réellement sphérique ; jeu également parce qu'il y exerce cette faculté si spécifique des esprits aguerris aux exercices spirituels et aux spéculations – faculté que Bourdieu, dans ses *Méditations pascaliennes*, décrivait comme la disposition scolastique par excellence.

Et de fait, chez Galilée, l'expérience de pensée est toujours à la fois un procédé littéraire et un exercice scientifique. Alexandre Koyré a insisté sur l'importance de ces expériences dans l'œuvre du Toscan. Dans son article sur « Le *De Motu gravium* de Galilée[1] », il propose une analyse de l'usage et – selon son propre terme – de « l'abus », qu'il en fait dans son œuvre. Prenant l'exemple de la chute imaginée de deux corps de masses différentes reliés, qui réduit à l'absurde la théorie aristotélicienne de la chute des graves,

1 A. Koyré, « Le *De Motu gravium* de Galilée. De l'expérience imaginaire et de son abus », in A. Koyré, *Etudes d'histoire de la pensée scientifique*, Tel, Gallimard, Paris, 1973, pp. 224-271.

Koyré dégage, au fil d'une analyse extrêmement détaillée[1], ce qu'il tient pour être l'esprit des expériences imaginaires pour Galilée.

A sa lecture, il semble que l'expérience de pensée soit un moyen pour prouver une théorie dans le cas d'une impossibilité technique de l'expérience réelle[2], ou de son degré d'imprécision, et par conséquent de moindre fiabilité[3] ; en un mot, ce qui justifie le recours à l'expérience de pensée, c'est « la distance impossible à franchir » qui demeurera « entre la donnée empirique et l'objet théorique ». Quant à sa valeur heuristique, Koyré semble hésiter entre deux interprétations possibles : d'une part, il est évident que certaines choses ne peuvent être établies que par des expériences réelles, ou plus exactement, que rien ne peut remplacer l'expérience réelle pour satisfaire certaines exigences épistémologiques qui pèsent sur l'expérience dans son acception scientifique – et notamment sur la réalisation de mesures exactes, par définition impossibles dans les expériences de pensée[4]. Mais d'autre part, il est toute une catégorie de théories dont il est possible d'établir la vérité par la *seule* expérience de pensée – à condition du moins d'avoir affaire à des interlocuteurs suffisamment perspicaces et exempts de toute la mauvaise foi dont peuvent faire preuve les hommes du sens commun ou les tenants de la vieille maison aristotélicienne : dans pareils cas, il est vrai, « il faut autre chose, à savoir une expérience réelle[5] ». Dans pareils

1 Analyse qu'il n'est pas dans notre propos de restituer ici, mais dont nous voudrions discuter la thèse générale.

2 Très précisément, Koyré pointe au premier abord deux difficultés, l'une technique, l'autre financière : « les expériences réelles sont, souvent, très difficiles à faire : elles impliquent, non moins souvent, un appareillage complexe et coûteux. » ; in Koyré, A., *Etudes d'histoire de la pensée scientifique, op.cit.*, p.225.

3 *Ibid.*, p.225.

4 Impossibilité de mesure qui semble mettre en doute le fait même qu'il s'agisse là « d'expériences » ; et de fait, Koyré, après avoir présenté le bénéfice du recours à l'expérience imaginaire, affirme qu'il ne s'agit pas pour lui « de négliger, ou de minimiser, le rôle de l'expérience », l'expérience sans épithète étant alors synonyme d'expérience réelle, et non imaginaire ; in Koyré, A., *Etudes d'histoire de la pensée scientifique, op.cit.*, p.257.

5 *Ibid.*, p.257.

cas, la différence heuristique entre expérience de pensée et expérience réelle est essentiellement pédagogique.

Le critère distinctif premier de l'expérience de pensée semble être, en tout état de cause, la contrefactualité, c'est-à-dire le fait qu'elle est probante sans être réelle. Mais comme cela a été remarqué[1], la contrefactualité est une notion hétérogène, ou, dit autrement, il y a différentes manières d'être contrefactuel ; S. Roux distingue une contrefactualité faible, qui concerne des expériences qui *en droit* seraient réalisables mais dont la réalisation n'apporterait rien par rapport à ce qui est prouvé dans l'imagination, et une contrefactualité forte, qui désigne des expériences *en droit* irréalisables. A partir de ce critère de la contrefactualité, nous voudrions reconsidérer le statut de l'expérience de pensée galiléenne à la lumière de l'usage qu'il en fait dans son étude des taches solaires. Nous nous concentrerons pour ce faire sur celle qui est présentée dans la lettre du 4 mai, et qui porte sur la ressemblance des taches solaires et des nuages. Ce que nous voudrions montrer ici, c'est qu'il ne s'agit pas d'une expérience de pensée, mais d'une observation fictive rendue possible par l'homogénéisation et la systématisation préalables du monde dans lequel elle se déploie.

Le scénario de la première lettre

Dans la première lettre, Galilée propose à son lecteur le raisonnement suivant, qui se divise en deux parties distinctes, une première fictive, et une deuxième dans laquelle il oppose la réalité à la fiction précédente. Voici d'abord la fiction :

> *Si la Terre était par elle-même lumineuse, et non éclairée de l'extérieur par le Soleil, à qui pourrait la regarder de très loin, elles offriraient vraiment des apparences*

1 Roux, Sophie, « Qu'est-ce qu'une expérience de pensée », conférence, Paris, octobre 2014.

identiques : selon que telle ou telle de ses régions serait recouverte par des nuages, elle se montrerait parsemée de taches obscures qui, au gré de leur plus ou moins grande densité, gêneraient plus ou moins son éclat ; qui, de même, apparaîtraient ici plus sombres et là moins, très nombreuses ou peu nombreuses, tantôt grandiraient tantôt diminueraient : et si la terre tournait sur elle-même, elles l'accompagneraient encore dans son mouvement. De plus, comme leur profondeur est faible respectivement à leur étendue habituelle, celles qui vers le milieu de l'hémisphère présenteraient une grande largeur, paraîtraient se rétrécir en atteignant son extrémité : et en somme je crois qu'on observerait aucun phénomène qui ne se voit semblablement avec les taches solaires.[1]

Résumons ce que fait ici Galilée. L'expérience de pensée se décompose en réalité en trois moments, qui correspondent chacun à trois statuts différents de ce que l'on peut nommer une hypothèse.

Il propose d'abord d'imaginer quelque chose d'absurde, en l'occurrence le fait que la Terre soit une étoile, émettrice de sa propre lumière : cette hypothèse fausse instaure une analogie entre la Terre et le Soleil qui vise, par la suite, à rendre plausible la ressemblance entre taches solaires et nuages atmosphériques. À ce premier moment qui, comme nous le verrons par la suite, distingue tout à fait cette expérience dans la famille des expériences de pensée, succède immédiatement après un moment plus classique, encore que l'exercice de l'imagination y consiste moins à faire varier les conditions de l'observation que la position de l'observateur : ce n'est pas de l'imperfection de tout dispositif expérimental, et de tout instrument de mesure, dont Galilée s'affranchit, mais de l'impossibilité *de fait* d'observer le monde autrement que depuis l'arche originaire, et de pouvoir la regarder comme on regarde un objet céleste. Technique d'imagination que Kant aurait pu qualifier de copernicienne, en ce qu'elle s'appuie sur l'idée de faire se mouvoir – fût-ce fictivement – le spectateur[2]. Galilée décrit alors dans le détail la manière dont on *verrait* la Terre depuis

1 Galilée, *Lettres sur les taches solaires*, in Clavelin, M., *Galilée copernicien, op.cit*., p.233.

2 Kant, E., *Critique de la raison pure*, , 2nde préface, tome I, Bibliothèque de la Pléiade, Gallimard, Paris, 1980, p.740 : « l'idée première de Copernic : voyant qu'il ne pouvait venir à bout de l'explication des mouvements

un tel point de vue ; il résume cette vision quelques lignes plus bas, en affirmant que les phénomènes observés sur Terre paraîtraient identiques à ce que l'on observe sur le Soleil.

La contrefactualité s'accompagne d'une suspension du jugement relatif à la mobilité de la Terre. La similitude entre les nuages est les taches est de telle nature que, comme l'écrit Galilée, « *si la Terre tournait sur elle-même*, [les taches sombres que l'on apercevrait] l'accompagneraient encore dans son mouvement »[1] ; si Galilée pose le mouvement de la Terre comme une hypothèse, qui participe de la fiction imaginative, c'est en partie par stratégie rhétorique, en partie aussi parce que la vérité de ce qu'il cherche à prouver – la corruptibilité de la matière céleste – ne dépend pas de la vérité du géomobilisme.

Cela souligne d'une part le caractère *indirectement* copernicien du texte, mais aussi le déficit de systématicité, à ce stade, entre ce qui relève de l'astronomie et ce qui relève de la cosmologie : un désaccord sur le mouvement des planètes n'implique pas – en tout cas pas encore – un désaccord sur la constitution de l'univers.

Après ce moment imaginaire, Galilée présente ce qu'il en est dans la réalité ; l'expérience n'est donc probante qu'en ce qu'elle met en regard perception imaginaire et perception réelle – et non l'observation effective et l'imagination, comme dans l'expérience de pensée sur la chute des graves.

Cues et l'observation de la Terre

Cette expérience imaginée, que Galilée propose pour prouver la similarité entre les taches solaires et les nuages, s'inscrit dans la filiation de celle que proposait Nicolas de Cues

du ciel en admettant que toute l'armée des astres tournait autour du spectateur, il essaya de voir s'il ne réussirait pas mieux en faisant tourner le spectateur, et en laissant les astres en repos ».

1 Galilée, *Lettres sur les taches solaires*, in Clavelin, M., *Galilée copernicien, op.cit*.p.233.

au chapitre XII du livre II de *La Docte ignorance*. Nous ne proposerons pas une étude précise de ce chapitre, mais nous voudrions montrer quelle inspiration fondamentale conduit à envisager d'imaginer la Terre de loin, et en quoi cela engage quelque chose d'assez différent d'une expérience de pensée classiquement comprise.

Ce chapitre intervient immédiatement après la démonstration de ce qu'il est « impossible, vu les divers mouvements des astres, que la machine du monde ait quelque chose (la Terre sensible, ou l'air, ou le feu, ou n'importe quoi d'autre) pour centre fixe et immobile » ; de ce principe découlent d'une part le fait que la Terre ne se trouve pas au centre des sphères[1] et d'autre part le fait que la Terre est en mouvement[2], et qu'elle est mue d'un mouvement irrégulier.

Le chapitre XII, quant à lui, a pour objet de discuter et réfuter l'opposition entre monde sublunaire et monde supralunaire. Ce qu'il paraît particulièrement intéressant de mettre en regard du texte de Galilée est la symétrie de l'argumentation, qui se traduit par la similitude du procédé argumentatif (du moins en ce qui concerne le recours à l'expérience de pensée). En effet, là où, dans ses réflexions sur les taches solaires, Galilée semble vouloir unifier domaine terrestre et domaine céleste en réduisant, ou plus exactement en reconduisant, les apparences célestes à une matière dotée de propriétés identiques à la matière terrestre, Nicolas de Cues assoit l'identité entre les deux domaines en attribuant à la Terre les propriétés qui sont celles du Soleil – en l'occurrence, la luminosité et l'absence de corruptibilité totale.

1 « La Terre, par conséquent, n'est au centre ni de la huitième, ni de toute autre sphère, et l'apparence des huit étoiles au-dessus de l'horizon n'amène pas à conclure que la Terre soit au centre de la huitième sphère. », in Nicolas de Cues, *De la docte ignorance*, trad. Jean-Claude Lagarrigue, coll. Sagesses chrétiennes, Cerf, Paris, juillet 2010, p.209.
2 « De cela, du moins, il ressort que la Terre est en mouvement. », *ibid*., p.211.

a/ La réfutation de l'argument de la grandeur

C'est bien l'idée même d'une hiérarchie entre les différentes parties du monde qui est mise en cause par le Cusain dans ces lignes ; comme il l'écrit lui-même, « il ne faut pas dire que, parce que la Terre est plus petite que le Soleil et qu'elle est sous son influence, elle soit plus vile pour cela »[1]. L'argument de la taille est réfuté en premier lieu en ce qu'il introduit une relativité totale entre les astres : la Terre est certes plus petite que le Soleil, mais elle est plus grande que la Lune (ainsi qu'en témoigne le phénomène des éclipses) ainsi que d'autres astres. Comme nous pouvons le remarquer, l'argument mobilise moins la dignité respective de la Terre et du Soleil l'une par rapport à l'autre, que l'idée même d'une opposition binaire entre deux régions ; la comparaison selon la taille induit en effet d'une part une multiplicité de grandeurs, d'autre part une relativité entre tous les astres respectivement. C'est ainsi que Nicolas de Cues peut conclure que de la grandeur à la noblesse, la conséquence n'est pas la bonne.

b/ L'absence de corruptibilité totale de la matière terrestre

Dans la suite du chapitre, Nicolas de Cues affirme que « même la corruption des choses sur Terre, dont nous faisons l'expérience, n'est pas une preuve effective du manque de noblesse[2] ». La déconnexion entre noblesse et immuabilité constitue le *pendant axiologique* de l'abolition des deux domaines : la preuve de la mutabilité des cieux ne les

1 *Ibid*., p.212.
2 *Ibid*., p.219.

dévalorise pas davantage qu'elle n'ôtait de valeur à la Terre. Cette désactivation de la charge axiologique négative de la mutabilité se retrouve, presque telle quelle, sous la plume de Galilée – en l'occurrence dans la bouche de Sagredo – dans la première journée du *Dialogo* :

> *aux corps naturels, ceux qui composent l'univers, on attribue l'impassibilité, l'immutabilité, l'inaltérabilité, etc., comme autant de titres de noblesse et de perfection, et on tiendrait pour une grande imperfection d'être altérable, générable, capable de changement, etc. : je considère, moi, qu'il est tout à fait noble et admirable pour la Terre qu'il s'y produise sans cesse des changements, altérations, générations, etc., nombreux et divers.*[1]

Non content d'anoblir, en quelque sorte, la mutabilité, Galilée montre ce qu'aurait de pauvre une terre immuable dans ses parties, c'est-à-dire, en somme, inerte :

> *Si elle n'était sujette à aucun changement, si ce n'était qu'une immense solitude de sable ou une masse de jaspe, ou si, au temps du déluge, les eaux qui la recouvraient l'avaient en gelant transformée en un immense globe de cristal sur lequel jamais rien ne naîtrait, ne s'altérerait ou ne changerait, j'estimerais que c'est une masse énorme, inutile pour le monde, inactive, superflue en un mot et comme inexistante en la nature.*[2]

C'est donc dans une axiologie vitaliste que l'unification du monde trouve à la fois sa preuve par l'absurde, et son acceptabilité :

> *C'est la même différence qu'on fait entre un animal vivant et un animal mort ; j'en dirais autant de la Lune, de Jupiter et de tous les autres globes du monde.*[3]

1 Galilée, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, OG VII pp.114-115, traduction française par René Fréreux, in Dialogue sur les deux grands systèmes du monde, coll Sciences, Seuil, Paris, 1992, pp.157-158.
2 *Ibidem*., p.158.
3 *Ibidem*, p.158.

L'organicité sous les traits de laquelle sont dépeints les différentes planètes fonctionne comme une image, une métaphore, de cette systématicité par laquelle est pensée la structure du monde : ce dernier n'est pas un vivant, mais ses éléments peuvent être pensés *comme* des vivants, des organismes c'est-à-dire des *systèmes* biologiques.

c/ Le décentrement du regard

Revenons à Nicolas de Cues. Le troisième élément d'assimilation de la Terre au Soleil est l'affirmation de la luminosité de la Terre. Voici comment Nicolas de Cues présente l'expérience :

> *Du coup, si quelqu'un se trouvait en dehors de la région en feu, la Terre, à la circonférence de [sa] région, semblerait, par le moyen du feu, une étoile lumineuse ; ainsi que le Soleil nous semble très lumineux, à nous qui sommes en dehors de la circonférence de la région solaire. Et la Lune ne nous paraît pas aussi lumineuse, sans doute parce que nous nous trouvons non loin de sa circonférence, vers ses parties les plus centrales, comme dans sa région pour ainsi dire aqueuse ; et, par suite, nous ne voyons pas sa lumière, bien qu'elle ait une lumière propre, qui apparaîtrait aux gens placés aux extrémités de sa circonférence.*[1]

Ce passage propose un décentrement du regard sur l'astre terrestre, dont la circonférence est certes pensée encore comme étant la région de l'élément feu. Le déplacement dont parle ici Cues ne constitue pas à proprement parler une expérience de

1 Nicolas de Cues, *De la docte ignorance, op.cit.*, p.215.

pensée puisque la contrefactualité du scénario ne repose pas plus sur les conditions de l'expérience que sur la position de l'observateur, ce qui est tout différent.

Chez Galilée, on retrouve à l'identique ce déplacement de l'observateur, son décentrement par rapport au lieu d'observation ; chez lui, le geste est copernicien en deux sens : d'une part, en conduisant le lecteur à se *décentrer* par la pensée, par l'imagination, il conduit à une relativisation *de fait* de la centralité de la Terre. En sorte que même si, comme nous l'avons vu précédemment, la thèse de la mobilité de la Terre est mise hors-circuit dans ce passage, la thèse copernicienne n'en est pas moins sous-jacente.

Mais plus généralement, nous voudrions expliciter en quoi, à notre sens, cette fiction imaginative ne constitue pas une expérience de pensée. Comme nous venons de le dire, son procédé consiste à faire varier par l'imagination la position de l'observateur ; contrairement à l'expérience de pensée qui réalise l'idéal pour un dispositif expérimental donné, précis, et qui porte donc sur *certaines conditions particulières de l'expérience*, l'observation fictive, elle, opère une transformation sur *les conditions générales de l'observation* : elle repose sur la conditionnalité de la perception au point de vue de celui qui perçoit, à sa position par rapport aux autres éléments qu'il cherche à observer (ici les autres corps célestes). Ce qui se manifeste donc là, corrélativement à la systématisation astronomique et cosmologique, est une systématisation des points de vue : chaque lieu du monde constitue un point de vue possible sur les autres parties, point de vue partiel, sur lequel on peut se placer en imagination, à défaut de pouvoir s'y rendre réellement. On retrouve, dans la considération des points de vue possibles sur le monde, les caractères de la systématicité que nous avons précédemment dégagés : la totalité (chaque lieu du monde est un point de vue, et il l'est en droit sur la totalité du monde), la relation nécessaire entre

toutes les parties (on peut rendre raison, mathématiquement, des transformations de l'observation en fonction du point de vue de l'observateur) et enfin la centralité : il y a un point de vue central à partir duquel la configuration du monde trouve une rationalité de manière plus évidente que depuis tous les autres – le point de vue de l'observateur solaire qui serait en ceci privilégié que les mouvements des planètes lui apparaitraient immédiatement réguliers.

2/ Le statut épistémologique de l'analogie

L'analogie est utilisée par Galilée à la fois pour traiter d'éléments solaires – nous l'avons vu, dans les lettres de 1612, elle permet de penser les taches à l'image de nos nuages, et des éléments lunaires. Nous voudrions étudier ici sa signification et les conditions, non explicitement formulées par Galilée, de sa validité épistémique quand elle est appliquée à des objets astronomiques.

Visibilité de fait, visibilité de droit

Comme propédeutique au raisonnement analogique, Galilée doit montrer la faiblesse et l'incohérence d'une position que l'on pourrait nommer celle du « témoignage direct » : puisque nul n'a jamais été témoin direct de changements dans les cieux, alors on dispose de la preuve observationnelle que les cieux ne sont pas soumis au changement. La réfutation de cette position-là permet à Galilée d'asseoir à la fois la pertinence du recours à la lunette, mais aussi de préparer le fonctionnement du raisonnement analogique en

suggérant la systématicité du monde dont on cherche en vain à distinguer deux parties radicalement hétérogènes.

Arrêtons-nous un instant sur un passage de la première journée, où les trois protagonistes du *Dialogo* s'entretiennent sur l'aspect visuel de la Terre. Salviati explique, comme preuve visuelle de la différence de nature entre cette dernière et les corps célestes, que l'on peut *voir* ici-bas que tout se transforme, que toutes choses sont soumises au devenir, à la génération et à la corruption. Simplicio a beau jeu d'opposer ce devenir phénoménal à ce que l'on peut observer en levant son regard : rien de nouveau n'apparaît dans les cieux.[1] La réponse que fait Salviati est alors particulièrement intéressante ; restituons-la *in extenso* :

> *Mais puisque vous voilà prêt à vous reposer sur ces faits d'expérience visibles ou, pour mieux dire, vus, vous êtes forcé de tenir la Chine ou l'Amérique pour des corps célestes : vous n'y avez jamais vu, j'en suis sûr, ces altérations que vous voyez ici en Italie ; au témoignage de vos sens, elles sont donc inaltérables*[2]

Galilée est en train de réduire à l'absurde l'idée selon laquelle parce que des changements ne sont pas observés, parce que des nouveautés ne sont pas *vues*, alors elles n'existent pas. L'argument peut sembler, au premier abord, d'une singulière mauvaise foi : certes Simplicio n'a pas vu de changement aux antipodes, mais c'est parce qu'il ne s'y est pas rendu. Le défaut de preuve est donc lié à l'histoire de son interlocuteur : s'il s'était

1 *Ibid*., p.151 : « Sur la Terre, je vois continuellement s'engendrer et se corrompre herbes, plantes et animaux [...] ; l'aspect de la Terre est en perpétuelle métamorphose ; les corps célestes au contraire ne présentent aucune de ces altérations [...] : rien de nouveau ne s'y est engendré, rien d'ancien ne s'y est corrompu. »
2 *Ibid*., p.151

rendu là-bas, il y aurait vu du changement. Mais l'échange qui se poursuit est instructif, et la logique argumentative à l'œuvre particulièrement subtile.

Simplicio est en quelque sorte pris au piège : s'il est en effet trop loin pour percevoir les altérations qui existent effectivement sur un autre continent, et qui ont été attestées par ceux qui y sont allés, comment pourrait-il, *a fortiori*, percevoir celles qui se situent proches de nous ? D'autant que nul n'en revient, dont le témoignage pourrait attester ce qui se passe *vraiment* là-bas. Simplicio se perd alors dans la production d'arguments *ad hoc* ; voici les deux éléments dont il ne démord jamais : d'une part on ne *voit* pas de changement dans les cieux, et d'autre part, s'il y en avait, on les *verrait*. Sa ligne argumentative est de fait grevée de deux présupposés : d'une part la seule vision fiable, sinon possible, est la vision à l'œil nu ; d'autre part, il n'est pas de changement qui ne soit *en droit* accessible à cette vision-là.

Ces deux présupposés explicites placent Simplicio dans une ornière, que nous voudrions décrire pour comprendre sur quels présupposés implicites se situe la conversation, et qui mettent tous deux Salviati non pas tant en position de force que dans la seule position possible de la conversation :

a/ *Vision à l'œil nu et vision télescopique*. Salviati comprend parfaitement l'attachement de son interlocuteur à la vision à l'œil nu[1]. Celle-ci fournit comme un témoignage direct –

1 *Cf.* le texte de la Première journée du *Dialogo* ; Simplicio : « encore que je n'aie jamais vu *de mes yeux* ces altérations en ces contrées » ; Salviati : « pourquoi ne les avez-vous pas vues *de vous-même*, *de vos propres yeux* ? » (nous soulignons) ; in Galilée, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde, op.cit.*, p.152.

mais Simplicio lui-même est contraint d'accorder qu'il n'exige pas toujours d'avoir été lui-même témoin d'événements terrestres pour accorder leur existence.

b/ Le deuxième présupposé sur lequel s'appuie Simplicio est celui de la visibilité *de droit* d'une éventuelle altération à la surface de la Lune. Et ce qui est particulièrement notable c'est que cette visibilité *de droit* s'appuie sur des arguments à la fois qualitatifs et quantitatifs, c'est-à-dire tirés d'une considération de la taille, de la grandeur, des phénomènes observés. Il est frappant de voir que Salviati prend un exemple tiré de l'histoire de la Terre : lorsqu'il restitue le récit de la formation de la mer Méditerranée, il propose une description des éléments géographiques terrestres[1], parle de montagnes, d'océan, de mer. L'évocation de la Lune arrive immédiatement après ; l'argument explicite est le suivant : de tels changements survenus à la surface de la Terre sont d'une grandeur énorme ; en conséquence de quoi, si de pareilles altérations existaient à la surface de la Lune, elles seraient nécessairement visibles de la Terre.

Son argument repose sur un présupposé : les changements évoqués seraient visibles depuis la Lune ; par ailleurs, il dessine une géographie lunaire qui est la condition de pensabilité des changements : en entendant Simplicio, on voit la Lune galiléenne, celle du *Sidereus*, se dessiner. Et la réponse de Sagredo ne fait que confirmer cela : sans assurer que de tels changements aient existé à la surface de la Lune, il montre qu'à tout le moins il est impossible d'être certain qu'il ne s'en est jamais produit ; Salviati oblige ainsi Simplicio à inscrire Terre et ciel dans un espace d'homogénéité au sein duquel la comparaison même est possible. Cette reconduite de l'adversaire anti-copernicien sur son terrain s'illustre

1 « Au détroit de Gibraltar étaient reliés ensemble par d'autres montagnes plus petites qui endiguaient l'Océan ; mais ces deux grands monts ayant été séparés, pour quelque cause que ce fût, et le passage ayant été ouvert aux eaux marines, celles-ci pénétrèrent si loin qu'elles formèrent la Méditerranée », *ibid*.

particulièrement dans une réplique que Galilée met dans la bouche de Simplicio, lorsque celui-ci évoque les changements survenus sur Terre, dans des contrées lointaines :

> *Encore que je n'aie jamais vu de mes yeux ces altérations en ces contrées, il en existe des relations certaines, et d'ailleurs, cum eadem sit ratio totius et partium, ces pays étant des parties de la Terre comme les nôtres, sont forcément altérables comme ceux-ci.*[1]

Simplicio fait preuve d'une pré compréhension de la systématicité d'un ensemble, mais la limite au domaine terrestre ; il pense au sein de ce dernier un rapport d'identité entre le tout et ses parties, et la possibilité de déduire *a priori* les propriétés de parties du système non disponibles à son observation. Le rôle du raisonnement analogique, que mobilise Galilée, va consister à transférer la systématicité du domaine terrestre à la totalité de l'univers.

Le fonctionnement de l'analogie

Le rapport analogique entre la Terre et la Lune est présenté dès le début du *Sidereus*, quand Galilée affirme que :

> *retirant [...] la certitude de l'expérience sensible, n'importe qui pourra comprendre que la Lune n'est nullement revêtue d'une surface lisse et parfaitement polie, mais bien d'une surface accidentée et inégale, et qu'elle est comme la surface de la Terre elle-même, couverte de tous côtés d'énormes protubérances, de creux profonds et de sinuosités.* [2]

1 Galilée, in *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, *op.cit.*, p.152.

2 Galilée, *Sidereus*, p.116.

Peu après, il compare à « quelque nuage »[1] l'assombrissement que l'on observe sur une partie de la face apparente de la Lune. Ceci appelle une première remarque : à ce stade de la description, Galilée parle de ce qui est visible à l'œil nu, et qui par conséquent a été connu à toute époque[2] ; en conséquence de quoi, l'analogie Terre / Lune n'est pas, *en fait*, dépendante de l'usage du télescope. Nous essaierons de montrer, ci-après, pourquoi elles n'en est pas dépendante *en droit.* Ceci permet par ailleurs de relativiser l'importance de la querelle de priorité dans l'observation des nouveautés lunaires, comme nous l'avons noté pour l'observation des taches solaires.

Lorsqu'il analyse les données observationnelles fournies par la lunette, c'est le registre analogique qui permet de tirer les conclusions concernant l'identité de la surface lunaire et de la surface terrestre. Les cavités et les protubérances sont assimilées aux montagnes et aux vallées[3] ; les jeux d'ombre et de lumière qui entourent les taches sont comparés aux effets des levers de Soleil. Mais l'analogie ne s'arrête pas aux reliefs et aux effets d'ombres et de lumière ; lisons Galilée un peu plus loin, lorsqu'il décrit les propriétés du sol lunaire :

> *Cette surface de la Lune, là où elle est diversifiée par les taches, tout comme la queue d'un paon l'est par des yeux céruléens, ressemble à ces petits vases de verre qui, plongés*

1 *Ibid*., p.119.

2 *Ibid*., p.119 ; c'est la raison pour laquelle Galilée décide de les nommer « grandes ou anciennes taches, à la différence d'autres, de moindre grandeur, mais tellement nombreuses qu'elles parsèment toute la surface lunaire, et surtout la partie brillante ».

3 *Ibid*., p.120.

encore brûlants dans l'eau froide, prennent une surface craquelée et ondulée, d'où ils tirent leur appellation populaire de 'coupes de glace'.[1]

Ici, la Lune est comparée non pas à la Terre elle-même, pas même à un corps inerte, mais à la partie d'un animal : il en est des taches lunaires comme des yeux céruléens des paons.

Comme nous le voyons, l'analogie excède les simples surfaces de la Lune et de la Terre, mais permet de faire se figurer des éléments inertes et des éléments organiques.

Dans son introduction au *Sidereus nucius*, F. Hallyn écrit, à propos de l'analogie chez Galilée, qu'elle constitue *le complément conceptuel de la lunette*. Elle contribue à sa manière à repousser les limites du visible, et permet de se figurer à partir de choses que nous connaissons sur Terre, des choses célestes que la lunette suggère sans pour autant nous montrer. Nous voudrions ici commenter cette belle expression – complément conceptuel de la lunette – et suggérer que le complément va bien au-delà d'une simple figuration des choses en question.

L'analogie désigne une identité de rapports (elle s'exprime mathématiquement ainsi : A/B = C/D) ; elle a pour fonction de rendre connu l'un des termes de deux rapports, à partir de la *connaissance* des deux termes du premier rapport et de la *supposition* d'une identité entre les deux rapports. Par exemple, dans l'analogie entre les nuages et les taches solaires, on connaît la Terre, ses nuages, le Soleil ; on pose, par des raisons tirées de l'observation, qu'il y a une identité dans les rapports entre Terre et nuages d'une part, Soleil et taches de

1 *Ibid*. p.122.

l'autre, et on en arrive à la conclusion suivante : les taches sont au Soleil ce que les nuages sont à la Terre.

Une première remarque s'impose alors : l'analogie ne peut prétendre fournir une connaissance de la nature de la chose que l'on saisit par son intermédiaire ; elle peut tout au plus intégrer la chose à connaître dans la même classe d'objets qu'une chose déjà connue : ainsi que l'écrit F. Hallyn, l'analogie nous permet d'avoir une connaissance *générique* des objets éloignés et non pas une connaissance *spécifique*[1]. L'agnosticisme professé quant à la nature des taches s'explique ainsi.

Plus généralement, la connaissance produite par l'analogie est nécessairement limitée, parce qu'outre sa généricité, elle est nécessairement orientée par la connaissance de rapports dont dispose, préalablement, le sujet connaissant ; Galilée n'a pas d'autre exemple à disposition que le rapport Terre / nuage pour penser la nature des taches solaires[2]. Cette limitation constitutive de la connaissance analogique, dans l'observation astronomique, vient de ce qu'elle constitue une transformation de l'analogie elle-même, et plus exactement de l'extension de propriétés concernant des identités de rapports de grandeurs, telles qu'Euclide les expose au livre V des *Eléments*, à des rapports entre des propriétés qualitatives.

En conséquence de quoi, l'analogie galiléenne est exemplaire d'une démarche qui, loin de substituer un monde d'idéalités à un monde réel, accepte les transformations épistémiques d'une opération, l'analogie, dépourvue de son exactitude mathématique dès

1 In Galilée, Le Messager des étoiles, traduit par Fernand Hallyn, Paris, Seuil, 2009.
2 Hallyn écrit, *op.cit*., p.100: « L'inférence analogique n'a pas de statut absolu ou ontologique, mais est fonction d'un rapport purement épistémique au sujet connaissant ».

lors qu'elle n'a plus pour objet des grandeurs. En vertu de cette dé-mathématisation dans son application aux données télescopiques, l'analogie est donc autant le complément conceptuel de la lunette que la lunette constitue le complément empirique d'une opération essentiellement mathématique.

Deuxièmement, le recours même à l'analogie pour mettre en rapport des éléments terrestres avec des éléments lunaires, ou solaires, suppose davantage que la simple mise à disposition de données observationnelles nouvelles par l'entremise d'un instrument d'optique ; le complément à l'empiricité qu'apporte l'analogie va bien au-delà de la simple assimilation d'un élément céleste à un élément terrestre. En réalité, le nerf de l'analogie, comme nous l'avons indiqué plus haut, réside dans l'identification de deux rapports. Cette identification, à partir de laquelle est déduite la nature, ou plus exactement le genre, du quatrième terme (la tache par exemple) présuppose que soit rendue possible la mise en rapport des deux rapports eux-mêmes, et donc, par conséquent, la mise en rapport des quatre termes de l'analogie. Ceci découle immédiatement des propriétés de l'analogie euclidienne de rapports entre des grandeurs : les identifications de rapports et les mises en rapport des différentes grandeurs sont transitives ; l'illustre parfaitement la proposition 11 du livre V :

Les rapports qui sont les mêmes qu'un même rapport sont aussi les mêmes l'un que l'autre[1]

1 Euclide, *Les Eléments*, V, vol.2, Bibliothèque d'histoire des sciences, PUF, Paris, 1998, p. 90.

L'identité est transitive entre les deux rapports qui sont identiques à un même troisième ; ce qui est vrai pour les rapports l'est également pour les éléments, comme en témoigne la proposition 16 du même livre V :

Si quatre grandeurs sont en proportion, elles seront aussi en proportion de manière alterne.

> *Soient quatre grandeurs en proportion A, B, C, D ; comme A [est], relativement à B, ainsi [est] C relativement à D. Je dis qu'elles seront aussi [en proportion] de manière alterne : comme A [est] relativement à C, ainsi [est] B relativement à D.*[1]

S'il est possible de mettre en rapport d'un côté A et B, d'un autre côté C et D, alors il est en droit possible de mettre en rapport A et C d'une part, B et D d'autre part. Dans la mesure où, par définition, ne peuvent être mis en rapport que des termes de même nature, des éléments homogènes, dès lors qu'une analogie entre deux rapports est posée, se trouve posée du même coup une homogénéité entre les quatre éléments de l'analogie. Ceci vrai pour l'analogie quaternaire, ce l'est de manière d'autant plus évidente pour une analogie ternaire, c'est-à-dire de type A/B = B/C, où les homogénéités respectives *de* A et *de* C *à* B posent immédiatement l'homogénéité *entre* A et C.

En sorte que la mise en analogie d'éléments terrestres avec des éléments lunaires et des éléments solaires n'est possible qu'à la condition que soit posée, préalablement, l'homogénéité entre Terre, Lune, Soleil, etc. L'abolition de l'hétérogénéité entre domaine terrestre et domaine céleste est à ce titre condition de possibilité du raisonnement analogique lui-même : pour que des rapports respectifs entre éléments terrestres et

1 *Ibid*., p.99

éléments célestes puissent être identifiés, il faut l'inscription préalable des quatre éléments de l'analogie dans un espace homogène au sein duquel les éléments sont susceptibles d'entrer dans des rapports analogues les uns aux autres, et aussi d'entrer dans des rapports entre eux. Pour le formuler sur l'exemple des taches solaires, l'identité entre matière solaire et matière terrestre est présupposée pour que l'on puisse écrire : nuage/Terre = tache/Soleil, parce que cette dernière égalité pose en même temps que nuage/tache = Terre/Soleil, ou encore que tache/Terre = nuage/Soleil. Dit autrement encore, l'abolition de la distinction entre domaine terrestre et domaine céleste est présupposée dans le recours à l'analogie.

Ainsi, il semble qu'au fondement de l'abolition observationnelle de la cosmologie aristotélicienne des deux régions (dont I. Pantin a montré qu'elle ne constituait pas le propos, purement empirique, du *Sidereus*, et qui est en revanche clairement assumée dans les lettres de 1612), se trouve une abolition transcendantale de cette distinction, qui mette dans un espace d'homogénéité topologique l'ensemble des étants, sublunaires et supralunaires, et qui pose leur identité au moins à titre d'objets de connaissance, par-delà leurs variations qualitatives.

Notons pour finir que cette homogénéité topologique des deux régions, c'est-à-dire leur réunion dans un même espace aux propriétés identiques, est également une condition de validité de l'usage de la lunette ; en effet, seule une homogénéité entre les deux domaines permet que les données observationnelles fournies par la lunette soient valables également quand on observe des objets terrestres *et* quand on observe des objets célestes ; par-delà les lacunes de ses connaissances optiques, qui ont été déjà commentées, Galilée avait au moins conscience que seule une homogénéité du comportement des rayons (que ceux-ci soient dits optiques ou visuels) dans les deux régions garantit la validité des

données télescopiques, et « le nombre et l'importance des avantages qu'offre cet Instrument, tant dans le domaine terrestre que dans le domaine maritime »[1]... et dans le domaine céleste. C'est ce que l'on peut lire dans le très court passage du début du *Sidereus*, lorsque Galilée expose la méthode par laquelle il est possible de mesurer les intervalles et les distances : cette méthode repose toute entière sur la mise en rapport de distances linéaires et angulaires entre des objets terrestres et des objets célestes ; ce sont les analogies de rapports entre ces différentes grandeurs qui permettent de mesurer les distances des objets, et partant d'avoir un usage pertinent de la lunette. En conséquence de quoi, et du point de vue non pas des résultats que l'observation permet d'obtenir que de l'usage même de l'instrument, l'analogie apparaît comme n'étant pas simplement le complément conceptuel de la lunette, mais également son complément transcendantal.

Antécédents aristotéliciens

Galilée n'est pas le premier auteur à avoir eu recours à l'analogie pour penser la nature des cieux. Dans le *Système du monde*, Duhem fait une généalogie précieuse des antécédents lunaires aux découvertes de Galilée ; bien avant que le Florentin ne pointe son télescope vers le ciel, « la Physique avait rencontré, dans la tache de la Lune, un démenti perpétuel »[2]. Cette grande tache lunaire avait notamment fait l'objet de l'opuscule de Plutarque, *Sur le visage qui se voit dans le disque de la Lune*. Duhem fait d'emblée appel à une évidence quasiment perceptive – évidence qui rend aujourd'hui, rétrospectivement, tout à

1 *Op, cit.*, p.117.

2 Duhem, P., *Le Système du Monde, histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, , Paris, Hermann, 1956-1958, gr. in-8° , tome IX, p.409.

fait curieux que l'on ait pu tenir si fermement et si longtemps à la perfection et à la régularité du disque lunaire : « Il était impossible d'observer cette tache, écrit-il, sans penser qu'elle décèle, dans la structure de la Lune, une certaine hétérogénéité, une certaine irrégularité qui semble incompatible avec la pureté toute géométrique de l'essence céleste définie par le péripatétisme »[1] ; encore les termes qu'il utilise sont-ils ici légèrement techniques et plus aptes à qualifier une observation savante du ciel. Mais le sens commun, la perception ordinaire, la confortent ou la précèdent : « Invinciblement, [cette tache] porte à regarder la Lune comme un corps comparable à notre Terre » ; la perfection des cieux, en l'occurrence de la Lune, est donc en affinité bien moindre avec le sens commun que ne l'est sa physique[2].

Mais Duhem propose ensuite une analyse extrêmement précise de la complexité de l'étude aristotélicienne de la Lune ; l'évidence observationnelle de cette énorme tache lunaire aurait conduit Aristote à faire de la Lune, ou plutôt, à faire *pour* la Lune, une exception à la distinction entre la substance céleste et les substances élémentaires. En s'appuyant sur le traité *De la génération des animaux*, il montre selon ce dernier que parmi les éléments, l'un d'entre eux, le feu (c'est-à-dire celui dont la région se trouve le plus proche du ciel) est présent, de manière résiduelle, dans la Lune, « car celle-ci, écrit Aristote, semble avoir quelque communauté avec la quatrième région »[3].

Il s'agit alors de se demander, comme le fait Duhem lui-même, jusqu'où est allé Aristote, et notamment s'il a conçu quelque chose comme une homogénéité, une affinité, à défaut d'identité, entre la Lune et la Terre. Il ne nous appartient pas ici de traiter le problème du point de vue aristotélicien, ni de retracer l'histoire des conceptions de la

1 *Ibid*, p.409.
2 Duhem explique lui-même, in *Le Système du monde, op.cit.*, que la dynamique aristotélicienne est bien plus proche du sens commun que ne l'est la physique galiléenne.
3 *Ibid*. p.409 ; la référence chez Aristote se trouve dans le *Traité des animaux,* III, 11.

Lune : le *Système du monde* le fait de manière très précise. En revanche, nous voudrions confronter ces tentatives de justification de l'existence d'une tache à la manière dont la Lune et les taches solaires sont traitées par Galilée, afin de mesurer *l'écart* qui sépare ce dernier dans son traitement des données observationnelles nouvelles. Cet écart, nous le verrons, n'est pas, ou du moins pas entièrement, le fait du télescope.

Quelle ligne de crête ont suivi les aristotéliciens, afin de maintenir la distinction de nature entre substance terrestre et substance céleste, tout en rendant raison de l'existence de cette tache[1] ? La solution trouvée par Averroès consiste à attribuer au corps de la Lune des différences de densité, qui rendent les parties de l'astre plus ou moins opaques, et plus ou moins diaphanes ; or, la Lune, à l'instar de la Terre, n'émet pas sa propre lumière, elle n'est pas lumineuse *par elle-même* mais *par autrui.* Mais cela ne signifie pas pour autant que la Lune soit purement réfléchissante (car dans ce cas, les différences de luminosité réfléchie peuvent difficilement s'expliquer sans supposer des irrégularités dans la surface réfléchissante) ; la Lune est plutôt rendue lumineuse par l'action de la lumière solaire sur elle, ce que Duhem rend magnifiquement compréhensible en comparant ce phénomène à la fluorescence[2].

Ainsi, les différences de densité provoquent des différences de puissance émettrice de lumière dans les différentes parties de la Lune : certaines sont plus lumineuses, d'autres moins. La tache n'est donc en rien provoquée par une quelconque aspérité ou irrégularité de l'astre lunaire (en cela, on aurait grand tort de conclure, de son existence, à la présence sur la Lune de montagnes et de vallées telles qu'il s'en trouve sur la Terre) ; elle correspond à une partie de la Lune qui réfléchit moins la lumière, et qui depuis la Terre apparaît comme

1 Nous restituons ici les analyses de Duhem, in *Le Système du monde*, *op. cit.*, vol. IX.
2 *Ibid.*, p. 412.

plus sombre. Dit simplement, la tâche est un phénomène essentiellement *optique* plutôt que *physique*.

En conséquence de quoi, les relations d'identité, de similitude, entre la Terre et la Lune doivent être comprises comme les analogies accidentelles possibles dans les propriétés optiques de substances hétérogènes ; mais Duhem le précise bien,

> *par cette communauté de nature, Averroès n'entend aucunement une identité de substance, il veut seulement désigner une similitude, une analogie ;*

qui plus est,

> *le Commentateur entend bien que ces analogies entre les corps célestes et les corps élémentaires, tirées de la façon dont les corps se comportent à l'égard de la lumière, n'atténuent en rien l'irréductible opposition que met le Péripatétisme entre les corps naturels et les corps changeants et périssables. Aussi ne croira-t-il pas s'éloigner du sentiment d'Aristote en usant de ces analogies pour expliquer les particularités de la tache de la Lune.* [1]

Toutes les théories péripatéticiennes qui suivirent et proposèrent des explications de la tache sont des variantes de l'explication averroïste. Son principe directeur réside dans le fait que les analogies repérées, sur le rapport à la lumière, entre substance céleste et substance terrestre, n'impliquent aucune identité de nature. Sur quoi reposent en réalité ces analogies ? Non pas tant sur les éléments eux-mêmes des corps en question que sur les différences, les hétérogénéités que l'on trouve en leur sein ; sans qu'il y ait quoi que ce soit de commun entre la substance des corps terrestres et celle des corps célestes, et sans que

1 *Ibid.*, p.410-411.

les irrégularités qui maculent celle-là n'existent d'une quelconque manière dans celle-ci, on retrouve dans les deux domaines des différences, des distinctions : toutes les parties ne sont pas denses également, et, de manière analogue, les différences de densité provoquent des différences optiques.

Comme nous pouvons le constater, l'analogie telle que l'emploie Galilée pour unifier les deux domaines est assez éloignée du type de raisonnement que nous venons d'évoquer. En effet, l'analogie averroïste porte sur des rapports qui ne sont pas identiques mais assimilés les uns aux autres : elle pointe des correspondances dans le comportement de la lumière entre les deux domaines, mais les différences (en l'occurrence les différences de densité) se déploient *à l'intérieur même* des deux domaines ; et certaines différences au sein d'un domaine produisent des effets décrits analogues à d'autres différences dans l'autre domaine. Cette analogie-là ne pose pas une identité de rapports ; en toute rigueur de termes, il ne s'agit pas véritablement d'une analogie mais d'une similitude, dans laquelle des éléments peuvent être mis en rapport sans que leur homogénéité ne soit posée au préalable.

Le type d'analogie que Galilée utilise dans le *Sidereus* et dans les lettres de 1612 est tout à fait différent, comme nous l'avons vu : les correspondances qu'il établit traversent la séparation entre les deux domaines. Le jeu de ressemblance et de proximité entre certains éléments célestes (les taches sur le soleil, les cratères sur la Lune) et certains éléments terrestres (nos nuages, nos montagnes et vallées) inscrit *a priori* l'ensemble des éléments, terrestres et célestes, dans un espace d'homogénéité qui méconnaît la distinction entre les deux domaines.

Dit autrement, la similitude de type averroïste est une analogie entre des rapports qui portent sur des éléments d'un domaine identique. L'analogie galiléenne met en rapport des éléments homogènes au sein de domaines distincts ; elle produit à la fois l'identité entre les domaines et la différence au sein des domaines. Zone sublunaire et zone supralunaire sont réunies non seulement parce que l'observation montre des ressemblances entre leurs éléments respectifs, mais *aussi* parce qu'elle montre des différences au sein des zones – pour le dire plus trivialement : certaines choses célestes ressemblent davantage à certaines choses terrestres que d'autres choses terrestres. Galilée met donc au point une méthode de description du monde par laquelle c'est l'identité *entre* les domaines qui produit de la distinction *au sein* des domaines. La richesse phénoménale se fait sur le fond d'une unité, unité qui trouve son principe dans la position *a priori* d'un espace homogène qui inclut les éléments des deux domaines, et non plus seulement les rapports entre ces éléments.

C. Analogie, systématicité et limites de la connaissance

F. de Gandt a remarqué, dans son ouvrage sur *Husserl et Galilée*, que le jeu des analogies devient, à la fin de la première journée du *Dialogo*, « impossible à maîtriser », car la Nature est « trop inépuisable, trop riche de merveilles, pour autoriser des raisonnements solides »[1]. L'incertitude à laquelle la recherche scientifique semble condamnée, face au caractère inépuisable des secrets cachés dans la nature à l'observation et au raisonnement

1 De Gandt, F., *Husserl et Galilée, Sur la crise des sciences européennes*, Bibliothèque des textes philosophiques, Vrin, Paris, p.112.

conduit Galilée à poser, selon ses propres termes, une « distinction philosophique », dans les termes suivants :

> *comprendre se prend en deux sens, intensive ou bien extensive ; extensive, c'est-à-dire par rapport à la multitude des choses intelligibles – il y en a une infinité – l'entendement humain est comme rien, quand bien même il comprendrait mille propositions, puisque mille, par rapport à l'infini, est comme zéro ; mais si on entend comprendre intensive, pour autant que ce terme implique intensité, c'est-à-dire perfection, dans la compréhension d'une proposition, je dis que l'intellect humain en comprend parfaitement certaines et en a une certitude aussi absolue que la nature elle-même peut en avoir.*[1]

Une fois posée cette distinction entre ce que nous pouvons *extensivement* connaître, et qui est constitutivement limité, et ce que nous pouvons *intensivement* connaître – qui atteint, pour une chose connue, tout ce qu'il est possible d'en connaître (comme c'est le cas « des sciences mathématiques pures »), Galilée donne la mesure de la connaissance humaine en regard de la connaissance divine :

> *en ces sciences [les sciences mathématiques pures] l'intellect divin peut bien connaître infiniment plus de propositions que l'intellect humain, puisqu'il les connaît toutes, mais à mon sens la connaissance qu'a l'intellect humain du petit nombre de celles qu'il comprend parvient à égaler en certitude objective la connaissance divine, puisqu'elle arrive à en comprendre la nécessité et qu'au-dessus de cela il n'y a rien de plus assuré. [...] la vérité que nous font connaître les démonstrations mathématiques est celle-là même que connaît la sagesse divine ; je veux bien considérer que la façon dont Dieu connaît l'infinité des propositions, alors que nous n'en connaissons qu'un tout petit nombre, est éminemment plus excellente que la nôtre.*[2]

1 Galilée, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde,* trad. fr., in *op.cit.*, p.211.
2 *Ibid.*, pp.211-212

En ces lignes bien connues, Galilée trace les linéaments d'une conception *univoque* de la connaissance, c'est-à-dire d'une *épistémè* dans laquelle connaître comme un homme est formellement identique à ce qu'est connaître comme un Dieu : en sa plus haute certitude, l'homme connaît comme Dieu connaît. Simplement, contrairement à ce qui est le cas pour Dieu, d'une part cette plus haute certitude humaine voit son domaine limité aux mathématiques, et d'autre part, dans ces mêmes mathématiques, l'homme connaît par raisonnements et non par intuition.

F. de Gandt remarque fort justement que cette distinction intervient en réponse aux apories auxquelles conduit l'analogie, et plus exactement à l'excès dans lequel se trouvera toujours la nature, et ce qu'elle donne à voir à l'observation, par rapport à ce qui est accessible à la connaissance humaine. Nous ne souhaitons pas ici décrire de manière systématique ce que serait la philosophie galiléenne de la connaissance, d'autant que rien de tel n'apparaît, de manière structurée et achevée, sous la plume du Florentin. Nous voudrions en revanche remarquer que cet *excès* auquel l'investigation scientifique doit faire face, et qu'elle ne peut surmonter, invite à penser autrement la mathématisation que comme une substitution, ou une substruction idéalisante de la nature. L'analogie est la manière par laquelle l'entendement humain ramène à l'unité des éléments hétérogènes, et, comme nous l'avons vu, dans le même temps, elle est ce par quoi il accède à la diversité réelle et concrète des choses mondaines, de leurs aspects, de leurs propriétés.

L'analogie est donc un mode d'appréhension théorique d'un donné observationnel nouveau, qui consiste à ramener à l'unité ce qui excède toujours-déjà cette unité ; à l'idéal d'unification s'oppose l'infinie variété d'une nature foisonnante. Quel rapport ce travail d'appréhension du non-encore connu, en l'occurrence celui qui est délivré par la lunette, entretient-il avec la mathématisation ? Que cette dernière soit absente (*Messager*) ou

présente (Lettres de 1612), la mathématisation offre le modèle de cette reconduite à l'unité d'éléments divers, et de cette génération de la diversité à partir d'une fonction unique de production. C'est exactement comme cela que Galilée décrit, quelques lignes après le passage que nous avons cité : pour sortir partiellement de la brume[1] dans laquelle il se meut, l'esprit « se rend maître de quelques conclusions, solidement démontrées et possédées, dont [il] dispose si aisément [qu'il] peut passer rapidement de l'une à l'autre »[2] : cette chaîne qu'il établit entre ses connaissances constitue une fonction qui permet de produire l'ensemble des objets mathématiques sur lesquels portent ces connaissances, elle relie les connaissances entre elles en donnant ce qui constitue une loi de production des différentes figures :

> *car enfin, dans un triangle, l'égalité du carré opposé à l'angle droit avec les carrés des deux autres côtés, qu'est-ce sinon que l'égalité de parallélogrammes ayant des bases communes et tracées entre des parallèles ? Et n'est-ce pas finalement la même chose que l'égalité de deux surfaces qui, appliquées l'une sur l'autre, restent dans les mêmes limites sans se dépasser ?*[3]

La seule différence avec Dieu réside dans l'extension temporelle du *passage* d'une figure à une autre, d'une connaissance à une autre, là où l'intellect divin « les parcourt en un instant »[4]. La systématisation est donc la forme la plus achevée que peut prendre la connaissance en ce qu'elle donne la loi de l'ensemble des passages possibles ; encore une

1 L'image est de Galilée lui-même ; *cf. Dialogue sur les deux grands systèmes du monde,* trad. fr., in *op.cit.*, p.212.
2 *Ibid.*, p.212.
3 *Ibid.*, p.213.
4 *Ibid.*, p.213.

fois, la mathématisation est la forme que prend dans l'étude de la nature la réponse à cette exigence de systématicité de la connaissance du monde.

IV. Nouveautés célestes et mathématisation

A. La preuve mathématique de la localisation des taches

Le principal élément de mathématisation concernant les taches réside dans la preuve de leur contiguïté avec la surface solaire[1] ; contre les affirmations de son adversaire, Scheiner, pour préserver le Soleil de toute impureté, de toute soumission au devenir, situe ces taches entre le soleil et la Terre. Pour montrer cela de manière irréfutable, Galilée s'appuie sur le fait observationnel suivant, obtenu par le relevé de la position des taches jour après jour, pendant plusieurs semaines : les taches sont d'autant plus éloignées les unes des autres qu'elles se situent plus proche du centre du Soleil ; et inversement, elles se rapprochent les unes des autres lorsqu'elles sont plus proches de sa circonférence.

Ce que Galilée va montrer, c'est que cette variation concomitante entre la *distance au centre* et la *distance entre les taches* est possible si et seulement si ces dernières sont situées non pas loin du soleil, comme le prétend son adversaire, mais « sur la surface même du globe solaire ». Galilée développe alors un argument qu'il qualifie lui-même de « très puissant » ; nous voudrions le restituer, sans entrer dans ses détails techniques, mais en étant attentif aux transformations que fait subir aux données observationnelles le traitement géométrique que Galilée lui applique.

Ces transformations sont essentiellement de trois types :

1 « Je dis de plus que ces taches [...] sont très proches de la surface du Soleil, et peut-être même lui sont contiguës », *Deuxième lettre de Galilée à Marcus Welser*, 14 août 1612, in *Galilée copernicien, op.cit.,* p.253.

1) D'une part, Galilée procède à une *dé-particularisation* des objets du raisonnement : là où l'œil observe *telle* tache particulière, et compare sa localisation à *telle autre* tache quelconque, le mathématicien considère les seules taches éligibles à la démonstration, c'est-à-dire celles qui remplissent les conditions pour que le raisonnement mathématique soit à la fois possible et probant. En l'occurrence, la condition posée par Galilée est que les deux taches choisies soient situées *sur le même* parallèle : il faut en effet que leur déplacement s'effectue sur une même ligne, autrement dit qu'elles empruntent le même chemin, l'une précédant l'autre ; c'est l'existence de cette ligne unique de mouvement qui va permettre de rapporter les distances entre les deux à leurs distances respectives à la circonférence. Qui plus est, le choix de deux taches situées sur le même parallèle permet de les situer sur une coupe latitudinale du soleil et de projeter les éléments du problème (taches, surface et circonférence solaires) sur un plan unique, et ainsi passer du *dessin* à la *figure* géométrique.

2) Le deuxième type de transformation est ce que l'on pourrait nommer la *déformation négligeable* ; la démonstration s'autorise à ignorer par exemple l'angle formé par les droites partant de l'œil de l'observateur et joignant les extrémités du diamètre terrestre : en effet, « la distance entre le soleil et nous est tellement grande, comparée au diamètre de son corps », et cet angle par conséquent si aigu, que « nous pouvons sans erreur sensible les traiter comme des lignes parallèles[1] ». S'agit-il ici du même geste théorique que celui qui permet, dans l'expérience de pensée du *Dialogo*, de négliger la résistance du milieu en imaginant que les corps chutent dans le vide ? Dit autrement, s'agit-il d'une expérience de pensée ? À première vue, le

1 *Ibid*., p.248.

> mathématicien utilise bien sa liberté d'esprit pour se détacher de la réalité et réaliser en pensée les conditions idéales à l'application de ses outils ; néanmoins, le choix de négliger l'angle entre les rayons ne relève pas de l'élaboration d'un scénario contrefactuel[1], pas plus qu'il ne se place dans un monde fictif, imaginaire, dans lequel seraient effectives ces conditions idéales. Ce que fait Galilée ici, c'est simplement montrer que l'écart entre la réalité physique et la figure géométrique est trop faible pour qu'il puisse invalider le raisonnement qui va suivre. En apparence Galilée fait *comme si* les rayons étaient parallèles ; mais en réalité, il accepte de les traiter tels qu'ils ne sont pas – et par conséquent accepte l'erreur – parce que les résultats de la démonstration sont tout aussi vrais pour des rayons très légèrement sécants qu'ils ne le sont pour des rayons parallèles.

Il y a donc une différence entre l'élimination fictive et imaginaire de l'action du milieu pour concevoir la chute des graves, et la négligence de la différence entre des lignes parallèles et des lignes très légèrement sécantes : dans le premier cas, la distance entre l'idéal et le réel empêche d'accéder à la vérité, et c'est pour cela qu'on l'*élimine* en pensée. Le moindre frottement empêche l'effectivité d'une chute uniformément accélérée. Dans le second, en revanche, on *accepte* l'écart entre la réalité et son traitement mathématique, parce qu'il n'invalide pas les résultats de la démonstration, il ne compromet pas la manifestation de la vérité que Galilée évoque non sans enthousiasme avant de commencer la démonstration[2]. L'intelligibilité des rapports de distance entre les objets astronomiques, leur projection sur des figures géométrique, les calculs que l'on effectue à leur propos : tous ces éléments produisent une certitude qui n'est pas entièrement tributaire de l'exactitude ;

1 Voir Roux, Sophie, « Qu'est-ce qu'une expérience de pensée ? », conférence, Paris, 2014.
2 Voir Clavelin, *Galilée copernicien, op.cit.*, p.248.

et ce n'est pas tant l'exactitude des observations qui est ici en cause, comme elle peut l'être dans le cas où on applique une parallaxe à des objets célestes, mais l'exactitude de la transcription des objets de l'observation en objets géométriques. La pertinence épistémique de la démonstration géométrique se fonde donc sur une approximation légitime. Ainsi, et c'est un trait que nous retrouvons dans l'ensemble des textes à notre disposition, la science galiléenne des nouveautés célestes n'est pas une science exacte, mais elle n'en est pas moins une science certaine : bien au contraire, elle est certaine parce qu'inexacte, elle tire sa certitude de la capacité qu'a la démonstration géométrique à contaminer de sa vérité un matériau qui ne lui est pas connaturel[1]. En sorte que, si les taches solaires deviennent un objet de mathématisation, ce n'est pas à la faveur de la substitution d'idéalités géométriques aux figures concrètes observées, mais c'est dans la mesure où s'y éprouve un écart épistémiquement inoffensif entre monde géométrique et monde naturel.

3) La production de certitude sur fond d'approximation ne peut se faire sans un dispositif logique adéquat. De la même manière que l'application de la parallaxe à des observations relativement peu fiables impose le *modus tollens*, Galilée propose pour la localisation des taches un raisonnement par l'absurde : il ne va pas montrer directement que les taches se situent sur le Soleil, ni donner leur distance exacte à la surface, mais il établit que, compte tenu des données observationnelles et du raisonnement géométrique, il est absurde qu'elles soient « éloignées de la surface du Soleil de la vingtième partie de son diamètre ». C'est donc là le troisième type de transformations subies par les données observationnelles : le mathématicien ne

1 A ce propos, la certitude est telle que même les quelques bévues qui grèvent les démonstrations de Galilée dans les *Lettres* n'en invalident à aucun moment les conclusions.

cherche pas une distance effective mais une distance maximale. Mais la distance obtenue est si faible qu'elle se trouve elle aussi négligeable, et par conséquent suffisante pour démolir la position adverse.

Nous avons donc recensé trois déformations réglées qui permettent à Galilée de passer concomitamment du dessin au diagramme, de l'expérience au raisonnement, et du probable au certain. Galilée a pensé lui-même les conditions d'application de la géométrie à la réalité ; la manière dont il le fait dans les textes de mécanique, notamment dans la quatrième journée des *Discorsi*, a fait l'objet de commentaires précis[1]. Mais ce qui, dans la mécanique, permet d'éprouver l'écart entre les figures géométriques et la réalité, et l'approximation qui est par conséquent nécessaire à l'usage de la géométrie, c'est d'abord et avant tout son usage pratique, en l'occurrence balistique, ou, pour reprendre la formule de F. Chareix, le passage d'une cinématique pure à une science d'ingénieurs[2]. L'établissement de la localisation des taches permet, lui, d'éprouver cette approximation constitutive de tout rapport mathématique aux choses *du point de vue de la théorie elle-même*.

Cette approximation nous permet de repenser le statut des mathématiques au sein de la science galiléenne, sur un terrain différent de la mécanique. L'approximation, nous l'avons vu, n'est pas à proprement parler le déplacement de l'objet scientifique des conditions réelles de l'expérience vers des conditions idéales. Et pour cause : dans la mesure où ce qui est en jeu dans l'étude des nouveautés célestes est la constitution de la

1 Voir notamment les pages magistrales de Fabien Chareix dans *Le Mythe Galilée*, notamment pp. 205-209 ; Fabien Chareix explicite « cette réflexion relative aux conditions d'application de la géométrie, qui en dénonce même les limites et le caractère de simple approximation par rapport aux mouvements concrets », qui est « patente tout au long de la Quatrième journée » ; in Chareix, F., *Le Mythe Galilée*, coll. Science, histoire et société, PUF, Paris, 2002.

2 Cf Chareix, *op. cit.*, p.209 ; « Circonscrite, la géométrie est cependant efficace dans les limites d'une expérience finie, commensurable à celle dont l'homme et sa technique sont capables. »

nature, c'est-à-dire de la réalité physique, matérielle, ce déplacement ne pourrait être qu'un éloignement de ce qui est recherché. Si l'on comprend comment les propriétés d'un mouvement imaginaire, idéal – le mouvement de chute sans frottement, ou le mouvement rectiligne uniforme – permettent de déduire les propriétés des mouvements réellement existants, par un jeu de transformations quantifiables (l'action des frottements, etc.), on se figure bien plus difficilement comment la connaissance des propriétés d'une nature *idéale* nous permettraient de connaître une nature *réelle*.

B. La mesure de l'Enfer de Dante (1585) : un précédent ?

Les *Leçons sur l'Enfer de Dante* ont été prononcées par Galilée en 1587 à Florence. Ce texte, dont la traduction française est récente, a fait l'objet d'une attention particulière du point de vue du rapport entre Galilée et les arts. On a moins noté à quel point, dans ces pages de jeunesse, se dessinaient les linéaments d'une cosmologie dont les lettres de 1612, et le *Dialogo*, constituaient sinon l'achèvement, du moins les développements les plus élaborés.

Dans ces leçons, Galilée prend parti dans le cadre d'une querelle littéraire sur le purgatoire de Dante, en l'occurrence sur la forme et la taille de celui-ci[1] ; ce qui nous intéresse ici est moins cette querelle que la *mesure du monde infernal* qu'il effectue, à partir du texte de Dante. L'entreprise de Galilée, dans ces deux leçons, est une double entreprise de clarification : la description que Dante a donnée de l'Enfer est, certes, la meilleure possible, et à coup sûr, le génie du poète Toscan fait de son texte le *Timée* des profondeurs.

1 Sur le contexte de ces leçons, voir l'introduction à la traduction française, in *Leçons sur l'Enfer de Dante*, tr.fr. Lucette Degryse, Fayard, Paris, 2008.

Mais tout en dévoilant l'aspect de cette cavité dont nul témoin n'est jamais revenu, Dante a voilé son récit de ténèbres[1] : le texte appelait un travail exégétique pour satisfaire le désir de connaître, par d'autres voies que celles de la poésie, la nature et les dimensions véritables de l'Enfer[2]. C'est à cette tâche que se sont adonnés Manetti et Vellutello ; mais ils sont parvenus à des conclusions différentes. Leurs avis divergent notamment sur la taille de la cavité. Il convient donc à Galilée d'arbitrer au sein de cette controverse, en privilégiant l'oral à l'écrit, l'idiome florentin au latin[3], et surtout en proposant « quelques raisons qui [lui] sont propres »[4].

Ce texte est particulièrement intéressant dans la mesure où, rapporté aux objets dont nous traitons, il met hors-circuit deux éléments importants. Tout d'abord, il applique un raisonnement quantitatif à des données qui sont issues non pas de l'observation mais de l'imagination du poète, et à un monde qui est, sinon fictif, du moins inaccessible à toute expérience effective ; en ceci il permet de concevoir la quantification en dehors de l'opposition entre un monde *vécu* et monde *idéel*. Ensuite, dans l'itinéraire scientifique de Galilée, son écriture se situe bien avant la bataille copernicienne[5] – en 1585 il n'avait pas encore exprimé son adhésion au système de Copernic, comme il le fera dans une lettre à Kepler en 1597[6]. La question copernicienne est ainsi absente d'un texte que nous pouvons qualifier à la fois de *géocentriste* et de *copernicien*.

1 Galilée, *Leçons sur l'Enfer de Dante*, tr.fr. Lucette Degryse, Fayard, Paris, 2008, p.38.

2 « Dante décrit donc l'Enfer, mais en le voilant de ténèbres, si bien qu'il va donner à d'autres après lui l'occasion de s'ingénier tant et plus à expliquer son architecture [...]. », *ibid*. p.39.

3 Ainsi qu'il le fera et le revendiquera également dans les *Lettres* sur les taches solaires.

4 Galilée, *Leçons sur l'enfer de Dante*., *op.cit*., p.38.

5 Clavelin, M., *Galilée copernicien*, *op.cit*., Albin Michel, Paris, 2004.

6 Galilée, Lettre à Kepler du 4 août 1597, KGW, XIII, p.130-131 ; OG, X, p.67-68.

1) *Le géocentrisme*. Voici comment Galilée, dans son exégèse de l'explication de Manetti, esquisse la *forme* de l'Enfer :

> *Je dis qu'elle est semblable à une surface concave appelée conique, dont le sommet est au centre du monde et la base vers la surface de la Terre [...], imaginons une ligne droite qui partirait du centre du globe terrestre (qui est aussi le centre de la gravité de l'univers) et qui irait jusqu'à Jérusalem, puis un arc qui de Jérusalem s'étendrait au-dessus de la surface de l'agrégat d'eau et de terre sur une distance égale à la douzième partie de sa plus grande circonférence [...].*[1]

L'Enfer est constitué, du point de vue de sa forme, par le cône dont ces deux lignes constituent l'une des délimitations. D'une part, le centre de la Terre est bien le centre du monde ; d'autre part, ce centre de gravité implique la stabilité et le repos. La Terre de Dante, et donc, ici, de Galilée, est une Terre immobile.

2) *L'aristotélisme*. L'Enfer de Dante est un monde hiérarchisé : du centre (celui de la Terre) à sa périphérie s'étagent des niveaux qualitativement différenciés, et chacun correspond à des châtiments différents. Les niveaux diffèrent donc à la fois par leur *éloignement au centre*[2] et par la *nature* de ceux qui les peuplent ; ces sphères enchâssées les unes dans les autres sont au nombre de huit.

1 Galilée, *Leçons sur l'enfer de Dante*, trad. Lucette Degryse, Fayard, Paris, 2008, pp.41-43.

2 « Donc, cette immense caverne est divisée en huit niveaux qui diffèrent entre eux par leur éloignement du centre plus ou moins grand », ibid., p.43.

Voici la question que nous voudrions soulever : les deux mondes, terrestre et souterrain, ne sont-ils pas physiquement *uns*, dans la mesure où l'Enfer est un cône creusé à même la Terre ? Dit autrement, par-delà la frontière symbolique qui sépare le monde des vivants de celui des morts, l'Enfer de Dante, lu par Galilée, n'est-il pas, physiquement, une partie du monde terrestre ? Dit autrement encore, Galilée n'effectue-t-il pas une assimilation et une unification des deux mondes comme s'effectue, dans la période qui nous intéresse l'assimilation et l'unification des mondes sublunaire et supralunaire ?

Quantifier l'enfer

Comme nous l'avons dit, Galilée se propose d'arbitrer le conflit entre Manetti (auquel il consacre la première leçon) et Vellutello concernant la taille de l'Enfer selon Dante. C'est en effet cette question de grandeur qui est au cœur du désaccord, « étant donné que Vellutello lui attribue moins de la millième partie de la taille que lui attribue Manetti »[1]. Nous voudrions montrer que l'étude mathématique de l'Enfer constitue, non pas une préfiguration[2], mais le dispositif d'un traitement d'une question que l'on retrouve dans la façon dont sont étudiées les nouveautés célestes du début des années 1610.

Ce qui est notable dans la manière dont Galilée étudie cette cavité, c'est tout d'abord la réduction de l'étude à un problème de proportions – *proportionnalité* que nous pouvons entendre dans un double sens :

1 Galilée, *Leçons sur l'enfer de Dante*, *op.cit.*, p.80.

2 J.M. Lévy-Leblond met en garde, dans son commentaire de cette œuvre, contre la tentative de rapprocher par trop ce texte de jeunesse des écrits cosmologiques ultérieurs ; in Galilée, *Leçons sur l'enfer de Dante*, op.cit.

– D'abord, il cherche à établir les dimensions, en l'occurrence la *taille* et le *volume* de la cavité infernale ;

– Ensuite, proportionnalité dans le sens où les considérations quantitatives, les considérations de volume, se font toujours proportionnellement à autre chose, c'est-à-dire, de fait, non pas en valeur absolue mais toujours *relativement* à une autre grandeur considérée comme référence.

Galilée, qui figure l'Enfer de Dante comme une cavité conique, réalise ses calculs à l'aide des démonstrations d'Archimède dans le *De sphaero et cylindro* : c'est ce qu'il écrit dans la première leçon[1]. Le premier calcul qu'il propose dans ce texte indique clairement que son objet prioritaire est, non pas de donner une mesure *absolue*, mais de permettre de se représenter le volume de l'Enfer *relativement* à celui de la Terre : « nous trouverons que l'espace de l'Enfer occupe un peu moins que l'une des quatorze parties de tout l'agrégat »[2]. Et la relativité de l'expression du volume infernal se redouble d'un raisonnement fictif : voici ce qu'écrit Galilée, immédiatement après avoir avancé le *ratio* 1/14 : « Je dis cela même si cet espace arrivait jusqu'à la surface de la Terre, ce qu'il ne fait pas ». En effet, la cavité est fermée par une voûte, qui n'est pas sans épaisseur – qui doit même être suffisamment épaisse pour que, à la manière d'un dôme ou d'une voûte d'église, elle supporte le poids de la surface terrestre. Galilée cherche donc à exprimer la surface *maximale* que l'Enfer *aurait* dans l'hypothèse fausse, et la pire des hypothèses (l'Enfer serait juste au-dessous de la Terre, sans paroi épaisse pour séparer ce monde de celui des vivants), où il aurait la hauteur maximale sous la voûte.

1 *Ibid*., p.44.
2 *Ibid*., p.44.

Le deuxième élément qu'il nous paraît important de noter est que la *forme* de l'Enfer est connue avant que ne soit connue sa *constitution*, justifiant la primauté du raisonnement géométrique sur les considérations physiques : « nous trouvons d'abord la forme, et en deuxième le lieu »[1] ; c'est seulement après que les différentes strates, les « gradins », sont connus. À la différence donc des études que propose Galilée, dans les lettres de 1612 et dans le *Dialogo*, qui proposent une description de la constitution du domaine céleste et de l'univers, les leçons de 1585 laissent en dehors de leur questionnement le problème de la constitution du monde infernal : la quantification s'occupe des formes et des volumes, au poète est laissé le soin de remplir les gradins de leurs constituants, de leurs hôtes, etc.

De plus, dans la description de Dante, la Terre est creusée, il y a en son sein un trou qui abolit la parfaite répartition de la masse : la Terre n'est ainsi pas physiquement homogène et, comme le note Lévy-Leblond, ce fait remet en cause la cohérence physique du monde ainsi décrit. En effet, « une Terre largement évidée par l'Enfer conique verrait son centre d'inertie déplacé : il ne coïnciderait plus avec le centre géométrique du globe[2] » : le centre d'inertie serait décalé selon ses propres calculs, d'environ 200 kilomètres. La description que fait Galilée de ce cône n'est donc pas compatible avec la localisation du centre du globe terrestre, qui est, comme nous l'avons déjà vu, le centre de gravité du globe lui-même. Quelle conclusion tirer de cette incohérence physique ? On peut à première vue considérer qu'il s'agit là d'une erreur qui invalide l'exposé de Galilée ; mais on peut aussi considérer, sans éliminer la difficulté posée par cette incohérence-là, que celle-ci se comprend dans le cadre d'une forme d'agnosticisme physique préalable au traitement géométrique de la question considérée. Le processus épistémique à l'œuvre dans ces leçons ne relève donc pas d'une *mathématisation*, au sens où le traitement mathématique serait la

1 Galilée, *Leçons sur l'enfer de Dante, op.cit.*, p.43.
2 *Ibid.*, p.159.

condition et le fondement d'une connaissance physique. L'Enfer n'est pas à strictement parler écrit en langage mathématique, il l'est dans le livre de Dante écrit en langage poétique, symbolique.

Mais cette délégation au poète de la question de la constitution de l'Enfer s'accompagne en réalité d'un présupposé, qui est similaire à celui qui permet au raisonnement analogique de fonctionner lorsque Galilée s'intéresse à la nature des cieux. L'usage du langage géométrique présuppose en effet une homogénéité entre monde terrestre et monde souterrain ; l'imbrication poétique de l'Enfer au cœur de la Terre trouve sous la plume de Galilée la forme de l'inclusion des deux mondes dans un même espace de quantification et de mesure. Cette unification par la mise sous une mesure commune constitue donc une forme sous-jacente à l'unification physique. Nous pourrions dire, à la limite, que Galilée pose une symétrie entre Terre et Enfer, si l'on entend la symétrie non pas au sens mathématique, mais dans le sens étymologique que nous avons défini précédemment de l'existence d'une *commune mesure* entre les différents éléments d'un ensemble.

Mathématiser l'Enfer ?

La tentative de Galilée s'inscrit, à sa manière, dans la tradition des mathématiques mixtes, tradition à laquelle Galilée s'est lui-même plus ou moins explicitement affilié, notamment dans les *Discorsi*[1]. L'originalité de l'œuvre résiderait en ce sens moins dans

1 Là-dessus, voir De Gandt, F., *Husserl et Galilée, Sur la crise des sciences européennes*, Bibliothèque des textes philosophiques, Vrin, Paris, pp.118-125.

l'idée même d'appliquer des résultats obtenus pas le raisonnement mathématique à des choses non mathématiques, que dans le type d'objet choisi – non pas les objets traditionnels des mathématiques mixtes (sciences parmi lesquelles on range entre autres l'optique, l'astronomie, la mécanique) mais un objet imaginaire, un matériau poétique et fantastique ; le type de raisonnement qu'il met en œuvre dans les leçons s'apparente à celui de la perspective.

Mais la spécificité de son objet n'altère pas la filiation des *Leçons* avec les sciences mixtes antiques et médiévales. En effet, l'objet de certaines d'entre elles possédait une réalité qui échappait au mathématicien, soit que celle-ci ne soit pas matériellement attestable, comme les sons de la musique et les rayons visuels de l'optique, soit qu'elle échappe, par sa dignité, à toute saisie par le mathématicien[1].

La proximité de la démarche de Galilée avec les sciences mixtes ne se limite pas à ce texte de 1585, mais, comme l'a noté François de Gandt, la mathématisation de la physique peut se lire comme la réalisation de « l'unité de la vulgaire science des machines avec l'honorable astronomie »[2]. Cette unification ne constitue pas le remplacement d'un monde réel par un monde d'idées ; elle est la condition de possibilité de toute connaissance d'une partie du monde, dans la mesure où elle pose l'unité sur le fonds de laquelle tout objet de connaissance existe, non pas d'abord comme élément hétérogène aux autres éléments, mais comme partie d'un système idéalement constitué.

Cette lecture des deux leçons de 1585 nous montre donc que le traitement quantitatif d'un objet, que celui-ci provienne de l'expérience (monde vécu) ou de la poésie (monde

1 Voir encore F. de Gandt, *op. cit.*, p.124.
2 *Ibid.*, p.125.

fictif), n'est pas une substitution de l'objet concret par l'objet idéal ; il découle et il est rendu possible par l'inclusion de cet objet au sein d'un espace unique et topologiquement homogène. Cette inclusion est la condition d'inclusion de la connaissance qu'il est possible d'en avoir au sein d'un système, c'est-à-dire la condition de sa liaison nécessaire avec les autres connaissances.

Ceci étant, la lecture de ces leçons nous invite par ailleurs à mesurer ce qui sépare le traitement quantitatif de l'Enfer dans ces leçons d'une mathématisation à proprement parler ; et pour cela, nous pouvons mettre en regard le geste qu'elles accomplissent avec les éléments les plus essentiels de ce qui constituera la mathématisation, que Galilée opérera dans la science du mouvement, en particulier la géométrisation du mouvement des graves.

La géométrisation du mouvement présupposait l'applicabilité au mouvement de l'analyse géométrique ; deux exigences cardinales devaient être satisfaites pour cela, que M. Clavelin a formellement identifiées[1] :

1) Il convient de procéder déductivement, en partant de définitions et d'axiomes à partir desquels pourront être développées l'ensemble des étapes nécessaires à cette géométrisation. Il est clair que ce premier trait est absent des *Leçons* sur l'Enfer, et que l'absence d'un système déductif fait que l'on est encore loin, à ce moment-là, d'une véritable *mathématisation.*

1 Voir M. Clavelin, « La géométrisation galiléenne du mouvement des graves », in *Galilée, Cosmologie et science du mouvement,* CNRS Editions, Paris, 2016, p.94.

2) Il faut montrer que les grandeurs considérées peuvent à bon droit être saisies dans des rapports de nature géométrique : ici, en l'occurrence, il s'agit de s'assurer de la possibilité de comprendre, au sens étymologique, des quantités d'espace et des quantités de temps dans des rapports.

Autrement dit, une véritable géométrisation du mouvement ne pourra se faire que s'il est possible de poser des rapports d'égalité entre différents rapports A/B, C/D, etc, dans lesquels, par exemple, A et B sont des quantités d'espace et C et D sont des quantités de temps.

C'est la possibilité d'une telle mise en rapport que présuppose le Théorème I des *Discours* de 1638 :

> *Si un mobile animé d'un mouvement uniforme parcourt, avec une même vitesse, deux distances, les temps des mouvements seront entre eux comme les distances parcourues.*[1]

Nous proposons de lire ici, dans l'établissement d'une analogie de rapports entre des éléments qui ne sont pas, comme tels, de même nature – puisque le temps, contrairement à l'espace, n'est pas une grandeur géométrique[2], une forme complètement accomplie de ce geste que nous avons tenté de mettre en évidence, dans les observations sur les taches, mais également dans les *Leçons* sur l'Enfer : celui de la position d'une homogénéité qui permet la mise en rapport d'éléments distincts. La possibilité d'analogie entre des rapports, ou, dit dans les termes de Galilée, la possibilité que des grandeurs soient dites être en même

1 *Discours sur deux sciences nouvelles*, OG ,VIII, p.192.

2 Clavelin, M., *Galilée, Cosmologie et science du mouvement,* op.cit., p.95.

raison, présuppose, à titre de condition, une homogénéité entre les grandeurs, une commune mesure entre des grandeurs hétérogènes – en ce qui concerne la géométrisation du mouvement : entre des grandeurs qui ne sont pas toutes, comme telles, géométriques.

Ce geste de position d'un espace d'analogie, de mise sous une commune mesure de rapport, – dit autrement : ce geste analogique, qui permet d'établir des rapports entre des rapports –, nous avons montré qu'il était essentiel à la *systématisation*. Nous le retrouvons à la fois dans les écrits qui ont une portée proprement cosmologique, et dans les écrits qui sont tout à fait détachés de la question cosmologique – ce qui est le cas de ceux qui procèdent à la géométrisation du mouvement, dans la mesure où cette dernière n'est pas tributaire de l'adoption de tel ou tel modèle cosmologique.

C. Remarques finales

Empirisme et systématicité

Au cours de la première journée, alors que Simplicio et Sagredo se disputent concernant la nature des corps célestes, Salviati interrompt la discussion et pose, presque en passant, une règle fondamentale de sa méthode afin d'éviter de « naviguer ainsi sans boussole, sans étoiles, sans rames et sans gouvernail »[1] . Pour se prémunir de tout naufrage, sinon de toute errance, Galilée préconise de se détourner, momentanément, des considérations générales, en l'occurrence celles qui portent sur le mouvement et la nature des corps, et d'en arriver « aux démonstrations, observations et expériences

1 Galilée, *Dialogues et lettres choisies*, Hermann, p.147.

particulières »[1]. Le principe méthodologique est donc le suivant : on commence par les observations (entre autres celles d'Aristote, de Ptolémée, et de Galilée lui-même), pour en arriver finalement à ce qu'il faut démontrer : l'identité de nature entre la Terre et tous les « corps naturels mobiles d'un mouvement circulaire »[2].

Résumons donc ce que préconise Galilée : il faut se garder des spéculations sur la nature, et tourner son regard vers l'observation. L'attention portée à ces dernières doit permettre de statuer sur la nature (celle des corps, celle du mouvement) ; la méthode de Galilée ne s'oppose donc pas, quant à son objet, à la méthode spéculative, mais bien plutôt elle propose une voie sûre pour parvenir aux conclusions auxquelles le raisonnement spéculatif conduit de manière incertaine et hasardeuse. Ceci appelle deux séries de remarques :

Il y a tout d'abord, et cela a été souvent remarqué, une part de stratégie presque rhétorique dans cet appel à l'expérience ; il s'agit de se montrer meilleur aristotélicien que l'interlocuteur péripatéticien et de lui rappeler que c'est d'Aristote lui-même qu'il tire cette exigence de se fier d'abord à l'expérience sensible des choses particulières, qu'à « tout ce que nous peut suggérer la raison humaine »[3]. Galilée ne répugne d'ailleurs pas à dire, quitte à s'aventurer au-delà de ce dont il peut avoir la certitude, que s'il avait disposé des mêmes données observationnelles – c'est-à-dire s'il avait eu une lunette – Aristote aurait produit les mêmes conclusions que lui.

Ensuite, et cela nous intéresse davantage ici, ce n'est que très superficiellement que le geste galiléen consiste en un appel à l'expérience. Si la complexité, et les paradoxes, de l'empirisme galiléen ont été notés et étudiés, nous voudrions insister sur un élément clef

1 *Ibid*., p.147.
2 *Ibid*., p.147.
3 *Ibid*., p.150.

de la compréhension de cette méthode ; que l'expérience sensible soit première dans l'ordre de la recherche ne signifie pas qu'elle soit première dans l'ordre de la preuve. Et ce malgré l'insistance de Simplicio, tout au long de cette première journée, à donner toute primauté à l'*a posteriori* sur l'*a priori* : quelques lignes plus loin, afin de faire taire non seulement les spéculations de Simplicio mais aussi de s'imposer comme le véritable héritier des figures tutélaires de la science antique, Salviati insiste, en caricaturant, sur le primat de l'empirie chez Pythagore et chez Aristote, et affirme que le Stagirite plaçait l'expérience « au-dessus de tout discours »[1].

Mais ce qui paraît plus intéressant, c'est que Galilée, en cet endroit, semble esquisser une distinction entre une logique de la *découverte* et une logique de *l'explication*, c'est-à-dire entre la manière dont un résultat parvient à l'esprit du savant et la manière dont ce dernier en établit la vérité[2]. Dit autrement, les motifs pour lesquels un savant adhère à une théorie ne coïncident pas avec les raisons qui rendent cette théorie vraie.

Il nous semble que la systématicité du monde constitue l'horizon dans lequel ce hiatus trouve sa résolution. Si au moment où Galilée travaille sur les nouveautés célestes, et compte tenu des données observationnelles disponibles (phénomènes célestes soumis au devenir) ou absentes (mesure d'une parallaxe des fixes), l'adoption du système copernicien s'impose alors même que la preuve observationnelle cruciale fait défaut, c'est que le monde copernicien est un monde *systématique* dans lequel il n'existe aucun jeu possible entre les observations et les calculs, entre les phénomènes et les hypothèses : la certitude de la vérité du copernicianisme, en l'absence d'une preuve observationnelle du mouvement de la Terre, repose sur la certitude que le phénomène est conforme à ce qui peut être déduit de

1 *Ibid*., p.155.

2 La pertinence de cette distinction, empruntée à la philosophie des sciences contemporaines, a été fort bien montrée par Philippe Hamou, in Galilée, *Ecrits copernicien*s, Le Livre de Poche, 2004, pp.109-110.

l'hypothèse. Là réside la différence essentielle avec l'astronomie copernicienne, dans lequel l'ajustement mutuel des calculs et des observations était la règle. L'empirisme de Galilée ne peut donc se comprendre en dehors de l'horizon de systématisation dans lequel le copernicianisme a placé l'astronomie et la philosophie naturelle.

Soleil et systématicité

Au moment où Galilée réalise ses observations, cette systématisation n'est pas achevée ; notamment, l'unification du système compris comme système des planètes et du système compris comme constitution des parties de l'univers n'est pas réalisée. Mais il est un objet qui incarne cette unité en train de se réaliser : le Soleil.

Quelle est la nature exacte du lien entre la localisation des taches et leur nature, leur composition ? Pour le lecteur aristotélicien, il est impossible de dissocier la question de la composition d'un corps de celle de sa localisation. Comme nous l'avons vu avec l'exemple des comètes, la localisation aristotélicienne de ces dernières dans le domaine sublunaire était intrinsèquement liée à leur constitution. Pour Galilée en revanche, les deux questions, celle de la composition matérielle et celle de la localisation, semblent distinctes – non pas réellement distinctes, dans la mesure où leur localisation à la surface du Soleil constitue un indice de ce qu'elles sont composées de matière solaire, mais distinctes dans l'économie argumentative des lettres de 1612.

Galilée le note lui-même, lorsque, d'un ton légèrement sarcastique, il oppose « les esprits spéculatifs et libres, bien conscients de l'absence (et même de l'impossibilité) de toute démonstration efficace pour établir que les parties du monde extérieures à l'orbe

lunaire échappent aux mutations et aux altérations » et « les autres, qui voudraient une substance céleste inaltérable »[1] : les premiers s'en remette sans « répugnance » à ce qu'ils observent, c'est-à-dire à des taches qui se produisent et se dissolvent à la surface du Soleil : on pourrait penser, à la lecture de cette phrase, qu'il y a un lien indissociable entre *composition* et *localisation*, et que l'opposition avec les aristotéliciens se cristallise sur la localisation de ces taches sur le disque solaire. Et toute l'énergie déployée par Scheiner, dans ses lettres, pour faire un sort à cette hypothèse confirme cela : ne va-t-il pas, dans la troisième des lettres à Welser, celle du 26 décembre, jusqu'à se féliciter d'avoir « [libéré] tout à fait le corps solaire de l'injure des taches » ? Mais aux yeux de Galilée, cette prouesse, en plus d'être fictive, est parfaitement inutile. En effet, et c'est le cas pour Scheiner, quand bien même ils refusent de les localiser à la surface du Soleil, les aristotéliciens sérieux sont contraints « par des expériences solides et évidentes »[2], d'admettre la localisation céleste de ces mêmes tâches ; et l'essentiel pour Galilée est là : « ceux-là n'augmenteront guère leur gène, selon moi, en les situant au contact du Soleil plutôt qu'en un autre lieu »[3].

Cette dernière remarque appelle un point de commentaire : certes Galilée s'emploie, dans les trois lettres à Welser, à réfuter l'hypothèse selon laquelle ces taches seraient des astres situés dans le ciel solaire et dotés d'un mouvement propre autour du Soleil. Mais du point de vue de la nature corruptible de la matière céleste, ces deux hypothèses (localisation à la surface du Soleil ou en orbite autour du Soleil) sont équivalentes. Galilée prend d'ailleurs bien soin, nous semble-t-il, de ne pas opposer outre mesure la nature des taches de la nature des planètes. Bien davantage, l'analogie entre les taches et les planètes est un élément essentiel, en ce qu'elle permet d'inférer la rotation du Soleil sur lui-même,

1 Galilée, in Clavelin, M., *Galilée copernicien*, Bibliothèque de l'évolution de l'humanité, Albin Michel, Paris, 2004, p.260.

2 *Ibid*., p.260.

3 *Ibid*, p.260.

et, partant, d'avoir au centre du système le mouvement qui est au principe du mouvement commun à toutes les parties du système, le mouvement circumsolaire. En même temps, donc, que la corruptibilité de la matière solaire, le mouvement du Soleil sur lui-même paraît être un point décisif que l'étude des taches solaires apporte au copernicianisme : en effet, la centralité et la rotation du Soleil sont les éléments unificateurs de l'ensemble des parties.

Le Soleil est donc à la charnière entre les deux acceptions de la systématicité que M.-P. Lerner met au jour dans son article[1] : d'une part, le système au sens cosmologique, ou la description complète des parties constitutives du monde, d'autre part le système au sens astronomique, c'est-à-dire la description qui fournit non pas la constitution des parties mais la structure de l'ensemble, et les relations réciproques entre les parties. Ces deux conceptions du système sont telles qu'elles ne sont pas reconductibles à l'unité : la cosmologie nouvelle, produite par l'astronomie copernicienne, pourrait tout à fait être compatible avec un système astronomique non-copernicien. Le modèle de Tycho Brahe, là encore, offre le parfait exemple d'un système cosmologiquement copernicien et astronomiquement anti-copernicien. Le Soleil est, en quelque sorte, l'unité systématique focale de l'astronomie et de la cosmologie.

Le Soleil offre ainsi, dans la lunette, une présentation sensible de l'unité idéale du système du monde.

Systématisation et idéalisation

1 Lerner, M.-P., « The Origin and Meaning of 'World System' », Journal for the History of Astronomy, vol.36, novembre 2005.

L'étude galiléenne des taches solaires unifie la nature, cela est incontestable. Cette unification ne repose pas uniquement, prioritairement même, sur les données d'observations. En un sens, les données d'observation ont pour effet principal de pluraliser, de diversifier, d'hétérogénéiser les choses les unes par rapport aux autres ; l'effet de l'usage du télescope est bien davantage une démultiplication du visible qu'une uniformisation des choses vues. Et dans cet univers-là, les analogies ont une fonction épistémologique bien davantage qu'elles ne statuent sur l'identité de nature des choses mises en analogie.

Dès lors, l'unification permise par l'étude des nouveautés célestes relève-t-elle d'une substitution ? Il se pourrait que ce qui est traditionnellement présenté comme le moment de l'unification physique du ciel et de la Terre soit le moment par excellence où ciel et Terre ont été éliminés dans leur diversité concrète pour mettre à la place une nature unique, fictive, que loin de ramener la science à la réalité, l'observation télescopique de la surface de la Lune, et surtout des taches solaires, ait conduit à une idéalité abstraite. Ce geste a toutes les caractéristiques d'une substitution : Galilée saisirait l'occasion de quelques phénomènes célestes assimilables, de loin, à des phénomènes terrestres, pour mettre à la place du *cosmos* des grecs harmonieusement organisé en deux zones hétérogènes une nature unifiée et géométrisée. Husserl proposerait en ce sens le meilleur récit possible de cet épisode de l'histoire des sciences. La séquence qui commence avec le *Sidereus* et s'achève avec les lettres de 1612 serait exemplaire d'une science qui part de l'observation dans les deux sens du terme *partir de* : elle commence avec l'observation, et la tentative illusoire de restituer sans aucun présupposé les choses *vues* dans le ciel et s'achève avec la promotion d'une physique dont l'objet est assumé n'être pas connu dans son essence mais connaissable dans ses propriétés. Cependant, nous avons pu voir que la systématisation de l'astronomie copernicienne à l'épreuve des nouveautés célestes, telle que la réalise Galilée,

incarne l'idéal d'une idéalisation non-substituante. Plus exactement, la véritable substitution est celle d'une conception de l'astronomie fondée sur l'ajustement réciproque des hypothèses et des phénomènes, à une conception fondée sur la nécessité des phénomènes par leur inscription dans un monde pensé comme système. L'unification du ciel et de la Terre en un espace topologique homogène n'est donc pas le résultat d'une élimination du monde vécu à un monde d'idéalités, mais de la substitution d'un *idéal de connaissance* à un autre. La mathématisation de la nature et les transformations de l'expérience par l'usage des instruments sont les formes les plus saillantes de la réalisation de cet *idéal de systématicité* du monde et de la connaissance.

CONCLUSION

Nous avons voulu montrer que l'astronomie copernicienne a affronté le spectre du scepticisme – spectre qui a pris, contre elle, contre ses conclusions et ses prétentions à la vérité, contre son triomphe et, en fait son évidence, la forme élégante et en apparence indépassable de l'équivalence des hypothèses. Cette figure phénoméniste, instrumentaliste, du scepticisme, avait pour elle un fait observationnel que l'on pensait de nature à réfuter l'hypothèse copernicienne : l'absence de parallaxe des fixes. Il aurait suffi que cette parallaxe fût observée pour que l'affaire soit réglée. Mais cela n'a pas été le cas.

Alors, faute de preuve, les astronomes dont nous avons parlé ont multiplié les efforts pour hisser l'hypothèse copernicienne au-dessus de toutes les autres, en montrant que, parmi tous les systèmes du monde disponibles, seul le système copernicien était vraiment systématique. Ces efforts ont eu pour effet de produire un nouvel idéal de connaissance, que nous avons tenté de décrire, et donc nous avons cherché les traces essentiellement chez Copernic lui-même, puis chez Galilée et chez Kepler.

Production de savoir et production d'un idéal de savoir nous ont, de ce fait, paru indissociables.

Pour finir, nous voudrions revenir à la question que nous avions posée au tout début de notre introduction – la question de la réalité de la chose connue. La phrase de Descartes que nous avions citée en introduction semblait prêter à une interprétation qui oppose la chose réelle et la chose connue – une interprétation selon laquelle c'est en déréalisant la *chose* que l'on produit un *objet* connu. Il y a donc une substitution, celle d'une chose réelle par un objet fictif – telle est l'interprétation phénoméniste des hypothèses. D'un même

geste, condamnant l'expérience sensible comme fausse, la science moderne mettrait en lieu et place du monde vécu un monde d'idéalités mathématiques : il y aurait donc une deuxième substitution à l'œuvre, celle d'un monde faux qui apparaît par un monde vrai qui n'apparaît pas : la multiplicité mathématique. Cette deuxième substitution, substituant des idées à des vécus, a été décrite par Husserl comme une idéalisation. La science moderne se laisserait ainsi décrire par ce double geste : déréalisation, idéalisation – les deux gestes se soutenant et se conditionnant l'un et l'autres : idéaliser c'est déréaliser car c'est mettre un être de représentation à la place de la chose réelle ; déréaliser c'est idéaliser, c'est dépouiller la chose de tout ce qui semble être en elle (la multiplicité de ses qualités) pour y projeter quelque chose qui trouve sa source nulle part ailleurs que dans l'esprit humain. Le malentendu – celui dont Husserl fait reproche à la science moderne – réside dans le fait que le savant n'aurait pas conscience que l'idéalisation est une déréalisation, et qu'il présenterait à tort le monde de l'expérience sensible comme irréel (et la connaissance sensible comme fausse) et le monde des idéalités mathématiques comme le monde réel (et la connaissance mathématique comme vraie).

Mais cette vision puissante du rapport de la science moderne à ses objets peut être nuancée, très modestement, nous semble-t-il, au terme du parcours que nous venons d'effectuer. En effet, la *systématisation* nous paraît être l'indice que l'idéalisation n'est pas une déréalisation, et que le réalisme en astronomie n'est pas comme le lui reprochait Husserl, *illogique*. Pour quelles raisons ? Tout d'abord, la systématisation est bien une idéalisation : un système est construit par l'esprit. La mise en rapport totale des éléments d'un ensemble entre eux dans la construction du système produit bien un type de connaissance dans lequel ce qui est connu est le produit d'une activité synthétique de l'esprit (du reste, les idéalités dont il est question dans cette idéalisation son bien des

constructions, des synthèses, et non des essences immuables existant par elles-mêmes en dehors de toute activité de l'esprit humain). Mais comme nous allons tenter de le penser, cette idéalisation par systématisation n'est pas une déréalisation.

La construction d'une hypothèse astronomique se fait sous une double contrainte : d'une part la contrainte des observations : il n'est pas d'hypothèse astronomique qui ne parte des observations et n'y revienne par le calcul. Certes il y a plusieurs moyens de rendre raison des observations, c'est-à-à dire plusieurs hypothèses à même de produire des calculs rendant raisons des mouvements apparents. Mais cette nécessaire soumission aux calculs se fait sous le joug d'une autre nécessité : celle que l'hypothèse fournisse une explication systématique des mouvements planétaires, c'est-à-dire une explication qui les explique tous ensemble et non pas séparément les uns avec les autres, et qui donne la raison pour laquelle les astres se meuvent de cette manière et non pas de telle autre. Sous cette exigence-là, on parvient à établir une liaison entre les mouvements célestes et une explication de ce qui les produit, telle qu'on ne peut le faire d'aucune autre manière. La *nécessité* de l'explication atteste qu'elle se fait sous la *contrainte* de quelque chose réel, et qu'elle n'a pas pour objet une pure apparence que l'on pourrait sauver de mille et une manières. L'exigence de systématicité est la forme que prend, dans la construction des hypothèses la contrainte du réel.

Nous pensons donc que la connaissance ne présuppose pas une déréalisation de la chose connue, à condition bien sûr que la réalité ne soit pas définie de façon naïve comme ce qui serait extérieur à la pensée, mais comme ce dont l'existence est attestée par une pensée correctement dirigée, qui constitue du coup un critère distinctif de ce qui est réel et de ce qui ne l'est pas. Est réel ce qui fait l'objet d'une pensée véritable, c'est-à-dire pour le faiseur d'hypothèses ce qui fait l'objet d'une connaissance systématique, telle qu'il n'y

en a pas d'autre possible. L'explication systématique des mouvements planétaires permet de déterminer ce qui est réel et ce qui est apparent, en établissant un lien de causalité entre les dispositions et mouvements réels, et la manière dont ils nous apparaissent (comme nous l'avons vu en réfléchissant sur la parallaxe). L'équivalence des hypothèses prononce un refus de se prononcer sur la réalité (c'est une *épochè*), mais elle ne donne pas non plus à l'astronome les moyens de produire un savoir sur les apparences, car elle s'interdit de les traiter comme les effets de dispositions et de mouvement réels des astres d'un côté, et de la position de l'observateur de l'autre. L'hypothèse non systématique ne connaît pas les apparences, elle ne les sauve pas, parce qu'elle ne connaît pas les rapports réels qui les produisent.

Le monde décrit par l'hypothèse astronomique constituée en système – l'hypothèse copernicienne - est réel.

BIBLIOGRAPHIE

I. Sources primaires

Bellarmin, R.,

« Lettre à Foscarini du 12 avril 1615 », tr.fr. G. de Santillana in *Le procès de Galilée*, Paris, Le Club français du livre, 1955, pp. 119-121.

Copernic, N.,

Commentariolus, in *Introductions à l'astronomie de Copernic*, éd. par Henri Hugonnard-Roche, Edward Rosen et Jean-Pierre Verdet, Paris, Blanchard, 1975.

De revolutionibus orbium caelestium, éd. par Franz Zeller et Carl Zeller, Munich, R. Oldenburg, coll. « Nikolaus Kopernikus Gesamtausgabe», 1949.

De revolutionibus orbium caelestium. Des révolutions des orbes célestes, éd., trad, et notes par Michel-Pierre Lerner, Alain-Philippe Segonds et Jean-Pierre Verdet, avec la collab. de Concetta Luna, Isabelle Pantin et Denis Savoie, Paris, Les Belles Lettres, 2015.

Descartes, R.,

Œuvres de Descartes, éditées par Charles Adam et Paul Tannery, XI vol. (1897-1909), Paris, Vrin, 1996.

Œuvres philosophiques, 3 vol., textes établis, présentés et annotés par F. Alquié, Paris, Garnier, 1973.

Galilei., G.,

Opere di Galileo Galilei, éd. par Antonio Favaro, Florence, Edizione nazionale, 1890-1909.

Considérations sur l'opinion copernicienne (1615), trad. par Maurice Clavelin, Paris, Albin Michel, 2004.

L'Essayeur de Galilée, éd. par Christiane Chauviré, Paris, Les Belles Lettres (Annales de l'Université de Besançon), 1980.

Galilée. Écrits copermiciens, éd. par Philippe Hamou et Marta Spranzi, Le Livre de Poche, 2004.

Galilée copernicien. Le premier combat (1610-1616), éd. par Maurice Clavelin (Bibliothèque de l'Évolution de l'Humanité), Paris, Albin Michel, 2004.

Maestlin, M.,

Observatio et demonstratio cometae aetherae qui anno 1577 et 1578 constitutus in sphaera Veneris apparuit, Georg Gruppenbach, Tubingae, 1578.

Rheticus, J.,

Narratio prima, in *Introductions à l'astronomie de Copernic*, éd. par Henri Hugonnard-Roche, Edward Rosen et Jean-Pierre Verdet, Paris, Blanchard, 1975.

Rothmann, Ch.,

« Descriptio accurata cometae anni 1585 », in Snell, W., *Descriptio cometae qui anno 1618 mense novembri primum effulsit*, ex Officina Elzeviriana, Lugdini Batavorum 1619, pp. 69-156.

Tycho Brahe,

Tychonis Brahe Dani Opera Omnia, éd. par J.L.E. Dreyer, Toronto, University of Toronto Press, 1913.

De stella nova, tr.fr. in Verdet, J.-P., *Astronomie et astrophysique*, coll. Textes essentiels, Paris, Larousse, 1993.

II. Commentaires classiques

Cassirer, E.,

Le problème de la connaissance dans la philosophie et la science des Temps modernes. I. *De Nicolas de Cues à Bayle.* Traduit de l'allemand par René Fréreux. Préface par Massimo Ferrari (traduite de l'italien par Thomas Loisel), Paris, Editions du Cerf, 2004.

Substance et fonction (1910), tr.fr. Pierre Caussat, Paris, Editions de Minuit (coll. Le sens commun), 1977.

Clavelin, M.

« Galilée et le refus de l'équivalence des hypothèses », in *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, tome 17, n°4, 1964, pp. 305-314.

« Le Dialogue ou la conversion rationnelle. A propos de la Première Journée » in Galluzzi, P. (éd.), *Novità celesti e crisi del sapere*, Giunti, Firenze 1984, pp. 17-29.

« Le copernicianisme padouan de Galilée », in *Galileo a Padova*, 1592-1610, Trieste, Lint, 1995, vol. IV : *Tribute to Galileo in Padua*, pp. 149-163.

« Galilée astronome philosophe », in J. Montesinos et C. Solis (éds.), *Largo Campo di filosofare : Eurosymposium Galileo*, 2001, pp. 19-39.

Duhem, P.,

Le Système du Monde, histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic (1906), t.I-X, Paris, Hermann, 1956-1958.

Sozein ta Phainomena, Sauver les Apparences ; sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée (1908), Paris, Vrin, 2003.

Koyre, A.,

La Révolution astronomique, *Copernic, Kepler, Borelli* (1961), Paris, Les Belles Lettres (coll. L'Âne d'Or), 2016.

« Le *De Motu gravium* de Galilée. De l'expérience imaginaire et de son abus », in A. Koyré, *Etudes d'histoire de la pensée scientifique*, Paris, Gallimard, Tel, 1973, pp. 224-271.

Pauli, W.,

Le Cas Kepler, tr. fr. Carlier, M. et Tondat, A., Paris, Albin Michel, 2002.

Simon, G.,

Structures de pensée et objets du savoir chez Kepler, Tomes I et II, Service de reproduction des thèses, Lille, Université de Lille III, 1979.

Kepler astronome astrologue, Paris, Gallimard, Bibliothèque des sciences humaines, 1979.

III. Etudes

Barker, P. , Goldstein, B.,

The Role of Comets in the Copernican Revolution, Oxford, Pergamon Press, 1988.

« Theological Foundations of Kepler's astronomy », *Osiris*, 16 (2001), pp.88-113.

Beltran Mari, A.,

Galileo, ciencia y religion, Barcelone, Ed. Paidos Iberica, 2001.

Bellis, D.,

« La fable du Monde chez Descartes », *Alliage*, n°65, 2009.

Beretta, F.,

« Giordano Bruno e l'Inquisizione romana. Considerazioni sul processo », *Bruniana & Campanelliana*, 7, 2001, pp. 15-49.

Galilée en procès, Galilée réhabilité ? (dir.), Saint-Maurice, Editions Saint-Augustin, 2005.

Bianchi, L.,

« Urbain VIII, Galilée et la toute-puissance divine », in F. Beretta, éd., *Galilée en procès, Galilée réhabilité ?*, Saint-Maurice, Editions Saint-Augustin, 2005, pp. 67-90.

Boner, P., Granada, M.A., Rothman, A., (eds),

Change and Continuity in Early Modern Cosmology, Archimedes vol. 27, Dordrecht Heidelberg London New York, Springer, 2011.

Brague, R.,

La sagesse du monde. Histoire de l'expérience humaine de l'univers, Paris, Le Livre de Poche, 1999.

Bucciantini, M.,

Contro Galileo. Alle origini dell'"Affaire", Olschki, Firenze, 1995.

Galileo e Keplero. Filosofia, e cosmologia e teologia nell'Età della Controriforma, Torino 2003, tr.fr. *Galilée et Kepler, Philosophie, cosmologie et théologie à l'époque de la contre-réforme*, tr. Gérard Marino, coll. L'Âne d'or, Paris, Les Belles Lettres, 2008.

Chareix, F.

Le mythe Galilée, Paris, Puf, 2002.

Chevalley, C.,

« Kepler et Galilée dans la bataille du *Sidereus nuncius* (1610-1611) », in Galluzzi, P. (éd.), *Novita celesti e crisi del sapere*, Firenze, Giunti, 1984, pp. 167-175.

Dame, B.,

« Galilée et les taches solaires (1610-1613) » in Centre international de Synthèse, *Galilée, Aspects de sa vie et de son œuvre*, Paris, Presses Universitaires de France, 1968, pp. 186 sq.

De Gandt, F.,

Husserl et Galilée, Sur la crise des sciences européennes, Bibliothèque des textes philosophiques, Paris, Vrin, 2004.

De Pace, A.,

« Copernicus against a Rhetorical Approach to the Beauty of the Universe. The Influence of the Phaedo on the De revolutionibus », in E. Kessler et I. Maclean (éds.), *Res et verba in der Renaissance,* Wolfenbütteler Abhandlungen zue Renaissanceforschung, Wiesbaden, Harrassowitz Verlag, 2002, 77-115.

Del Prete, A.,

Universo infinito e pluralità dei mondi. Teorie cosmologiche in età moderna, Napoli, La Citta del Sole, 1998.

Dreyer, J. L. E.,

History of the Planetary Systems from Thales to Kepler, Cambridge, Cambridge University Press, 1906, rééd. : *History of Astronomy from Thales to Kepler*, New-York, Dover, 1953.

Tycho Brahe. A Picture of Scientific Life and Work in the Sixteenth Century (1890), New-York, Dover, 1980.

Duhem, P.,

Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void and the Plurality of Worlds, ed, and tr. R. Ariew; introd. S. L. Jaki, Chicago University Press, 1985.

Fabbri, N.,

Cosmologie e armonia in Kepler e Mersenne, Contrappunto a due voci sul tema dell'«Harmonice mundi», Biblioteca di «Nuncius», Firenze, Olschki, vol. 50, 2003.

Galluzzi, P.,

« Il tema dell'ordine in Galileo » in *Ordo. II° Colloquio Internazionale del Lessico Intelletuale Europeo. Atti a cura di M. Fattorie M. L. Bianchi*, 2 tomes, Roma, Edizioni dell'Ateneo, 1979, t.I, pp. 235-277.

Garber, D.,

Descartes' Metaphysical Physics, Chicago, Chicago University Press, 1992

Gingerich, O.,

An Annotated Census of Copernicus' De revolutionibus (*Nuremberg, 1543 and Basel, 1566)*, Leiden-Boston-Köln, Brill, 2002.

Gingerich, O., et Voelkel, J. R.,

« Tycho Brahe's Copernican Campaign », *Journal for the History of Astronomy*, 29, 1998, pp. 1-34.

Goffi, J.-Y., et Roux, S.,

« On the Very Idea of a Thought Experiment », in Ierodiakonou, K, Roux, S. (éds.) *Thought Expermients in Methodological and Historical Contexts*, Leiden, Boston, Brill, 2011, pp. 165-191.

Goldstein, B. R.

« Copernicus and the Origin of his Heliocentric System », *Journal for the History of Astronomy*, 33, 2002, pp.219-235.

Goldstein, B. R., Hon, G.

« Kepler's Move from Orbs to Orbits: Documenting a Revolutionary Scientific Concept », *Perspectives on Science*, 13, 2005, pp.74-111.

Granada, M. A.

« Il problema astronomico-cosmologico e le Sacre Scritture dopo Copernico : Christoph Rothmann e la 'teoria dell'accomodazione'», *Rivista di storia della filosofia*, 51, 1996, pp. 789-828.

« L'infinité de l'univers et la conception du système solaire chez Giordano Bruno », *Revue des sciences philosophiques et théologiques*, 82, 1998, pp. 243-275.

« Aristotle, Copernicus, Bruno : centrality, the principle of movement and the extension of the Universe », *Studies in History and Philosophy of Science*, 35, 2004, pp. 91-114.

« Kepler v. Roeslin on the Interpretation of Kepler's Nova: (1) 1604-1606, *Journal for the History of Astronomy*, 36, 2005, pp. 299-319.

« Did Tycho Eliminate the Celestial Spheres Before 1586? », *Journal for the History of Astronomy*, 37, 2006, pp. 125-145.

« The Defence of the movement of the Earth in Rothmann, Maestlin and Kepler: from Heavenly Geometry to Celestial Physics », dans M. Bucciantini, M. Camerota et S. Roux, eds., *Mechanics and Cosmology in the Medieval and Early Modern Period*, Firenze 2007, pp. 95-119.

«Michael Maestlin and the New Star of 1572 », *Journal for the History or Astronomy*, 38, 2007, pp. 99-124.

« Aristotle, Copernicus, Bruno: centrality, the principle of movement and the extension of the Universe », *Studies in History and Philosophy of Science*, Part A 35 (1), pp.91-114.

(ed.) *Novas y cometas entre 1572 y 1618, Revolucion cosmologica y renovacion politica y religiosa*, Barcelona, Universitat de Barcelona, Publicacions I Edicions, 2012.

Hamou, Ph.,

La mutation du visible. Essai sur la portée épistémologique des instruments d'optique au XVIIe siècle. Vol. 1, Du Sidereus nuncius de Galilée à la Dioptrique cartésienne, Villeneuve d'Ascq, Presses du Septentrion, 1999.

« Faire système du monde. Défis et apories d'une cosmologie copernicienne dans l'oeuvre de Galilée », *Les Etudes philosophiques*, 2018/2 (n°125), pp. 227-250.

Heidarzadeh, T.,

A history of physical theories of comets, from Aristotle to Whipple, New-York, Springer, 2008.

Helman, D.C.,

The Comet of 1577: Its Place in the History of Astronomy, Columbia, Columbia University Press, 1944.

Jardine, N.,

« The forging of modern realism : Clavius and Kepler against the sceptics », *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, Vol. 10, Issue 2, June 1979, pp. 141-173.

Jardine, N. et Segonds, A.,

« A Challenge to the Reader: Petrus Ramus on Astrologia without Hypotheses », in M. Feingold, J. S. Freedman et W. Rother (éds.), *The Influence of Petrus Ramus. Studies in Sixteenth and Seventeenth Philosophy and Sciences*, Basel, Schwabe Verlag, 2001, pp. 248-266.

« Tycho v. Ursus : The Buid-up to a Trial », Part 1 and 2, *Journal for the History of Astronomy*, 36, 2005, pp. 81-109 et pp. 125-165.

« Kepler as Castigator and Historian : His Preparatory Notes for Contra Ursum », *Journal for the History of Astronomy*, 37, 2006, pp. 257-297.

« The forging of modern realism: Clavius and Kepler against the sceptics », *Studies in History and Philosophy of Science Part A Volume 10*, Issue 2, June 1979, pp. 141-173.

The Birth of History and Philosophy of Science. Keplers' 'A Defense of Tychoo against Ursus' with Essays on its Provenance and Signifiance, Cambridge, Cambridge University Press, 1984.

La Guerre des astronomes. La querelle au sujet de l'origine du système géo-héliocentrique à la fin du XVI^e siècle, Paris, Les Belles Lettres (collection Science et Humanisme), 2008.

Jervis, Jane L.,

Cometary Theory in Fifteenth-Century Europe, New-York, Springer, 1985.

Jones Schofield, C.,

« Tychonic and Semi-Tychonic World Systems », in R. Taton et C. Wilson (éds.), *Planetary astronomy from the Renaissance to the rise of astrophysios*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989, pp. 33-44.

Lakatos, I.,

Histoire et méthodologie des sciences : Programmes de recherche et reconstruction rationnelle, trad. Catherine Malamoud et Jean-Fabien Spitz sous la dir. de Luce Giard, Bibliothèque d'histoire des sciences, Paris, Presses Universitaires de France, 1994.

Lerner, M.-P.,

« The Origin and Meaning of 'World System' », *Journal for the History of Astronomy*, vol.36, novembre 2005.

Le Monde des sphères, II, La Fin du cosmos classique, Paris, Les Belles Lettres (coll. L'Âne d'Or), 2008.

« Aux origines de la polémique anticopernicienne (II), Martin Luther, Andreas Osiander et Philipp Melanchthon », *Revue des sciences philosophiques et théologiques,* t.90, 2006/3, pp. 409 à 452.

Lombardie, A.,

Kepler : le musicien du ciel, Paris, Belin – « Pour la science », 2003.

Mehl, E.,

« De Copernic à Descartes : l'empyrée, la parallaxe stellaire et le mouvement de la Terre », *Revue des sciences philosophiques et théologiques*, 99, 2015/2, pp. 239-265.

Descartes et la fabrique du monde, Le problème cosmologique de Copernic à Descartes, Paris, Presses universitaires de France (coll. Epiméthée), 2019.

Kepler, La physique céleste, Autour de l'Astronomia Nova (1609), Paris, Les Belles Lettres, 2011.

Mosley, A. J.,

Bearing the Heavens : Tycho Brahe and the Astronomical Community of the Late Sixteenth Century, Cambridge, Cambridge University Press, 2007.

Pantin, I.,

« L'illustration des livres d'astronomie à la Renaissance : l'évolution d'une discipline à travers ses images », in F. Meroi et C. Pogliano (éds), *Immagini per conoscere. Dal Rinascimento alla Rivoluzione scientifica*, Firenze, Olschki, 2001, pp. 3-41.

« Kepler's Epitome : New Images for an Innovative Book », in Kusawa, S., Maclean, I.(dir.), *Transmitting Knowledge : Words, Images and Instruments in Early Modern Europe*, Oxford, Oxford University Press, 2006.

« Faux centres, vrais centres, centres multiples : la résistance au décentrement dans les débats des astronomes de la Renaissance », in Frédéric Tinguely (éd.), *La Renaissance décentrée*, Genève, Droz, 2008, pp. 15-32.

Rabouin, D.,

Mathesis Universalis ; L'idée d'une « Mathématique Universelle » d'Aristote à Descartes, Paris, Presses Universitaires de France, 2009.

Rashed, M.,

L'Héritage aristotélicien, Textes inédits de l'Antiquité, Paris, Les Belles Lettres (coll. Anagoge), 2016.

Redondi, P.,

« Science moderne et histoire des mentalités. La rencontre de Lucien Febvre, Robert Lenoble et Alexandre Koyré », *Revue de synthèse*, III. s., 1983, n° 111-112, pp. 309-330.

Galileo eretico (1987), tr.fr. *Galilée hérétique*, tr.fr. Monique Aymard, Gallimard, Paris 1985.

Regier, J.,

« "Qualis alio modo reperiri non potest." A Few Words on Copernican Necessity », in Rodolfo Garau & Pietro Omodeo (eds.), *Contingency and Natural Order in Early Modern Science*, *Boston Studies in the Philosophy and History of Science*, New-York, Springer, 2019, pp. 115-136.

Rosen, E.,

« Galileo's Mistatements about copernicus », *Isis*, 49, 1958, pp. 319-330.

Roux, S.,

« Le scepticisme et les hypothèses de la physique », *Revue de Synthèse*, 119, n° 2-3: *Histoire du scepticisme. De Sextus Empiricus à Richard Popkin*, 1998, pp. 211-255.

« Introduction : The Emergence of the Notion of Thought experiment », in Ierodiakonou, K, Roux, S. (éds.) *Thought Expermients in Methodological and Historical Contexts*, Leiden, Boston, Brill, 2011, pp. 1-33.

Sarton, G.,

« Query n°111 – Early Observations of the Sunspots ? », *Isis*, *37*, 1947, pp. 69-71.

Szczerciniarz, J.-J.,

La Terre immobile, Aristote, Ptolémée, Husserl, Paris, Presses Universitaires de France (coll. Science histoire et société), 2003.

Seidengart, J.,

Dieu, l'univers et la sphère infinie. Penser l'infinité cosmique à l'aube de la science classique, Paris, Albin Michel (Bibliothèque Idées), 2006.

Shea, W.,

Galileo's intellectual revolution : Middle Period (1610-1632), Londres, Macmillan, 1977, traduction française *La Révolution galiléenne*, Paris, Seuil, 1992.

Spranzi, M.,

Galilée. Le « Dialogue sur les deux grands systèmes du monde » : rhétorique, dialectique et démonstration, Paris, Presses Universitaires de France (coll. Philosophies), 2004.

Stephenson, B.,

Kepler's Physical Astronomy, Princeton, Princeton University Press, 1987.

Stoffel, J.-F.,

Le phénoménalisme problématique de Pierre Duhem, Bruxelles, Académie royale de Belgique, coll. Mémoires de la Classe des Lettres, 3e série, tome XXVII, 2002.

Tanona, S.,

« The anticipation of necessity : Kant on Kepler's Laws and universal gravitation », *Philosophy of science*, 67, 2000, pp. 421-443.

Van Helden, A.,

« Galileo and Scheiner on Sunspots : A Case Study in the Visual Language of Astronomy », Proceedings of the *American Philosophical Society*, 140 (3), sept. 1996, pp. 358-396.

Voelkel, J. R.,

The Composition of Kepler's "Astronomia nova", Princeton, Princeton University Press, 2001.

Westman, R. S.,

« Proof, poetics, and patronage : Copernicus's preface to *De revolutionibus* », in D. C. Lindberg et R. S. Westman (éds.), *Reappraisals of the Scientific Revolution*, Cambridge 1990, pp. 167-205.

Whiteside, D.T.,

« Keplerian Planetary Eggs, laid and unlaid, 1600-1605 », *Journal for the History of Astronomy*, 5, 1974, pp. 1-21.

Winkler, M.G.,Van Helden, A.,

« Representing the Heavens: Galileo and Visual Astronomy », *Isis*, 83 (2), juin 1992, pp. 195-217.

Pierre JEANDILLOU

Équivalence des hypothèses et système du monde

Copernic, Kepler, Galilée

Résumé

Nous partons pour cela d'une situation historique, ou plutôt d'un problème, tel qu'il s'est posé aux astronomes à partir du milieu du XVI^{e} siècle. L'astronomie copernicienne s'est à ce moment trouvée face à une alternative qui paraissait insoluble : d'un côté, elle s'est toujours affirmée comme une astronomie vraie, c'est-à-dire produisant avec l'hypothèse héliocentrique une description du monde réel. De l'autre côté, ce réalisme copernicien se heurtait à l'absence de preuve observationnelle : entre autres, la parallaxe annuelle des fixes, qu'aurait *dû* produire le mouvement de la Terre, demeurait inobservable, contraignant Copernic à concéder l'éloignement démesuré de la sphère des fixes. Cette situation, de laquelle nous partons, a été nommée « équivalence des hypothèses ».

La lecture que nous proposons de la révolution astronomique identifie les efforts et les effets produits par les coperniciens pour disqualifier l'équivalence des hypothèses, en soumettant leur hypothèse à un idéal de systématicité constituant de fait une preuve de sa supériorité sur les autres hypothèses. Nous essayons de montrer que l'idéal de systématicité de la connaissance est né comme tentative de dissiper l'équivalence des hypothèses astronomiques. Dans une première partie, nous définissons cet idéal de systématicité. Dans une deuxième partie, nous en cherchons la trace chez Copernic, Kepler et Galilée.

Mots-clefs : Equivalence des hypothèses, Système du monde, Copernic, Kepler, Galilée, Histoire de l'astronomie.

Résumé en anglais

We start from a historical situation, or rather a problem, as it arose for astronomers from the middle of the 16th century. At that time, Copernican astronomy was faced with an alternative that seemed unsolvable: on the one hand, it always asserted itself as a true astronomy, i.e. producing with the heliocentric hypothesis a description of the real world. On the other hand, this Copernican realism came up against the absence of observational evidence: among other things, the annual parallax of the fixed bodies, which should have been produced by the motion of the Earth, remained unobservable, forcing Copernicus to concede the inordinate distance of the sphere of the fixed bodies. This situation, from which we start, has been called « equivalence of hypotheses ».

The reading that we propose of the astronomical revolution identifies the efforts and the effects produced by the Copernicans in order to undermine the equivalence of hypotheses, by subjecting their hypothesis to an ideal of systematicity constituting in fact a proof of its superiority over the other hypotheses. We try to show that the ideal of systematicity of knowledge was born as an attempt to dispel the equivalence of astronomical hypotheses. In a first part, we define this ideal of systematicity. In a second part, we look for its trace in Copernicus, Kepler and Galileo.

Keywords : Equivalence og hypothesis, System of the world, Copernicus, Kepler, Galileo, History of astronomy.