

**La critique de l'univers
de Peurbach développée
par Albert de Brudzewo
a-t-elle influencé Copernic ?
Un nouveau regard
sur les réflexions astronomiques
au XV^e siècle**

Almagest

Michela Malpangotto

CNRS -SYRTE, Observatoire de Paris, France

E-mail : michela.malpangotto@obspm.fr

Abstract

In 1454 Georg Peurbach teaches astronomy at the *Collegium Civium* in Wien by reading a work of his own: the *Theoricae novae planetarum*. Intended to replace the old *Theorica planetarum communis* which had dominated the mediaeval culture, this new book is very soon adopted in the major universities of Europe and enjoys a broad diffusion being published, studied and taught up to the middle of the 17th century.

Among the numerous commentaries which have been preserved –both in manuscript and printed form– the tradition of the Cracow University, started by Albert of Brudzewo, distinguishes itself because it submit Peurbach's contribution to a subtle critique which, while recognizing the merits to which its large acceptance is due, focuses also its limits. In the name of the reality of the celestial world, Brudzewo critiques the presence, in the universe of the *Theoricae*, of abstract entities like the equant and the mean apogee, to which the uniformity of the movements must be referred according to an active interaction with the "real" orbs. In the name of the celestial perfection, he grasps the weaknesses and incoherences of Peurbach's universe and arrives, ultimately, to question this point of view which acts as the mean between the real celestial world and the way it appear to an observer. In this paper, I will try to show that what was strongly supported by Brudzewo as a requirement which must be respected –i.e. the perfect uniformity and circularity of celestial movements– becomes, in Copernicus, the reason to research an alternative solution: "a more reasonable model composed of circles from which every apparent irregularity would follow while everything in itself moved uniformly, just as the principle of perfect motion requires". So, the better known among the students of the Cracow school proves that it is not only possible, but even necessary to make astronomy from a new point of view.

Introduction

Au milieu du XVII^e siècle, Pierre Gassendi présente l'évolution des connaissances astronomiques à travers les biographies de Georg Peurbach, Johannes Regiomontanus, Tycho Brahe et Nicolas Copernic.

Il reconnaît à Peurbach le mérite d'avoir restauré une astronomie « presque mourante » et exprime la conviction que « si Peurbach n'avait pas existé, nous n'aurions eu ni Copernic ni Tycho ». ¹

Une affirmation de ce genre éveille immédiatement l'attention et fait naître l'exigence de comprendre les raisons d'une déclaration si explicite. Dans cet article on cherchera à reconstituer le lien qui unit l'œuvre de Peurbach et la contribution révolutionnaire de Copernic, et on montrera que, entre ces deux personnages mentionnés par Gassendi, il faut nécessairement insérer l'apport d'un enseignant d'astronomie de l'université de Cracovie : Albert de Brudzewo.

En illustrant les influences réciproques entre ces trois personnages, on prouvera que Copernic n'apparaît pas d'emblée sur la scène culturelle et qu'il devient au contraire possible de l'insérer dans une tradition astronomique bien précise.

Jusqu'à présent l'attention a été portée principalement sur l'influence que les courants philosophiques anciens, rendus actuels par les humanistes, ont pu exercer sur sa pensée. Beaucoup d'emphase a été mise sur les anciens dans lesquels Copernic dit avoir trouvé les témoignages de ceux qui avaient déjà avancé par le passé l'hypothèse d'une Terre en mouvement et la légitimation de son héliocentrisme. Il ne faut pas oublier que Copernic est un astronome-mathématicien qui adresse son ouvrage aux astronomes-mathématiciens : « mathemata mathematicis scribuntur ». ² Son objectif est la construction de tables permettant de prévoir avec exactitude les positions des corps célestes, son intérêt se porte sur les systèmes qui permettent de rendre compte des phénomènes. La seule référence possible était l'*Almageste* de Ptolémée, ³ à tel point que, comme il a été dit, dans son *De*

1 Gassendi 1655, 337 : « Hisce deductis, adjeci quoque, eam deberi Peurbachio gratiam, quod Astronomiam pene demortuam in hanc lucem reduxerit, et cum alia, tum maxime illum Regiomontanum veluti parturierit, a quo per Germaniam haec studia accensa ita Copernici, et Tychonis oculos percullerint, ut non modo praesumere, sed asserere etiam pene liceat, nisi exstisset Peurbachius, futurum fuisse, ut neque Copernicum, neque Tychonem iam haberemus ».

2 Copernic 1543, Ad Sanctissimum Dominum Paulum III Pontificem Maximum, Nicolai Copernici Praefatio in libros Revolutionum, c. sign. iij verso.

3 *Almageste* dans la version arabo-latine de Gérard de Crémone était accessible à Copernic

revolutionibus orbium coelestium, « on ne trouve rien qui n'aurait pas pu avoir été écrit au II^e siècle de l'ère chrétienne par un disciple de Ptolémée. Après une stagnation qui a duré près de quatorze siècles, le développement de l'astronomie reprenait à Frombork là où il s'était interrompu à Alexandrie ». ⁴

Les affirmations de ce genre ne tiennent pas compte du fait que, entre Ptolémée et Copernic, une réflexion astronomique avait été faite. C'est précisément au XV^e siècle que l'astronomie mathématique de tradition ancienne avait été l'objet d'une relecture dans sa forme authentique, certes, mais selon la nouvelle sensibilité des humanistes.

Cela nous mène à Vienne, où, en 1454, Georg Peurbach renouvelle l'enseignement de l'astronomie théorique en introduisant un nouveau texte sur la *theorica planetarum* qu'il a rédigé, et à Cracovie, où, en 1483, une solide tradition astronomique prend son essor grâce aux réflexions qu'Albert de Brudzewo avait faites précisément sur les *Theoricae novae planetarum* qui venaient d'être imprimées.

Les *Theoricae novae planetarum* de Georg Peurbach : une isagoge ad *Almagestum*

En 1454, Georg Peurbach donne au *Collegium Civium* de Vienne un cours consacré aux théories des planètes et il adopte comme support pour ses leçons un texte qu'il a lui-même rédigé : une « *Theorica nova* » qui explique (« *declarans* ») la structure réelle (« *realem habitudinem* ») des sphères célestes et leurs mouvements. ⁵

Depuis cette date, grâce aussi à l'*editio princeps* que Regiomontanus imprime à Nuremberg

sous forme manuscrite. Cette version sera publiée pour la première fois en 1515 à Venise. En 1528, toujours à Venise, est publiée la traduction du texte grec de l'*Almageste* que Georges de Trébizonde avait achevé en 1451 à la demande du Pape Nicolas V (pour la polémique de Regiomontanus vis-à-vis de cette traduction, voir Malpangotto 2012a). Bien avant, en 1496, avait été imprimée, à Venise, l'*Epitoma in Almagestum Ptolemaei* que Peurbach et Regiomontanus avaient rédigé au début des années 60 du XV^e siècle.

4 Cf. Dijksterhuis 1971, 383 (traduction française par Michela Malpangotto).

5 Les manuscrits qui nous ont transmis le texte du cours donné par Peurbach en 1454 portent l'*incipit* suivant : « *Theorica nova realem sperarum habitudinem atque motum cum terminis tabularum declarans* ». Il se trouve aux feuillets : f. 2r du Cod. 5203 et f. 1r du Cod. 5245 de l'Österreichische Nationalbibliothek à Vienne ; f. 40r du Codex Sancrucensis 302 de la Stiftbibliothek à Heiligenkreuz. Pour plus de précisions concernant ces trois manuscrits et d'autres qui datent de la vie de Peurbach, voir Malpangotto 2012b.

en 1473,⁶ les *Theoricae novae planetarum* deviendront le texte de référence pour l'enseignement dans les principales universités d'Europe jusqu'au milieu du XVII^e siècle. Cet ouvrage offre une présentation cohérente et bien structurée de l'univers entier en toutes ses parties et selon la composition de leurs mouvements, depuis la sphère de la Lune jusqu'au Premier mobile, en conciliant habilement, d'une part, le système de la philosophie naturelle d'Aristote, conçu comme la réalité vraie du monde, qui avait pourtant l'inconvénient de ne pas être en mesure de sauver tous les phénomènes célestes, et, d'autre part, le système de la tradition astronomique de Ptolémée, qui sauvait tous les phénomènes, mais restait une pure construction mathématique abstraite.

Avec les *Theoricae novae planetarum*, l'astronomie mathématique de Ptolémée peut trouver dans les sphères concentriques d'Aristote une structure adéquate pour se réaliser concrètement. Cela explique la satisfaction avec laquelle les systèmes conçus par Peurbach sont accueillis par ses contemporains, car « *Physicam cum Astronomia conciliavit* ».⁷

Si l'on veut insérer la contribution de Peurbach dans sa juste perspective et en comprendre la valeur effective, il est nécessaire de confronter les *Theoricae novae planetarum* à l'*Almageste*. On pourra ainsi relever la différence de méthode qui caractérise les deux textes astronomiques en opposant le *τὸ ὄν* au *διότι*, mais il est aussi opportun de remarquer l'existence d'une stricte relation entre les deux textes, concernant leur contenu.

L'*Almageste* présente les systèmes planétaires en en fournissant une description qui est ponctuellement motivée à la fois par les phénomènes et par les preuves géométriques.

6 Pour une datation de l'*editio princeps* réalisée par Regiomontanus dans la typographie qu'il installa à Nuremberg dans les années 1470, une étude et l'édition critique du *Programme éditorial* comportant la liste des ouvrages que l'astronome allemand voulait publier, voir Malpangotto 2008.

7 Gassendi 1655, 337 : « *solerter adeo Physicam cum Astronomia conciliavit* ». Pour une description détaillée de la façon dont Peurbach présente la structure des sphères planétaires dans ses *Theoricae novae planetarum*, voir Malpangotto 2013a. Pour l'insertion de la contribution de Peurbach dans la tradition qui la précède, Duhem 1913-1959, vol. III, Grant in Lindberg 1978, Lerner 2008, Barker 2011 restent les ouvrages de référence et la question que pose (Lerner 2008, I, 120-121) reste ouverte : « Faut-il voir dans cette incorporation des cercles abstraits de l'*Almageste* dans des orbites solides, le résultat de la diffusion progressive d'un modèle de machinerie céleste dont les origines lointaines remontent à Ptolémée lui-même ? On peut le penser. En tout cas, tout se passe comme si ce processus de diffusion, qui mériterait de faire l'objet d'une étude particulière, avait trouvé chez Peurbach son aboutissement ». Les études à venir devront approfondir la connaissance de la tradition manuscrite médiévale des ouvrages consacrés à la *Theorica planetarum*, et plus en général à l'astronomie, avant qu'il soit possible d'atteindre une réponse bien fondée à cette question.

La présence des données d'observation est considérable et notamment l'analyse des phénomènes déterminants pour l'élaboration des différents systèmes planétaires est minutieuse. Tout aussi considérable est la présence des démonstrations géométriques qui donnent un fondement scientifique aux relations existant entre toutes les composantes de ces systèmes élaborés par l'astronome alexandrin au II^e siècle.

Les *Theoricae*, rédigées par Peurbach en 1454, sont considérées comme une *isagoge* à l'*Almageste*, fournissant les connaissances de base de l'astronomie.

Si le style prolix de l'ouvrage de Ptolémée, présente de manière plus qu'exhaustive l'univers céleste, le style des *Theoricae* est assez synthétique : à travers une succession d'affirmations et de normes simplement énoncées, il permet d'acquérir une vision cohérente et complète de l'univers céleste en termes, à la fois de structure des sphères planétaires, mais aussi de composition des mouvements qui s'accomplissent dans celles-ci. Et cela selon le schéma et les modèles que Peurbach a extrapolés de l'*Almageste*. Cependant, une partie majeure reste complètement absente de son texte, celle qui confère autorité et fondement à l'ouvrage grec : les démonstrations géométriques, qui seraient utiles pour confirmer la véridicité des relations examinées, et la description des phénomènes, qui constituent la cause et l'effet de ses modèles.

C'est pourquoi lorsque, dès les années 1480, les *Theoricae* sont adoptées comme texte de référence pour l'enseignement universitaire de la science des astres, elles doivent être accompagnées de commentaires explicatifs.

Les commentaires aux *Theoricae novae planetarum*

Les auteurs qui, pendant si longtemps, ont commenté et enseigné les *Theoricae novae planetarum*, ont abordé cet ouvrage selon des approches différentes :⁸ la plupart d'entre eux s'est intéressée principalement à la composante mathématique sous-jacente aux *Theoricae*, alors qu'un seul parmi eux, Albert de Brudzewo, a au contraire jugé utile, pour une compréhension plus consciente du texte, de porter l'attention sur la composante phénoménale sous-jacente à l'ouvrage de Peurbach.

Francesco Capuano, Silvestro Mazzolini de Prierio, Erasme Reinhold, E. Oswald Schreckenfuchs, Pedro Nunes, dans les universités de Padoue, Pavie, Wittenberg,

8 Pour une analyse de l'interprétation réaliste ou « fictionaliste » des orbites célestes chez les différents auteurs, voir Duhem 2003, Jardine 1984, Lerner 2008, Barker 2011.

Nuremberg, Coimbra⁹ restent fidèles au texte de Peurbach, qu'ils commentent de manière acritique et dans son intégralité visant à expliquer, en l'explicitant le plus exhaustivement possible, chaque affirmation et à mettre en évidence les relations mathématiques ou géométriques qui viennent se créer entre les différentes composantes de cet univers.

Le moindre détail des systèmes de Peurbach est passé au crible des mathématiques qui deviennent le seul critère de vérité. Dans ces commentaires, ce sont en effet les démonstrations rigoureuses qui prouvent la correction des relations et des rapports entre les entités examinées, même quand certaines d'entre elles restent de pures abstractions géométriques qui interagissent avec les orbites dont les sphères planétaires se composent.

Cette attitude est peut-être influencée par les réflexions qui animent plus généralement le contexte scientifique et culturel de l'époque. Les discussions de *certitudine mathematicarum* sur la validité des démonstrations mathématiques comme instrument de recherche de la vérité portent à une affirmation progressive de la confiance en cette forme de raisonnement en tant que support de la connaissance de la nature. Il semble que cette maturation parallèle aille indirectement s'imposer aussi sur les commentaires aux *Theoricae novae planetarum*.

Bien qu'ils aient des approches différentes, les commentaires que l'on vient d'évoquer partagent un même objectif qui consiste précisément à décomposer la complexité des modèles des *Theoricae* en ses parties de manière à prouver rigoureusement les relations qui viennent progressivement se créer dans ce mécanisme complexe. En réalité, on est face à ce que l'on pourrait appeler une géométrie en mouvement : une succession de configurations géométriques précises, chacune représentant un instant du déroulement du mouvement.

En démontrant la correction et la vérité des affirmations de Peurbach, on va renforcer et consolider de plus en plus la cohérence et la validité de son univers. Cela justifie la persistance dans le temps de l'image du monde conçue par l'astronome viennois.

Le commentaire d'Albert de Brudzewo est le seul qui s'éloigne de cette attitude répandue, pour donner une contribution tout à fait singulière.

9 On se limite ici à évoquer les commentaires les plus connus et qui ont eu une diffusion imprimée : le commentaire de Francesco Capuano fut publié pour la première fois en 1495 (H* 13596) ; celui de Silvestro Mazzolini de Prierio en 1515 ; celui d'Erasmus Reinhold en 1542 ; celui d'Oswald Schreckenfuchs en 1556 ; celui de Pedro Nunes en 1566. Pour l'édition de ce dernier, voir Leitão 2010. Pour une description des manuscrits comportant des commentaires issus de cours donnés dans les principales universités d'Europe en lisant les *Theoricae novae planetarum* de Peurbach aux XV^e et XVI^e siècles, qui n'ont pas eu d'éditions imprimées, on renvoie à Malpangotto 2013b.



Manuscrit LJS 64, p. 53

(Rare Book & Manuscript Library, University of Pennsylvania)

Dans la faculté des arts de l'université de Cracovie, en 1483, Brudzewo¹⁰ choisit de commenter les *Theoricae novae planetarum* sans ajouter les démonstrations car, dit-il, elles absorbent trop l'attention du lecteur et empêchent d'aborder le contenu avec une

10 Dans les manuscrits qui nous sont parvenus, le *Commentariolum super Theoricis novas Georgii Peurbachii* d'Albert de Brudzewo est accompagné du texte des *Theoricae novae planetarum* de Peurbach. Le *Commentariolum* fut imprimé pour la première fois à Milan en 1494 et une nouvelle fois en 1495. En 1900 Ludwig Antony Birkenmajer publia l'édition critique de cet ouvrage. C'est au texte de l'édition de Birkenmajer que l'on fera référence tout au long de cet article.

Pour plus de précisions sur la datation de ces manuscrits et de l'enseignement d'Albert de Brudzewo voir *infra* n. 92 ; pour une description des manuscrits qui ont transmis la contribution de Brudzewo voir Brudzewo 1900, XLVI-LIII, et pour une description d'autres manuscrits qui s'ajoutent à ceux sur lesquels Birkenmajer a établi son édition, voir Rosinska 1984, 64, et Malpangotto 2013b.

approche plus générale.¹¹ Il préfère porter l'attention sur la composante phénoménale sous-jacente à l'ouvrage de Peurbach pour mettre en évidence la fonction que les phénomènes célestes assument en tant que causes et effets pour la détermination de l'univers dont il est question. Pour cela, il puise dans l'*Almageste*, dans lequel Ptolémée « mathematica demonstrat » et à l'*Almageste*, il renvoie pour un approfondissement ultérieur « patet ex Ptolemaeo » ou « testatur Ptolemaeus [...] sic dicens ».¹²

Méthode et objectifs

Cette étude présente sous un nouveau jour un personnage qui pourrait se révéler particulièrement significatif pour approfondir et élargir nos connaissances d'une période cruciale pour l'histoire de l'astronomie et, plus généralement, pour reconstituer le contexte culturel dans lequel la naissance de la science classique a été préparée.

L'attention se focalisera sur l'analyse que Brudzewo développe sur les *Theoricae novae planetarum*, afin de montrer quels sont les critères selon lesquels il lit l'ouvrage de Peurbach. Le chapitre consacré à la *Theorica Solis* est particulièrement significatif car le modèle de cette sphère planétaire constitue l'incarnation presque parfaite de la façon dont la réalité céleste doit être.

On s'arrêtera ensuite sur les parties du *Commentariolum* dans lesquelles le *Magister* cracovien saisit les points faibles de l'univers de Peurbach.

L'examen de la distinction entre *Orbes réels et artifices mathématiques* donnera voix à la critique qu'il adresse au cercle équateur et au point de l'apogée moyen : des éléments que Peurbach a dérivés de l'*Almageste* sans réussir à les intégrer aux sphères et aux orbes qu'il a conçus. Dans les *Theoricae*, on trouve ainsi de pures abstractions que l'on a la prétention de faire interagir avec les mouvements des orbes et auxquelles on assigne la fonction de sauver, en tant que « norme de régularité », les mouvements irréguliers des corps célestes.

En opposant *Régularité et irrégularité des mouvements des corps célestes*, on mettra en

11 Cf. Brudzewo 1900, 21 : « Non imputabis itaque lector, si non adhibero ubique doctrinales demonstrationes, quoniam his tenet imbutus animus firmatusque ad eos, qui hanc rem doctrinaliter tradiderunt, se applicare poterit aptius ».

12 Brudzewo fait toujours référence précisément au livre et au chapitre (*dictio* et *capitulum*) de l'*Almageste* d'après la version arabo-latine de Gérard de Crémone, qui était disponible à son époque sous forme manuscrite et pour laquelle on s'est référé à l'*editio princeps* (Ptolémée 1515). Pour le texte grec, voir Heiberg 1898-1907 ; pour la traduction française, voir Halma 1813 ; pour la traduction anglaise, voir Toomer 1998.

évidence la façon dont Brudzewo démontre que Peurbach a construit un univers dans lequel vient se déterminer une séparation entre apparence et réalité. Les éléments que le *Magister* viennois prend en compte comme causes pour la définition de ses modèles, n'ont en réalité aucune connexion logique avec ces derniers : les irrégularités assignées par Peurbach aux mouvements des corps célestes dérivent de déductions arbitraires dépourvues de tout fondement de vérité et reposent sur une vision partielle des éléments en jeu. Brudzewo saisit le grave point faible qui pourrait entamer, dès ses fondements, la structure entière de l'univers conçu et décrit dans les *Theoricae*.

Avec son *Commentariolum super Theoricis novas Georgii Purbachii*, il a ainsi soulevé des problèmes et stimulé des réflexions qui, partagées dans le milieu universitaire cracovien, ont certainement donné naissance à une nouvelle approche de la science des astres, qui se caractérise par un sens critique tout à fait nouveau envers le savoir traditionnel. D'où la question qui guide cet article : les problèmes soulevés par le *Magister* cracovien et les réflexions qu'il a développées peuvent-ils avoir, en partie tout du moins, stimulé la recherche d'un nouveau point de vue duquel faire astronomie ?

Afin de fournir quelques éléments de réponse, dans la partie conclusive du présent article, on montrera que, dans les écrits de Copernic, on peut relever, sans nullement forcer l'interprétation, la présence des mêmes objections et des mêmes réflexions qu'on a retrouvé chez Brudzewo et que l'astronome de Frombork développe au nom des mêmes principes, en soulignant les mêmes incohérences. De plus, ce que Brudzewo soutient fortement tout au long de son *Commentariolum* comme une exigence, une nécessité qui doit être respectée, devient chez Copernic la base sur laquelle fonder la recherche d'une solution alternative.

Le Commentariolum super Theoricis novas Georgii Purbachii d'Albert de Brudzewo

Dans son commentaire, le *Magister* cracovien Albert de Brudzewo ne traite pas de manière homogène tous les sujets des *Theoricae novae planetarum*. Dans certains cas il renvoie directement aux mots de Peurbach : « Littera autem taliter probatur »,¹³ « probatur littera »¹⁴ pour laisser au texte et aux figures de sa source la présentation de certaines questions : « le texte du *Magister* [Peurbach] est suffisamment clair et évident dans la

13 Brudzewo 1900, 23. Par « littera » Brudzewo indique toujours le texte des *Theoricae novae planetarum* de Peurbach.

14 *Ibidem*, 47.

figure » ;¹⁵ dans d'autres cas il en décrit seulement le contenu en fournissant une simple paraphrase, alors qu'il devient particulièrement prolix quand il s'agit de présenter les sujets qui l'intéressent le plus.

La présente contribution examinera le *Tractatus primus* du *Commentariolum*.¹⁶ Brudzewo y suit le même ordre que l'exposé de Peurbach en distinguant les « chapitres » : *Theorica Solis* ;¹⁷ *Theorica Lunae* ;¹⁸ *De tribus superioribus* ;¹⁹ *De Venere* ;²⁰ *De Mercurio*.²¹

Pour chacun de ces chapitres il maintient également inchangée la division interne avec une première partie consacrée à la description des orbes dont les sphères totales sont composées ; une deuxième partie consacrée au mouvement de chaque orbe considéré et en lui-même, et en relation avec le Soleil ; une troisième partie consacrée aux termes pour l'usage des tables.²²

Brudzewo soumet le texte des *Theoricae novae planetarum* à une analyse critique attentive et minutieuse, et l'interprète selon ses propres convictions personnelles. Cela est rendu possible par la façon dont Peurbach expose son univers en le présentant dans sa fonctionnalité presque mécanique, de machine parfaitement fonctionnelle, sans explicitement se poser aucune question touchant les principes *a priori* imposés par la philosophie naturelle. Dès les premières lignes du *Commentariolum*, il ressort clairement

15 *Ibidem*, 84 : « Sequens etiam littera Magistri satis plana est et evidens in figura ». Généralement, par « Magister » Brudzewo indique Georg Peurbach.

16 Le *Commentariolum* de Brudzewo se compose de trois parties : *Tractatus primus : Theorica Solis, Lunae et quinque planetarum* (Brudzewo 1900, 22-127) ; le *Tractatus secundus : De passionibus planetarum* (Brudzewo 1900, 128-145) ; le *Tractatus tertius : De motu octavae sphaerae* (Brudzewo 1900, 146-151). Brudzewo arrête davantage son attention sur le *Tractatus primus* qui constitue donc, pour notre analyse, la partie la plus intéressante de son ouvrage.

17 Brudzewo 1900, 22-44.

18 *Ibidem*, 44-78.

19 *Ibidem*, 78-107.

20 *Ibidem*, 107-110.

21 *Ibidem*, 110-127.

22 Cette structure de chaque section du texte de Peurbach est présentée par Brudzewo en ouverture de chaque chapitre de son commentaire. On peut prendre l'exemple de la Lune de Brudzewo 1900, 44 : « *Theorica Lunae habet tres partes principales. In prima totius sphaerae ponit Magister numerum orbium partialium cum descriptione eorundem et nominibus; in secunda (ibi: Movetur autem etc.), motum cuiuslibet eorum seorsum, quem habent secundum se in suis axibus et polis, et eum etiam motum, quem habent per comparisonem ad Solem; in tertia declarat terminos, quibus utuntur tabulantes motum Lunae (ibi: Linea itaque medii motus etc.)* ».

que pour Brudzewo les orbes partiels décrits par Peurbach sont réels²³ : « l'excentrique, qui est un orbe réel »²⁴ et la sphère totale de chaque planète est formée d' « orbes partiels réels ». ²⁵ L'univers que Peurbach décrit dans toutes ses parties constitutives doit, pour Brudzewo, refléter l'image du monde céleste tel qu'il est dans sa réalité et représente donc la partie de la nature qui doit nécessairement incarner la perfection dans laquelle ont lieu les révolutions régulières et uniformes :

« qui s'accomplissent sans aucune irrégularité. En effet, un tel mouvement est la propriété essentielle des corps célestes, distincts de la nature de ceux qui appartiennent au monde élémentaire, dont le mouvement est au contraire dépourvu d'uniformité et d'ordre ».²⁶

Ce monde répond à des lois précises et rigoureuses, à des principes certains établis *a priori* auxquels Brudzewo se réfère constamment dans son analyse en les considérant comme l'expression la plus authentique de l'essence de la nature céleste. Chaque corps céleste doit donc posséder un seul mouvement propre qui doit s'accomplir de manière parfaitement circulaire et uniforme ; ce même principe se traduit en termes mathématiques et impose que chaque corps céleste accomplisse, sur le centre de son mouvement, des angles égaux auxquels correspondent, sur sa trajectoire, des arcs égaux parcourus en des temps égaux.²⁷

23 Cette conviction est exprimée de manière recourante et son assomption devient évidente chaque fois que Brudzewo doit présenter en termes géométriques les grandeurs astronomiques et les lignes qui les déterminent. Dans ces passages, il fait remarquer que Peurbach transforme la disposition de l'orbe réel qui porte le corps céleste à un cercle imaginaire représenté sur un plan : « En effet, les *Theoristae*, qui connaissent la disposition des orbes réels, ont l'habitude de subordonner à ces orbes réels des cercles imaginaires, qui sont semblables et ont la même disposition que ceux-ci, et d'arranger enfin sur un plan toutes les parties, qui respectent une telle structure. *Sensus enim saepius adiuvat intellectum ipsum speculari inquit Ptolemaeus* » (Brudzewo 1900, 34 ; cf. également 57, le commentaire à « *Vocatur autem superficies[...]* »).

24 *Ibidem*, 57 : « *Iam Magister, posita declaratione ecentrici, qui est orbis realis [...]* ».

25 *Ibidem*, 22 : « *In prima parte ponit Magister divisionem totius sphaerae solaris in orbes reales partiales [...]* ».

26 *Ibidem*, 79-80 : « [...] in revolutionibus, quae esset absque diversitate qualibet. Talis enim motus est quasi proprietas conveniens corporibus coelestibus, alienatis a natura istorum inferiorum, quorum motus [est] absque similitudine et ordine [...] ».

27 Cf. *Ibidem*, 23 : « *Omnem motum coelestis corporis simplicem et verum aequalem esse, hoc est, super aequos angulos in centro motus consistentes et in arcus cadentes aequales, aequalibus fieri temporibus* ». Ce passage reprend fidèlement les mêmes mots tirés du troisième livre de l'*Abbrevisatio Almagesti* attribué à Albertus Magnus, d'après le texte au f. 186r du Cod. 5266 de l'Österreichische Nationalbibliothek à Vienne.

Si Ptolémée exigeait une circularité et une uniformité parfaites pour les mouvements de ses cercles abstraitement mathématiques, Brudzewo exige que ces mêmes circularité et uniformité s'accomplissent également dans la réalité des mouvements des orbés conçus par Peurbach. Et à l'accord avec ces principes, il confie son jugement des modèles des *Theoricae novae planetarum*. Dans cet univers, que l'astronome cracovien est en train d'analyser, le Soleil, avec son mouvement parfaitement régulier, représente le seul corps céleste qui réalise pleinement l'essence de la nature. C'est pourquoi il est considéré, par lui, comme le principe premier de l'astronomie.²⁸

Theorica Solis : le principe premier de l'astronomie

Le Soleil est la première planète que Peurbach traite dans ses *Theoricae* et il est aussi le premier qui se trouve dans le *Commentariolum* de Brudzewo. Pour la description de la structure de sa sphère en termes d'orbés partiels, l'astronome cracovien renvoie au texte de Peurbach, « Littera autem taliter probatur »,²⁹ mais il ajoute la description des causes phénoménales qui ont déterminé ce modèle particulier. Un modèle qui représente la structure de base pour toutes les autres sphères planétaires. L'analyse qu'il mène dans le chapitre consacré au Soleil constitue ainsi la prémisse sur laquelle s'appuie le reste de la tractation.

En examinant le mouvement du Soleil tel qu'il apparaît sur le zodiaque, Brudzewo souligne les conditions atmosphériques optimales des régions dans lesquelles ont opéré les plus anciens « observateurs des astres, et notamment les Égyptiens et les Chaldéens ». ³⁰ Il se prodigue en une proluxe description visant à confirmer la fiabilité des résultats atteints dans un environnement particulièrement limpide et libre de tout facteur perturbateur. De leurs observations, ces astronomes « concluderunt Solem in zodiaco inaequaliter moveri ». ³¹ Cependant, « bien que le Soleil se meuve d'un mouvement irrégulier sur le zodiaque, en raison des principes de la philosophie, ils étaient aussi fortement convaincus que le corps solaire devait se mouvoir d'un mouvement simple et régulier dans son propre orbe ». ³² Et cela en raison de son appartenance à la nature céleste, monde de la perfection. Ces astronomes anciens se trouvèrent ainsi confrontés à une double vérité « duo prae

28 Brudzewo 1900, 30 : « [...] Solem in suo ecentrico regulariter moveri sit primum principium in Astronomia (ideo cum negante illud, non est amplius in Astronomia disputandum) [...] ».

29 *Ibidem*, 23.

30 *Ibidem*, 23 : « Observatores astrorum et praecipue Chaldaei et Aegyptii [...] ».

31 *Ibidem*, 23.

32 *Ibidem*, 23 : « Et cum ipse Sol diverso motu et inaequali moveatur in zodiaco, senserunt ipsum – ex principiis philosophiae – debere moveri in suo orbe, aequali motu et simplici ».

oculis pensantes »³³ : une vérité qui était témoignée de la perception visuelle, à savoir le mouvement irrégulier du Soleil sur le zodiaque tel qu'il apparaissait à un observateur placé au centre du monde ; et une vérité qui était fondée sur un *a priori*, à savoir le mouvement circulaire et uniforme du Soleil dans son orbe excentrique où il devait accomplir réellement sa rotation. Ils déduisirent que si le Soleil avait eu son propre orbe concentrique par rapport au zodiaque, on aurait dû le voir *de facto* se mouvoir uniformément sur celui-ci, mais, comme les observations avaient montré qu'il parcourait le zodiaque avec un mouvement tantôt plus lent, tantôt plus rapide, ils durent inventer l'excentrique :

« comme le Soleil se mouvait irrégulièrement sur le zodiaque, ne trouvant pas une raison plus appropriée, ils [les astronomes] assignèrent l'excentricité à l'orbe solaire ».

Cet orbe, qui porte réellement le corps solaire, est décentré par rapport à la huitième sphère et à son centre de telle sorte que :

« pour une partie, il est plus éloigné du centre du monde et en même temps plus proche du zodiaque, et, en revanche, pour l'autre partie, il est plus proche du centre du monde et en même temps plus éloigné du zodiaque. En effet, de cette manière on verra le Soleil se mouvoir irrégulièrement sur le zodiaque ».³⁴

Comme les observations ont montré que les autres planètes présentaient elles aussi des mouvements irréguliers sur le zodiaque, la nécessité s'imposa pour elles aussi de poser l'orbe excentrique. Comme Brudzewo l'évoque, le problème que les astronomes du passé ont dû affronter fut de concilier un tel orbe excentrique avec la sphère des étoiles fixes qui s'est au contraire révélée, selon leurs observations, être « concentrique au monde ».³⁵

Mais, assigner à chaque planète un seul orbe excentrique aurait comporté la « scissio sphaerarum et commixtio vacui »³⁶ : la pénétration des orbes entre eux et l'intromission du vide dans cet univers, et cela leur sembla absurde car, dans un tel cas, le ciel aurait été corrompible : « Quod eis videbatur absurdum sentire, alias enim coelum esset corruptibile ».³⁷

33 *Ibidem*, 23.

34 *Ibidem*, 24 : « Cum itaque Sol in zodiaco moveatur irregulariter, causam non invenientes magis consonam, ecentricitatem orbis solaris assignaverunt, qui quidem ecentricus in una parte elevabitur a centro mundi ad zodiacum accedendo, in altera vero ad centrum mundi appropinquabit, removendo se ad zodiaco. Hoc namque pacto Sol videbitur in zodiaco irregulariter moveri [...] ».

35 Cf. *Ibidem*, 25.

36 *Ibidem*, 25.

37 *Ibidem*, 25.

Brudzewo ne dit pas qui a trouvé la solution à ce problème, il reste vague en se référant à certains astronomes anciens qui considèrent que la solution la plus conforme fut l'adoption, pour chaque planète, d'une unique sphère totale concentrique à la huitième sphère, composée, dans le cas du Soleil, de trois orbites partielles « taliter dispositi, ut inquit littera » : c'est-à-dire disposés comme décrit dans le texte des *Theoricæ novæ planetarum*. Et là revient l'autorité de Peurbach. La sphère du Soleil a une structure interne particulière dans laquelle l'orbite excentrique peut répondre aux exigences pour lesquelles il avait été conçu et les deux orbites *circumpositi* qui l'entourent, ayant une épaisseur difforme, évitent l'intervention dans celle-ci de la « commixtio vacui », c'est-à-dire de la présence du vide.

Avec cette longue digression, Brudzewo substantifie la description plus décharnée que Peurbach donne du mouvement du Soleil dans ses *Theoricæ* où il s'exprime comme suit :

« comme le corps solaire, selon le mouvement de l'orbite qui le porte, se meut régulièrement sur le centre de l'excentrique, il se mouvra nécessairement de manière irrégulière sur tout autre point. Par conséquent, le Soleil, en des temps égaux, décrira des angles inégaux sur le centre du monde et des arcs inégaux sur la circonférence du zodiaque ». ³⁸

Orbes réels et artifices mathématiques

Remarques préliminaires

L'astronomie de Ptolémée est constamment présente dans l'ouvrage de Brudzewo qui renvoie ponctuellement à *l'Almageste* dont il cite des passages entiers ou précise dans quel livre et dans quel chapitre l'astronome alexandrin traite un certain sujet. Tout cela, probablement, afin de donner un fondement aux orbites des *Theoricæ novæ planetarum* et montrer comme ils incarnent la précision et la rigueur mathématique de l'ouvrage grec. Brudzewo introduit chaque section de son commentaire par les phénomènes qui ont amené Ptolémée à devoir poser les excentriques et les épicycles. Cela faisant, il montre aussi de quelle façon dans les *Theoricæ novæ planetarum* ces mêmes phénomènes, qui dans l'ouvrage ancien pouvaient être imaginés comme le résultat de la combinaison abstraite de cercles purement géométriques, peuvent maintenant également se réaliser à travers cette structure particulière d'orbites partielles réelles. En ce sens, Peurbach a évité les inconvénients qui jusque-là ne pouvaient que subsister dans la pure abstraction mathématique, car il

38 Peurbach [1472], f. [2r] : « Cum autem centrum solare ad motum orbis ipsum deferentis regulariter super centro eccentrici moveatur necesse erit ut super quocumque puncto alio irregulariter moveatur. Quare sol super centro mundi in temporibus aequalibus inaequales angulos: et de circumferentia zodiaci inaequales arcus describit ».

a décomposé les mouvements qui dans l'*Almageste* impliquaient un cercle unique en le faisant tourner même en directions opposées, en préférant assigner à un seul orbe, conçu à cet effet, chacun de ces mouvements.

Chaque fois que l'astronomie de Ptolémée entre harmonieusement dans les orbes des *Theoricae*, Brudzewo accueille, commente et illustre ces passages. Malheureusement, les *Theoricae novae planetarum* ne réalisent pas toujours et de manière totale la transposition parfaite de la géométrie de Ptolémée. Quand ses orbes ne parviennent pas à expliquer et à rendre raison de certains phénomènes célestes, Peurbach est contraint de maintenir quelques-unes des abstractions mathématiques de Ptolémée. On trouve ainsi dans l'univers des *Theoricae novae planetarum* des cercles et des points auxquels l'astronome viennois, en syntonie parfaite avec l'*Almageste*, assigne une fonction fondamentale : ils deviennent la « norme de régularité »³⁹ à laquelle référer les mouvements irréguliers des orbes réels.

En énonçant le rôle de ces artifices, Peurbach leur attribue une fonction trop importante pour que Brudzewo ne porte pas son attention sur ceux-ci et sur leur rôle dans cet univers. Si le *Magister* cracovien avait commenté l'astronomie mathématique de l'*Almageste*, il n'aurait trouvé aucune raison de critiquer ces artifices, car toute la discussion serait restée à un niveau purement géométrique, mais il reconnaît à Peurbach le mérite d'avoir accompli l'effort d'insérer l'astronomie mathématique de Ptolémée dans cet univers fait d'orbes qui se meuvent réellement et s'influencent de manière concrète avec les déplacements de leurs masses. Il met ainsi à nu les cas dans lesquels Peurbach a gardé certaines entités mathématiques de dérivation ptoléméenne en leur assignant un rôle actif et en les rendant protagonistes de son univers. Brudzewo ne peut pas s'empêcher d'adresser sa critique à ces compromis qui contrastent avec la vision qu'il prétend trouver dans les *Theoricae*. Il sera particulièrement explicite vis-à-vis de l'équant, qui chez Peurbach constitue la « norme de régularité » pour le mouvement des excentriques et des épicycles des planètes, et de l'apogée moyen, comme index de régularité pour le mouvement des corps célestes dans leur épicycle.

L'équant

Dans le cinquième chapitre du livre IX de l'*Almageste*, Ptolémée précise que les épicycles des planètes ne tournent pas sur le cercle équant, c'est-à-dire sur le cercle excentrique par rapport au centre duquel ils se meuvent de manière régulière en accomplissant des angles égaux en des temps égaux,⁴⁰ mais ils tournent sur un cercle différent de l'équant et autour

39 *Ibidem*, f. [6v] : « Haec tamen difformitas hanc regularitatis habet normam [...] ».

40 Cf. Brudzewo 1900, 85-86 : « inquit Ptolemaeus dictione IX^{ma} capitulo 5^{to} : Et centra orbium revolutionis neque revolvuntur super hos orbes centrorum egredientium, quorum centra per motus suos revolvuntur in revolutione aequali et perambulant in temporibus aequalibus angulos aequales. Haec ille ». Brudzewo transcrit fidèlement ce passage de l'*Almageste* qu'il connaît,

d'un centre qui est différent de celui de l'équant, et ici leur mouvement est irrégulier.

Dans l'approche ptoléméenne, cette affirmation ne peut pas faire l'objet de critiques, car on parle exclusivement de cercles purement géométriques ayant une fonction purement calculatoire de support à la pratique des astronomes. En revanche, le contexte dans lequel l'équant entre dans le discours de Peurbach est différent. Les mots qu'utilise ce dernier rendent explicite la distinction entre les orbites et le « *circulus imaginatus* » appelé équant excentrique :

« le mouvement du déférent l'épicycle est irrégulier sur son centre et sur ses pôles. Cependant, cette irrégularité a la norme de régularité suivante : le centre de l'épicycle se meut régulièrement par rapport à un certain point de la ligne de l'apogée ; ce point est éloigné du centre de l'excentrique de la même distance qui sépare ce même point du centre du monde. Ce point est alors dit centre de l'équant et le *circulus imaginatus* sur tel centre ayant les mêmes dimensions que le déférent et se trouvant sur la même surface est appelé équant excentrique ». ⁴¹

Brudzewo fait remarquer que dans les *Theoricae* l'équant maintient toujours une fonction purement mathématique. Il renforce cette abstraction, en affirmant qu'en ce qui concerne le mouvement des orbites réelles l'équant n'est pas nécessaire :

« L'équant n'influe en effet d'aucune manière sur le mouvement de l'orbite réelle puisqu'il est un *circulus imaginatus*, en revanche, il sert au travail des astronomes ou à la compilation des tables qui sont calculées sur la base des principes mathématiques faisant parvenir à des conclusions qui, le plus souvent, ne s'accordent ni aux mouvements tels qu'ils sont selon nature, ni aux mouvements tels qu'ils apparaissent ». ⁴²

comme on l'a dit, d'après la version arabo-latine de Gérard de Crémone (cf. Ptolémée 1515, f. 103r). Il est opportun de remarquer que Brudzewo suit fidèlement cette version arabo-latine, dans laquelle les cercles de l'*Almageste* sont systématiquement appelés « orbites » en latin. Pour la traduction française de texte grec, voir Halma 1813, t. II, 158.

41 Peurbach [1472], f. [6v] : « *Motus autem epicyclum deferentis super centro et polis suis difformis est. Haec tamen difformitas hanc regularitatis habet normam ut centrum epicycli super quodam puncto in linea augis tantum a centro huius orbis quantum hoc centrum a centro mundi distat elongato: regulariter moveatur. Unde et punctus ille centrum aequantis dicitur et circulus super eo ad quantitatem deferentis secum in eadem superficie imaginatus eccentricus aequans appellatur* ».

42 Brudzewo 1900, 86 : « *Quantum est in se, ad motum orbium non est opus aequante. Nihil enim aequans facit ad motum orbis realis, cum sit circulus imaginarius, sed quantum ad opus astronomicum, seu ad calculationem Tabularum, quae calculantur iuxta principia et conclusiones mathematicas, quae quidem conclusiones, quia saepius non possunt accomodari*

Brudzewo considère donc qu'il est inévitable pour les mathématiciens d'asservir les mouvements des corps célestes à leur art et à leurs calculs puisque, d'aucune autre façon, ils ne peuvent représenter ces mouvements de manière précise et régulière. L'équant devient donc la *ratio* sur laquelle l'irrégularité apparente des mouvements se réduit à régularité : en sachant combien ajouter ou soustraire à un mouvement régulier purement calculé sur la base des observations, l'équant permettait de repérer les positions de l'épicycle à tout moment en remplissant ainsi la tâche de la science des astres :

« et ainsi, à travers le mouvement régulier [les astronomes] savent combien le mouvement irrégulier est plus grand ou plus petit que le mouvement régulier en terme d'amplitude d'angles plans ou d'arcs à ajouter ou soustraire : c'est pourquoi ils ont posé l'équant ». ⁴³

Brudzewo poursuit son analyse:

« les astronomes imaginent que le mouvement, qui en réalité est vu irrégulier, devienne au contraire régulier et cela afin de pouvoir le calculer de manière plus précise. C'est pourquoi ils se sont persuadés et ont dû poser les équants : des *circulos imaginatos* sur lesquels ils rendent uniformes les mouvements divers et irréguliers des orbes ». ⁴⁴

Dans cette réflexion, le *Magister* cracovien met en évidence la situation paradoxale qui vient se créer dans les sphères planétaires des *Theoricae* dans lesquelles l'orbe excentrique qui porte l'épicycle tourne réellement, mais de manière irrégulière, autour de son propre centre, alors que la régularité de son mouvement est référée à un point divers, c'est-à-dire au centre de ce « *circulus imaginatus* » qui est l'équant : un cercle distinct de l'orbe même et de toute autre nature puisqu'il n'est qu'un cercle géométrique qui n'appartient pas à cette réalité. Un même mouvement est ainsi dédoublé en sa qualité et en son essence : le mouvement irrégulier qui appartient réellement à l'orbe réel et le mouvement régulier qui appartient en revanche à la pure abstraction mathématique. Cette dualité, pour la conception de Brudzewo, insinue une contradiction dans l'univers des *Theoricae* puisque cet univers doit, selon lui, réaliser concrètement et dans toutes ses parties l'uniformité parfaite des mouvements.

et applicari motibus, ut sunt in sua natura, seu ut apparent ».

43 *Ibidem*, 87 : « Et sic per motum aequalem iterum cognoscunt, quantum motus diversus maioritate aut minoritate planorum angulorum et arcuum addat aut diminat supra motum aequalem: propter hoc ergo ponuntur aequantes ».

44 *Ibidem*, 86 : « Imaginantur ergo aequalem esse motum, qui non aequalis videtur in se, propter opus ut rectius ponant. Et ex hoc convicti sunt et coacti ponere aequantes, circulos imaginatos, super quibus motus orbium diversos et inaequales, aequales esse considerant, reducuntque illos motus diversos primum ad aequalitatem in aequantibus, tamquam in id, ex quo iudicium diversi motus sumpturi sunt ».

Et si Peurbach, avec l'adoption de l'équant, est satisfait d'avoir trouvé la régularité du mouvement grâce à une « norme » purement mathématique, la critique que Brudzewo adresse à l'équant va au-delà de la simple dénonciation de celui-ci comme instrument mathématique : cette dénonciation assume pour lui une connotation bien plus substantielle, car Peurbach, avec l'adoption de l'équant, a violé l'essence même de la nature céleste et de son principe d'uniformité selon laquelle les corps célestes doivent se mouvoir uniformément autour du centre de leur mouvement.

Si la fonction purement calculatoire est reconnue à l'équant des trois planètes supérieures, Mars, Jupiter et Saturne, Brudzewo considère superflu d'avoir recours à ce point abstrait pour prévoir les déplacements de l'épicycle de Vénus et de Mercure, les deux planètes qui se trouvent entre la Lune et le Soleil. Il met ainsi également en cause les modèles que Ptolémée et Peurbach ont adoptés pour les planètes inférieures en faisant appel pour eux aussi à l'équant. Les observations ont montré que les épicycles de ces deux planètes dans leurs mouvements en longitude sont en syntonie parfaite avec le Soleil. En vertu de cette relation, Brudzewo met en évidence l'inutilité de l'équant et élimine une composante gênante de cet univers.⁴⁵

L'apogée moyen de l'épicycle

La critique que Brudzewo adresse à Peurbach pour avoir eu recours à de pures abstractions mathématiques, implique également l'apogée moyen : un point géométrique à partir duquel, Ptolémée d'abord et Peurbach ensuite, calculent le mouvement moyen de la planète dans son épicycle.

Le *Magister* viennois définit et explique la fonction de l'apogée moyen par ces mots :

« L'épicycle tourne sur son centre propre et sur son axe selon un mouvement irrégulier ; mais cette irrégularité se réduit à une uniformité puisque la Lune s'éloigne régulièrement du point de l'apogée moyen, quel qu'il soit, d'environ treize degrés et quatre minutes

45 Cf. *Ibidem*, 116-117 : « Non enim necessarius est [aequans] pro ecentrico, quia ex quo revolutiones Mercurii secundum longitudinem, aequales sunt revolutionibus Solis, sicut prius ostensum est, ergo ecentricus Mercurii etiam aequaliter revolvitur super centro mundi, quemadmodum ipsius Solis, semperque est linea medii motus Mercurii in eodem loco (secundum longitudinem) cum linea medii motus Solis ».

Peu avant (p. 116), Brudzewo a précisé que, pour Vénus et Mercure, l'équant se pose seulement pour sauver le mouvement irrégulier de la planète dans l'épicycle : « Est tamen hic sciendum, quod tam in Mercurio, quam in Venere, aequans solum ponitur propter motum planetae in epicyclo diversum, quatenus scilicet diversus motus planetae, quem habet in epicyclo, sit aequalis respectu centri aequantis ».

chaque jour naturel. L'apogée moyen de l'épicycle est le point de la circonférence de l'épicycle qui est repéré par la ligne menée du point du petit cercle qui est diamétralement opposé au centre de l'excentrique, et qui passe par le centre de l'épicycle ». ⁴⁶

Brudzewo explique la façon dont les astronomes du passé sont arrivés à déterminer ce point et montre comment, dans sa dynamique, il accomplit sa fonction. En faisant ceci, il ajoute des informations supplémentaires au texte de Peurbach afin de montrer de quelle manière l'univers des *Theoricae* repose et tire sa validité, dans ce cas aussi, des modèles de Ptolémée. Tout comme pour l'équant, il souligne que, également pour l'apogée moyen, le *Magister* viennois n'a pas réussi à reconstituer le mouvement de la Lune, irrégulier à l'apparence, à travers des mouvements concrets accomplis par des orbes réels, mais il a dû avoir recours à des artifices mathématiques qui restent toujours, comme chez Ptolémée, de pures abstractions ne pouvant donc avoir aucune interaction concrète avec la réalité céleste des orbes réels des *Theoricae*.

Les anciens relevèrent à travers leurs observations que le corps lunaire se meut de manière irrégulière à la fois en latitude et en longitude, étant tantôt plus lent, tantôt plus rapide, tantôt intermédiaire. Il devenait alors impossible de repérer la position vraie de la Lune à un moment donné et s'est ainsi imposée l'exigence de trouver un système permettant de répondre à cette nécessité. ⁴⁷ Les astronomes du passé ont alors nécessairement dû rechercher le mouvement régulier de la Lune dans son épicycle et ils ont ainsi pu connaître la valeur du mouvement moyen journalier, comme étant de 13 degrés et 10 minutes. ⁴⁸ Les anciens à travers leurs observations des éclipses lunaires ont réussi à trouver le temps que la Lune met pour accomplir une révolution complète de l'épicycle et ont donc réussi à estimer le mouvement régulier, c'est-à-dire le mouvement moyen journalier. Ils ont ensuite découvert et démontré que cet arc du mouvement moyen de la Lune, comparé avec le mouvement vrai de la Lune dans son épicycle, est tantôt plus grand, tantôt plus petit:

46 Peurbach [1472], ff. [4r-4v] : « Circumvoluitur tamen epicyclus taliter ut super centro proprio atque axe irregulariter moveatur. Sed haec irregularitas ad uniformitatem reducitur istam ut a puncto augis epicycli mediae, quicumque sit ille, quolibet die naturali tredecim gradus et quatuor minuta fere recedendo regulariter elongetur. Aux autem media epicycli est punctus circumferentiae epicycli quem ostendit linea a puncto diametraliter opposito centro eccentrici in circulo parvo per centrum epicycli ducta ». Le « petit cercle », auquel Peurbach fait référence, est déterminé par les mouvements des orbes *secundum quid* et des déplacements déterminés par les mouvements de leurs masses. Bien que la sphère de la Lune ait une structure différente, il s'agit du même mécanisme qui fait décrire un « petit cercle » au centre du déférent excentrique qui porte l'épicycle de Mercure aussi. Pour une explication de ceci, voir Malpangotto 2013a, partie 7- *Description du modèle et de ses mouvements*.

47 Voir Brudzewo 1900, 45-47.

48 Voir *Ibidem*, 46 et 53-54.

« Ensuite, à travers les démonstrations, ils [les astronomes] ont découvert que l'arc d'épicycle compris entre la ligne du mouvement moyen du centre de l'épicycle et le centre de la Lune est parfois plus grand, parfois plus petit que l'arc du mouvement moyen de la Lune [précédemment calculé] ». ⁴⁹

Ainsi les astronomes durent rechercher une méthode efficace pour transformer ces irrégularités en un mouvement régulier et uniforme. Pour ce faire ils ont considéré un *circulus imaginatus* déterminé par l'ensemble des lieux occupés par le corps lunaire en parcourant son épicycle. Sur celui-ci ils ont fixé un point précis toujours *invariatus* par rapport auquel la Lune dans son épicycle a un mouvement régulier, appelé donc par Peurbach apogée moyen « aux media » ou « longitudo longior aequalis » en reprenant l'expression de Ptolémée. ⁵⁰

L'apogée moyen de l'épicycle est le point repéré sur ce *circulus imaginatus* par la ligne droite menée depuis le point du « petit cercle » diamétralement opposé au centre de l'excentrique et passant par le centre de l'épicycle. ⁵¹ Il constitue un index de régularité : la ligne qui le détermine est strictement liée, de manière directe, au mouvement du centre de l'épicycle et, de manière indirecte, au mouvement du centre de l'excentrique, elle fait ainsi continuellement osciller en longitude ce point qui a un mouvement de *declinatio* et *reflexio* ; de ce point il est possible, en appliquant le mouvement moyen calculé, de retrouver la position vraie de la Lune dans son mouvement irrégulier.

Brudzewo s'arrête longuement sur ce sujet qui est l'un des passages les plus difficiles des *Theoricae novae planetarum*. ⁵² Il relève la complexité du fonctionnement de cet artifice purement abstrait qui implique une multiplicité d'entités géométriques – points, lignes, cercles – lesquels interagissent de manière dynamique en restant strictement liés entre eux. Tout son commentaire vise à mettre en évidence la façon dont cette composante reste étrangère à l'univers concret de Peurbach, tout en ayant la prétention d'interagir avec les composantes « réelles » de l'univers des *Theoricae*. Cette critique que Brudzewo adresse à

49 *Ibidem*, 66 : « Tandem demonstrationibus experti sunt arcum epicycli, inter lineam medii motus centri epicycli et inter centrum Lunae interceptum, esse maiorem aut minorem arcu medii motus Lunae in epicyclo ». Brudzewo précise que l'arc du mouvement moyen de la Lune dans son épicycle est tantôt plus grand et tantôt plus petit de l'arc d'épicycle compris entre l'apogée vrai -qui est repéré par la ligne du mouvement moyen du centre de l'épicycle- et le corps lunaire -repéré par la ligne allant du centre de la Terre au centre de l'épicycle-.

50 Voir *Ibidem*, 62-65.

51 Peurbach [1472], f. [4v] : « Aux autem media epicycli est punctus circumferentiae epicycli quem ostendit linea a puncto diametraliter opposito centro eccentrici in circulo parvo per centrum epicycli ducta. » Pour le « petit cercle », voir *supra* n. 46.

52 À ce sujet, Reinhold 1553, f. 30v affirme : « Cum hic locus sit unus e difficilimis, operae precium est, huic item scholia paulo uberiora subnectere ».

l'apogée moyen de la Lune se retrouve exprimée dans les mêmes termes dans le chapitre de son commentaire consacrée aux trois planètes supérieures. La différence principale est le point duquel part la ligne qui détermine l'apogée moyen de l'épicycle : pour la Lune, c'est le point du « petit cercle » diamétralement opposé au centre de l'excentrique ; pour les planètes supérieures, il est en revanche un point fixe, à savoir le centre du cercle équant.

Dans tous les cas, le point de l'apogée moyen est continuellement variable à la fois, par rapport à la concavité qui accueille réellement l'épicycle et par rapport à la surface réelle de l'épicycle, alors qu'il est « invariable » si l'on le considère comme un point mathématique de la circonférence du *circulus imaginatus* engendré par le parcours de la planète dans l'épicycle :

« l'apogée moyen est variable par rapport à la concavité dans laquelle l'épicycle est réellement placé, car il vient se trouver sur des points continuellement divers, et par rapport à la surface convexe réelle de l'épicycle, car, à cause du mouvement de l'épicycle, les points de la surface réelle de l'épicycle changent continuellement, alors que [l'apogée moyen] n'est pas variable par rapport à la circonférence imaginée sur l'épicycle sur laquelle le mouvement de la planète et sa révolution sont calculés. En effet, le point de l'apogée moyen *necesse est esse unum et eundem in quolibet loco...* »⁵³

Brudzewo est le seul commentateur des *Theoricae* qui soumet l'ouvrage de Peurbach à une authentique analyse critique objective, c'est-à-dire menée de manière cohérente avec la conception selon laquelle la nature céleste, distincte du monde sublunaire, incarne la perfection exprimée en termes de circularité et d'uniformité des mouvements. Fidèle à cette vision, dans son *Commentariolum*, il met en évidence l'impossibilité de concilier certains éléments qui deviennent les points faibles de l'univers de Peurbach. Cependant, son commentaire ne présente pas que des critiques négatives, il intervient aussi de manière active en proposant des solutions possibles ou des remèdes à ces fautes afin de construire un univers le plus possible réel.

53 Cf. Brudzewo 1900, 94 : « Quae quidem Aux media variabilis est quoad concavitatem illam, in qua situatur epicyclus, sic videlicet, quod continue sub alio et alio puncto sit concavitatis, vel etiam variabilis est in superficie convexa reali ipsius epicycli, ideo, quod continue alius et alius punctus superficiei realis epicycli succedit propter motum epicycli; non autem variabilis est quoad circumferentiam imaginatam in epicyclo, in qua motus planetae et revolutio computantur. Semper enim punctum Augis mediae necesse est esse unum et eundem in quolibet loco, ex causis quae dictae sunt in Luna ».

Pour la Lune Brudzewo 1900, 69, avait dit : « Non putet aliquis, quod Magister diceret Augem mediam esse variabilem: hoc enim esset contra prius dicta. Verum quidem est, quod Aux media dicitur variabilis quoad concavitatem in qua situatur epicyclus, vel in ipso epicyclo, [...] non autem in circulo imaginato, de quo dictum est ». Cf. aussi *Ibidem*, 70-71.

Ainsi, tout comme pour Vénus et Mercure, il propose pour la Lune de remplacer cet artifice mathématique qui est l'apogée moyen par une solution n'impliquant que des orbites réelles.

L'oscillation de l'apogée moyen selon un mouvement de *declinatio* et *reflexio* :

« est confirmée non seulement par les calculs, mais aussi par le mouvement réellement apparent de la Lune. En effet, en raison de cette *declinatio* et *reflexio*, la Lune présente certaines figures en s'éloignant du Soleil : elle apparaît concave ou creusée et cela au cinquième jour environ après la conjonction ; elle apparaît enflée ou bossue et cela au dixième jour environ après la conjonction ». ⁵⁴

Brudzewo révèle que pour sauver ces configurations particulières de la Lune en ces moments précis de sa révolution et par rapport à la position du Soleil certains ont imaginé l'existence d'un second épicycle qui fait accomplir à l'épicycle qui porte la Lune le mouvement de *declinatio* et *reflexio*. ⁵⁵

Son avis touchant cette hypothèse est positif : « cela ne comporte aucun inconvénient », bien au contraire, cette solution permettrait aussi de rendre compte d'un phénomène qui demeurerait sans solution depuis le temps de Ptolémée et dont le modèle ne pouvait pas expliquer que les taches lunaires apparaissent toujours les mêmes au regard de l'observateur situé sur la Terre.

Les astronomes auxquels Brudzewo fait anonymement allusion sans en préciser l'identité, en posant le double épicycle, ont donc expliqué aussi la raison de cette invariabilité des taches lunaires et Brudzewo le souligne par ces mots :

« ces astronomes ont imaginé que la Lune a deux épicycles, l'un plus grand et l'autre plus petit dans lequel est situé le corps lunaire, de manière que l'épicycle plus grand possède un seul mouvement de *declinatio* et *reflexio* ; et, en vertu de ceci, précisément grâce à ce [nouveau] épicycle, les taches de la surface lunaire apparaissent être toujours

54 Cf. *Ibidem*, 67 : « [...] *declinatio* et *reclinatio* non ex sola computatione proveniat, sed ex motu realiter apparenti in Luna. Luna enim ratione istius declinationis et reflexionis consequitur quasdam figuras post elongationem eius a Sole, videlicet quod apparet concava, seu excisa, et hoc circa quintum diem fere post conjunctionem. Apparet etiam tumida vel gibbosa, et hoc circa decimum diem fere post conjunctionem ».

55 Cf. *Ibidem*, 67-68 : « Propter ergo salvare istum motum apparentem in Luna, quidam imaginantur epicyclum talem in Luna, quod habeat alium intra se inclusum, qui movet epicyclum deferentem Lunam motu declinationis et reflexionis, quod non videtur esse inconveniens ».

les mêmes sans aucune variation, ce qui ne pourrait pas se produire si un tel épicycle n'existait pas ».⁵⁶

Ce sont alors précisément les phénomènes, et donc des données sensibles et concrètes, qui ont persuadé Brudzewo d'accorder validité à l'hypothèse de ces astronomes anonymes qui avaient envisagé « imaginantur » le modèle à double épicycle de la Lune⁵⁷ et de partager avec eux la possibilité d'introduire une modification au modèle de la sphère de la Lune conçu par Ptolémée et suivi par Peurbach. Ces aspects « quosdam figuras » que la Lune prend quand elle apparaît creusée ou enflée constituent donc la raison qui impose la nécessité de devoir poser un second épicycle grâce auquel non seulement les apparences sont sauvées, mais surtout, l'artifice mathématique que Peurbach avait adopté devient concret.

Régularité et irrégularité des mouvements des corps célestes

Orientation générale de l'analyse de Brudzewo

Dans la cohérence qui guide son discours, Brudzewo enrichit de manière significative le texte des *Theoricae* car il y insère une composante qui, bien que totalement omise, se révèle être le fondement de l'univers nouveau présenté par Peurbach : les phénomènes qui sont vus sur la voûte céleste dans leur double fonction de cause et d'effet.

Ces mêmes phénomènes qui constituent une partie considérable de l'*Almageste*, comme référence pour la détermination de ces cercles particuliers qui composent les différents systèmes planétaires, sont repris dans le *Commentariolum* de Brudzewo pour devenir la référence constante pour la détermination des nouveaux orbes partiels qui constituent les modèles présentés dans les *Theoricae novae planetarum*. En effet, pour chaque planète l'astronome cracovien décrit les diverses apparences qui ont rendu nécessaire l'adoption des excentriques et des épicycles, mais il explicite aussi les raisons qui ont rendu nécessaire

56 *Ibidem*, 68 n.1 : « Lunam quidam imaginantur habere duos epicyclos, unum maiorem, alterum minorem, in quo est eius corpus situatum, et ita epicyclus superior tantum, motu declinationis et reflexionis movetur. Et pro tanto illa macula, quae in Luna aspicitur, semper una et eadem apparet propter istum epicyclum: quod non esset, si talis epicyclus non esset ». Ce passage se trouve dans la marge du f. 51r du manuscrit 759, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław : celui qui a transmis une des premières versions connues du cours de Brudzewo.

57 Les recherches de Grazyna Rosinska sur les maîtres d'astronomie à l'université de Cracovie dans la première moitié du XV^e siècle, lui ont permis de retrouver cette solution proposant un double épicycle pour la Lune dans le commentaire de que Sandivogius de Czechel fait de la *Theorica planetarum Gerardi* vers 1430. Pour plus de précisions, voir Rosinska 1974.

les autres orbes partiels. De cette manière, il met en évidence les causes (« quod ») qui ont déterminé la structure de ces sphères planétaires particulières. Grâce à ces ajouts, l'univers que Peurbach décrit sans en évoquer aucune relation causale, comme s'il était une construction arbitraire, révèle sa raison d'être.

Mais c'est avec le commentaire de la deuxième partie de chaque section consacrée aux planètes que Brudzewo révèle toute la subtilité de son analyse.

Pour que le phénomène de cause des modèles en devienne aussi l'effet, la fonction des mouvements qui s'accomplissent à l'intérieur de chaque sphère planétaire est fondamentale: la combinaison des mouvements de chaque orbe doit reproduire rigoureusement ce que l'on observe sur la voûte céleste. C'est précisément cet objectif qui a guidé le travail de l'astronome viennois : pour chaque sphère planétaire il a conçu « autant d'orbes partiels que nécessaire et suffisant pour sauver le mouvement [des corps célestes] qui apparaît irrégulier sur le zodiaque ».⁵⁸

Peurbach a atteint son objectif, mais – et ceci n'échappe pas à Brudzewo – au détriment de la perfection du monde céleste pour les mouvements duquel il a dû introduire l'irrégularité.

Il est juste de souligner que le texte des *Theoricæ novae planetarum* est très synthétique et définit la qualité des mouvements des orbes qui portent les corps des planètes et des luminaires de manière presque axiomatique.

De Peurbach on sait seulement que :

- a) l'excentrique qui porte l'épicycle de la Lune se meut de manière irrégulière sur son centre et sur son axe : « quamvis eccentricus epicyclum deferens super axe atque polis suis moveatur, non tamen super eisdem regulariter movetur »⁵⁹;
- b) l'excentrique qui porte l'épicycle de chacun des cinq planètes se meut de manière irrégulière sur son centre et sur son axe : « Motus autem epicyclum deferentis super centro et polis suis difformis est »⁶⁰ ;
- c) l'épicycle de la Lune tout comme celui de chaque planète se meut irrégulièrement par rapport à son centre et à son axe : « Circumvoluitur tamen epicyclus taliter ut super centro proprio atque axe irregulariter moveatur ».⁶¹

58 Brudzewo 1900, 47 : « Tot habet orbes Luna, quot requirunt et sufficiunt ad salvandum apparentem motum Lunae, diversum in Zodiaco ». Cette même phrase, tirée de la section consacrée à la Lune, est répété systématiquement par Brudzewo pour chaque planète.

59 Peurbach [1472], f. [3r] : on a juste corrigé « epyciclum » en « epicyclum ».

60 *Ibidem*, f. [6v].

61 *Ibidem*, f. [4r] ; voir aussi f. [7r].

À chacun de ces corps célestes Peurbach a assigné des mouvements irréguliers et il a ainsi construit un univers qui contraste fortement avec la vraie nature du monde réel. À ce sujet, la lecture des *Theoricae novae planetarum* menée par Brudzewo se révèle encore une fois singulière. Ce dernier se distingue des autres commentateurs lesquels, quitte à confirmer toutes les affirmations de Peurbach, se prodiguent en démonstrations avec la seule intention d'étayer de manière acritique, même sur un sujet aussi important, la justesse de ces assomptions axiomatiques.

L'astronome cracovien ne peut pas accepter de telles assomptions puisque pour lui l'univers des *Theoricae* doit être la description du monde céleste tel qu'il est réellement et les mouvements qui s'accomplissent dans celui-ci doivent refléter la circularité et l'uniformité parfaites imposées par les principes. Et, bien que ces affirmations ne soient pas vraies, il ne les démentit toutefois pas catégoriquement et, en abordant cette thématique, son analyse devient particulièrement subtile car le sujet en question introduit dans la partie la plus délicate de l'univers de Peurbach.

Il cherche à comprendre, orbe par orbe, la logique sous-jacente au raisonnement qui a conduit l'astronome viennois à établir de manière presque universelle l'irrégularité dans la perfection du monde céleste. Seulement après avoir prouvé que ces affirmations étaient fondées en réalité sur une équivoque et donc seulement après avoir invalidé l'absoluité de ces axiomes, Brudzewo peut confirmer fermement que les mouvements des corps célestes considérés « in se et absolute » sont rigoureusement uniformes. Il pourra ainsi déclarer que :

- a) si le mouvement de l'excentrique qui porte l'épicycle de la Lune est considéré en sens absolu, c'est-à-dire tel qu'il est sur son axe et sur ses pôles et autour de son centre, sans le référer au zodiaque, alors son mouvement est régulier : « si motus ecentrici Lunae absolute accipiatur (prouit scilicet est in suo axe et polis et circa centrum ecentrici, non referendo ad Zodiacum), sic motus eius est regularis »⁶² ;
- b) le mouvement de l'excentrique qui porte l'épicycle de chacune des cinq planètes, considéré en lui-même et en sens absolu, dans la réalité est uniforme : « motus deferentis epicyclum, in se et absolute consideratus, de facto uniformis est »⁶³ ;
- c) l'épicycle de la Lune tout comme celui de chaque planète se meut uniformément seulement si l'on considère leurs mouvements *simpliciter* en eux-mêmes et en sens absolu, exclusivement par rapport à leurs centres et sans aucune relation à quelques autres points : « epicyclus [movetur uniformiter] circa centrum suum, quod quidem verum est considerando motum epicycli simpliciter in se et absolute, sine relatione ad aliquem punctum ».⁶⁴

62 Brudzewo 1900, 55.

63 *Ibidem*, 85.

64 *Ibidem*, 65. Ce passage se réfère à l'épicycle de la Lune; pour l'épicycle des planètes

Par la suite on va essayer de faire ressortir les éléments sur lesquels repose l'analyse critique menée par Brudzewo.

Mouvements réels et mouvements apparents

Dans les sphères de la Lune et des cinq planètes, l'astre est fixé à une petite sphère, l'épicycle, qui à son tour est porté par l'excentrique. L'orbe excentrique, situé à l'intérieur des deux orbes *circumpositi* d'épaisseur difforme, tourne autour de son propre centre et fait accomplir à l'épicycle sa révolution complète selon sa propre périodicité, différente pour chaque planète.

Le zodiaque est la bande de la huitième sphère sur laquelle se reflètent les mouvements des corps célestes. Le centre du zodiaque est le centre du monde, point qui est différent du centre de l'excentrique de chaque planète et éloigné de celui-ci d'une distance fixe.

En considérant les déplacements des corps célestes, il faut donc distinguer deux typologies de mouvement :

- le mouvement réel, c'est-à-dire le mouvement qu'effectue réellement l'orbe excentrique en portant avec lui l'épicycle, ou le mouvement qu'effectue l'épicycle en portant avec lui l'astre fixé en lui ;
- le mouvement apparent, c'est-à-dire le mouvement que, depuis le centre du monde, on voit accomplir par l'épicycle ou par l'astre même sur la bande du zodiaque, comme reflet du mouvement réel.

Brudzewo a toujours présent à l'esprit la distinction entre l'univers réel, qui par sa nature est le royaume de la perfection et de l'immutabilité, où les mouvements sont parfaitement circulaires et uniformes, et l'aspect phénoménal, c'est-à-dire l'univers tel qu'il apparaît sur la bande du zodiaque à un observateur placé au centre du monde.

Entre l'univers réel et le phénomène, il y a une relation étroite pour laquelle, selon Brudzewo, le monde réel doit avoir sa propre identité et ses propres caractéristiques, alors que le monde phénoménal, lui, est subordonné car il est le reflet de la composition des mouvements de la réalité céleste telle qu'elle est en elle-même. Dans sa lecture des *Theoricae*, le *Magister* cracovien trouve que dans celles-ci demeure une relation étroite entre ces deux aspects du monde céleste, mais il va prouver que dans l'univers de Peurbach, le rapport est renversé : ce n'est pas la réalité qui prévaut et impose ses conditions, mais c'est l'apparence qui détermine les caractéristiques « vraies » de la réalité.

supérieures, Brudzewo s'exprime dans les mêmes termes, cf. p. 93.

a) *L'excentrique qui porte l'épicycle de la Lune*

Dans l'univers des *Theoricae novae planetarum*, l'épicycle de la Lune est vu, dans son mouvement apparent, parcourir à vitesse régulière la bande du zodiaque, alors que son mouvement réel s'accomplit à vitesse irrégulière dans son excentrique. Pour décrire le mouvement de l'excentrique qui porte l'épicycle de la Lune, Peurbach affirme :

« L'orbe déferent l'épicycle se meut, selon l'ordre des signes, régulièrement sur le centre du monde de telle manière que le centre de l'épicycle parcourt 13 degrés et 11 minutes environ chaque jour naturel ». ⁶⁵

En ces quelques mots, le *Magister* viennois a indiqué la direction et la régularité du mouvement de l'excentrique de la Lune par rapport au centre du monde et a précisé que l'épicycle parcourt chaque jour sur le zodiaque 13 degrés et 11 minutes environs. Il a ainsi défini le mouvement apparent de l'épicycle de la Lune.

Afin de rendre plus claire et explicite l'assomption de Peurbach, Brudzewo introduit dans cette partie de son commentaire une composante essentielle de cet univers et évoque la relation très étroite qui relie les deux lumineux : la Lune et le Soleil.

Dans l'analyse de la sphère du Soleil que l'astronome cracovien vient de terminer, il a pu relever que ce lumineux réalise dans l'univers des *Theoricae* l'essence de la nature céleste et ses principes : son mouvement s'accomplit réellement dans son excentrique à vitesse régulière, et son excentricité par rapport au centre de l'univers permet de rendre raison de l'irrégularité du mouvement apparent. Il devient ainsi naturel pour Brudzewo d'affirmer que :

« le mouvement régulier du Soleil dans son excentrique est le principe premier de l'astronomie. Celui-ci nié, toute considération astronomique devient impossible ». ⁶⁶

Le Soleil constitue effectivement un repère pour tous les corps célestes et en particulier pour les mouvements de ces derniers. Brudzewo reprend ce qu'avait affirmé Peurbach selon lequel :

« dans ses mouvements chacune des six planètes partage quelque chose avec le Soleil et le mouvement de celui-ci est presque un miroir commun et une norme de mesure pour leurs mouvements »

65 Peurbach [1472], f. [2v] : « Orbis vero epicyclum deferens movetur secundum successionem signorum regulariter super centro mundi ita quod omni die naturali tali motu centrum epicycli XIII gradus et XI minuta fere perambulet ».

66 Brudzewo 1900, 30 : « [...] Solem in suo ecentrico regulariter moveri sit primum principium in Astronomia (ideo cum negante illud, non est amplius in Astronomia disputandum), [...] ».

afin de souligner la façon dont les orbites défèrent l'apogée et l'orbite défèrent l'épicycle de la Lune ont, dans leurs mouvements, « une connexion naturelle avec le Soleil ». ⁶⁷

En s'adressant directement à ses auditeurs, le *Magister* cracovien explique comment chacun peut relever la régularité du mouvement apparent de l'épicycle de la Lune par rapport au Soleil :

« toi aussi tu pourras le calculer en procédant comme suit : multiplie le mouvement du Soleil, c'est-à-dire celui que le Soleil accomplit en un jour, pour le temps d'un mois et, au produit, ajoute 360 degrés, on obtiendra ainsi en effet les degrés que le centre de l'épicycle parcourt en un mois. Divise cette somme par le temps d'une lunation, tu trouveras de combien le centre de l'épicycle, ou le défèrent l'épicycle, se meut régulièrement chaque jour sur le zodiaque ». ⁶⁸

Il s'agit d'une méthode calculatoire qui trouve son fondement rigoureux dans la relation reliant des entités géométriques bien précises. En effet, tout de suite après, dans son commentaire, il précise :

« il est possible de démontrer, aussi à l'aide des mathématiques, que le centre de l'épicycle se meut régulièrement sur le centre du monde. En effet, par rapport à la ligne du mouvement moyen du Soleil, le centre de l'épicycle forme des angles égaux autour du centre du monde et, en des temps égaux, coupe des arcs égaux sur le zodiaque, c'est-à-dire qu'il se meut régulièrement *sicut dicit littera scilicet 13 gradibus 10 minutis* ». ⁶⁹

67 Peurbach [1472], f. [9v] : « Ex his igitur et dictis superius manifestum est singulos sex planetas in motibus eorum aliquid cum Sole communicare: motumque illius quasi quoddam commune speculum et mensurae regulam esse motibus illorum ». Peurbach n'introduit ce concept que dans la section consacrée à la sphère de Mercure, alors que Brudzewo l'anticipe à la section *De Luna*. Brudzewo 1900, 57 : « Hic iam [Magister] determinat de motu eorumdem [Augem deferentium et epicyclum deferentis] per comparationem ad Solem, cum quo Luna et ceteri planetae in motibus suis naturalem habent connexionem, [...] ». Il fait ensuite remarquer que cette idée était déjà exprimée par Haly dans son commentaire au premier livre du *Quadripartitum* de Ptolémée.

68 Brudzewo 1900, 54 : « [...] et tu etiam poteris reperire sic. Motum Solis, quem habet Sol in uno die per tempus unius mensis multiplica et productio 360 gradus adde: sic enim provenient gradus, quos centrum epicycli percurrit in uno mense. Hoc itaque aggregatum per tempus unius lunationis divide, et in quotiente habebis, quantum centrum epicycli, seu deferens epicyclum, movetur quolibet die naturali motu aequali in Zodiaco ».

69 *Ibidem*, 54 : « Ex his etiam, centrum epicycli moveri aequaliter super centro mundi, mathematice ostendi potest, scilicet per respectum ad lineam medii motus Solis, respectu

Cette régularité fait référence à la variation d'amplitude angulaire entre la ligne du mouvement moyen du Soleil et la ligne du mouvement moyen de l'épicycle de la Lune,⁷⁰ lesquelles forment sur le centre du monde des angles égaux, qui expriment des temps égaux auxquels correspondent des arcs égaux sur le zodiaque qui indiquent le parcours correspondant de l'épicycle de la Lune : celui-ci est vu accomplir sur le zodiaque des arcs égaux en temps égaux. C'est précisément cette régularité du mouvement apparent qui devient pour Peurbach la prémisse de laquelle déduire directement l'irrégularité du mouvement réel de l'épicycle qu'il exprime dans un premier corollaire :

« De ces prémisses suit que, bien que l'excentrique déferent l'épicycle se meuve sur son axe et sur ses pôles, il ne se meut toutefois pas régulièrement sur ceux-ci ».⁷¹

Peurbach a ainsi inséré le mouvement irrégulier dans la perfection de la réalité céleste et celle-ci n'est que la première d'une série de déclarations d'irrégularité qu'il étendra également aux excentriques de toutes les planètes et aux épicycles qui portent les planètes ou le corps de la Lune.

Brudzewo ne peut pas rester impassible face à de telles admissions et ne peut pas accepter de commenter de manière acritique le texte des *Theoricae*. Il cherche à reconstituer la logique sous-jacente qui a guidé l'astronome viennois pour formuler ses déductions.

Peurbach non seulement déclare que le mouvement réel de l'épicycle de la Lune est irrégulier dans son excentrique et par rapport à son centre, mais il montre aussi comment cela peut être prouvé géométriquement :

« En effet, marqués sur le centre du monde des angles égaux vers l'apogée et vers le périégée, l'angle qui est vers l'apogée comprend un arc d'excentrique plus grand que l'autre angle qui est vers le périégée ».⁷²

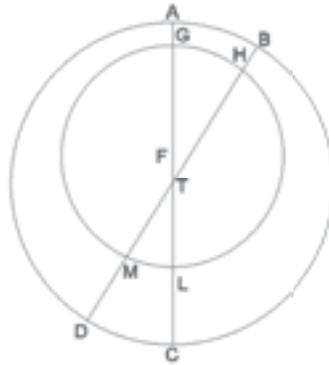
cuius circa centrum mundi aequales constituit angulos, et aequales in temporibus aequalibus de Zodiaco resecat arcus. Ergo movetur aequaliter, sicut dicit littera, scilicet 13 gradibus 10 minutis etc. ». Il est utile de remarquer que Peurbach donne « 13 degrés et 11 minutes environ ».

70 La ligne du mouvement moyen du Soleil est la ligne droite menée du centre du monde au zodiaque et parallèle à la ligne du mouvement vrai du Soleil dans son excentrique. Elle réfère ainsi sur le zodiaque le mouvement que réellement le Soleil accomplit dans son excentrique à vitesse régulière.

La ligne du mouvement moyen de l'épicycle de la Lune est la ligne passant par le centre de l'épicycle, menée du centre du monde au zodiaque.

71 Peurbach [1472], f. [3r] : « Ex istis sequitur primo quod quamvis eccentricus epicyclum (*sic*) deferens super axe atque polis suis moveatur, non tamen super eisdem regulariter movetur ».

72 *Ibidem*, f. [3r] : « Signatis enim aliquibus angulis aequalibus super centro mundi versus



En suivant ces indications de Peurbach, on peut considérer la circonférence ABCD qui représente le zodiaque de centre T et GHLM la circonférence qui représente l'excentrique centré en F différent de T.

Selon la logique de l'astronome viennois, cela implique que :
 si la ligne BD et la ligne de l'apogée AC déterminent deux angles ATB et CTD égaux sur le centre du monde T,
 alors les arcs du zodiaque qu'ils sous-tendent, AB et CD, seront égaux.

Mais, fait remarquer Peurbach, la même ligne BD coupera des arcs inégaux sur l'excentrique GHLM, c'est-à-dire que l'angle ATB comprendra sur l'excentrique l'arc GH qui est plus grand que l'arc LM compris par l'angle CTD.

Ceci signifie qu'en des temps égaux, mesurés sur le centre du monde T, le centre de l'épicycle parcourrait sur le cercle excentrique des arcs inégaux : cela signifie que son mouvement est irrégulier.

Ceci explique la logique sous-jacente à la pensée de Peurbach qui a toutefois accompli un passage dépourvu de fondement, c'est-à-dire qu'il a montré géométriquement, à l'aide de la figure qu'il a évoquée, une relation équivoque : il a en effet transféré les arcs égaux sur le zodiaque, directement sur l'excentrique, où ils sont devenus inégaux. De cette manière, il a établi une relation qui n'a aucun fondement de vérité.

Une fois déclarée l'inégalité des arcs sur l'excentrique, revient la rigueur mathématique : ces mêmes arcs inégaux de l'excentrique sont sous-tendus par des angles qui seront eux aussi inégaux sur le centre de l'excentrique qui est le centre du mouvement réel de l'orbe qui porte l'épicycle de la Lune. Comme la qualité du mouvement est évaluée sur



augem et oppositum: qui versus augem est maiorem arcum eccentrici quam alter versus oppositum complectitur ».

le centre du mouvement même, alors ces angles inégaux sur le centre de l'excentrique expriment un mouvement irrégulier de l'excentrique déférent l'épicycle. Peurbach a ainsi mis en relation directe le mouvement apparent avec le centre du mouvement réel de l'excentrique de la Lune.

Ayant saisi l'équivoque dans lequel est tombé l'astronome viennois, Brudzewo peut affirmer dans son commentaire que :

« le premier corollaire a vérité, c'est-à-dire qu'il est vrai que l'excentrique sur son axe, sur ses pôles et autour de son centre se meut irrégulièrement, mais – ajoute Brudzewo – seulement si son mouvement [régulier tel qu'il apparaît] sur le zodiaque était évalué par rapport au centre de l'excentrique et non pas par rapport au centre du monde ». ⁷³

Mais Peurbach, dans un deuxième corollaire, a précisé de quelle façon se réalise une telle irrégularité :

« Deuxièmement, plus l'épicycle de la Lune sera proche de l'apogée du déférent, plus son centre se mouvra rapidement (*velocius*) et plus il sera proche du périhélie plus [son centre se mouvra] lentement (*tardius*) ». ⁷⁴

Il est possible de relever une autre inconséquence qui repose, elle aussi, sur un équivoque grave qui n'échappe pas à l'analyse raffinée de Brudzewo. Peurbach n'a en effet pas maintenu rigoureusement distincts les cercles et leurs centres respectifs sur lesquels s'effectuent les mouvements, c'est-à-dire le zodiaque sur lequel on observe le mouvement apparent de l'épicycle, et l'excentrique sur lequel s'accomplit le mouvement réel de l'épicycle. Il a au contraire subordonné toutes les relations examinées entre ces deux cercles en maintenant inchangé le point de vue et a évalué les différents mouvements par rapport à un point unique : le centre du monde T. Par rapport à ce point unique d'observation, il a aussi déduit la plus grande ou la plus petite vitesse du mouvement réel : à des angles égaux sur le centre de l'univers correspondent des arcs inégaux sur l'excentrique. Cela signifie que, en des temps égaux évalués sur le centre du monde, l'épicycle de la Lune sera réellement, selon Peurbach, tantôt plus rapide, tantôt plus lent dans son excentrique, c'est-à-dire dans l'orbe où il se meut réellement et autour du centre de son mouvement, car l'arc plus petit de

73 Brudzewo 1900, 55 : « Corellarium primum habet veritatem, scilicet quod ecentricus super axe suo et polis et circa centrum suum movetur irregulariter, motum ipsius in Zodiaco computando respectu centri ecentrici et non respectu centri mundi ».

74 Peurbach [1472], f. [3r] : « Secundo quanto epicyclus lunae augi deferentis eum vicinior fuerit tanto velocius centrum eius movetur et quanto vicinior augis eiusdem opposito tanto tardius ».

l'excentrique sera parcouru par l'épicycle à vitesse inférieure par rapport à l'arc plus grand de l'excentrique qui, devant être parcouru en des temps égaux, devra nécessairement être parcouru plus rapidement.

L'astronome viennois a ainsi confondu ou plutôt assimilé le mouvement apparent au mouvement réel.

Une fois éclaircis les équivoques sur lesquels reposent les affirmations de Peurbach, Brudzewo peut confirmer avec une certitude indiscutable que la vraie nature de l'orbe excentrique qui porte l'épicycle de la Lune, comme pour tous les corps célestes, s'exprime à travers des mouvements parfaitement circulaires et uniformes autour de son centre. En effet, « si le mouvement de l'excentrique de la Lune est considéré en sens absolu, c'est-à-dire tel qu'il est sur son axe et sur ses pôles et autour de son centre, sans le référer au zodiaque, alors son mouvement est régulier » :

« si motus ecentrici Lunae absolute accipiatur (prout scilicet est in suo axe et polis et circa centrum ecentrici, non referendo ad Zodiacum), sic motus eius est regularis ».⁷⁵

b) L'excentrique qui porte l'épicycle des planètes

On voit les planètes supérieures – Mars, Jupiter et Saturne – accomplir sur le zodiaque un mouvement irrégulier sur différents aspects : dans leurs déplacements en latitude, dans leur parcours en longitude, par rapport au Soleil.

Brudzewo tire la description de ces irrégularités du texte de l'*Almageste* qu'il cite intégralement pour souligner que les planètes ont un mouvement irrégulier par rapport au zodiaque et par rapport au Soleil :

« Dans ces mots Ptolémée explique de quelle façon les cinq planètes ont un mouvement irrégulier sur le zodiaque puisqu'elles se meuvent parfois au nord, parfois au sud de l'écliptique et parfois sur l'écliptique ; parfois d'un mouvement lent et parfois rapide. Et elles ont aussi un mouvement irrégulier par rapport au Soleil. En effet, quand on les voit proches du Soleil, leur mouvement [...] apparent semble rapide, quand on les voit éloignées du Soleil d'un quadrant, il semble qu'elles ne se meuvent pas mais restent immobiles [...] et quand elles sont en opposition au Soleil, semblent rétrograder ».⁷⁶

75 Brudzewo 1900, 55.

76 *Ibidem*, 79 : « Et hoc patet per Ptolemaeum dictione IX capitulo 2^{do}, ubi inquit: In inquisitione vero diversitatum ingreditur ex dubitatione non parum propterea, quod videntur cuiusque stellarum duae diversitates, quae non sunt aequales, neque in magnitudine, neque in temporibus reditionum, quarum una videtur propter Solem et altera propter partes orbis signorum. Et cum coniunxerimus eas ambas, erit semper proprietates cuiuscumque earum propter illud difficilis

Ces irrégularités apparentes amènent Peurbach à attribuer l'irrégularité directement au mouvement des excentriques qui portent les épicycles des trois planètes supérieures en affirmant que « *Motus autem epicyclum deferentis super centro et polis suis difformis est*⁷⁷ ».

Cette fois-ci Brudzewo démentit sans préambule l'assomption de Peurbach et il le fait au nom des principes qui expriment l'essence de la nature : assigner l'irrégularité aux déférents les épicycles serait en effet :

« en contradiction avec cette *maxima* selon laquelle on dit que tout mouvement d'un corps céleste est simple et régulier, et en contradiction avec la *philosophia* selon laquelle le mouvement d'un corps simple doit être simple et régulier. Ainsi, le mouvement du déférent l'épicycle pris en lui-même et en sens absolu, dans la réalité est uniforme ».⁷⁸

Encore une fois il révèle la façon dont les considérations de Peurbach touchant son univers dérivent du fait qu'il a confondu le mouvement apparent et le mouvement réel. Seulement si l'on reste dans cette interprétation particulière et partielle de ces mouvements, c'est-à-dire seulement si le mouvement des déférents est évalué depuis des points de vue totalement impropres – centre du monde, zodiaque – par rapport à leur mouvement réel, ce que le *Magister* dit est vrai.⁷⁹ Mais chez Peurbach cette référence relative n'apparaît pas, il décrit l'orbe déférent l'épicycle en soi et sans aucune relation : « l'orbe qui porte l'épicycle se meut sur son axe [...] selon l'ordre des signes » mais « *super centro et polis suis difformis est* ».⁸⁰ En ce sens absolu il assigne ainsi aux déférents qui portent les épicycles le mouvement irrégulier.

cognitionis. Haec ille. In istis verbis Ptolemaeus vult quomodo quinque stellae erraticae, seu planetae habent diversum motum in Zodiaco, quia moventur aliquando versus septemtrionem, aliquando versus meridiem ab ecliptica et interdum vero sub ecliptica, aliquando motu tardo, aliquando veloci. Respectu etiam Solis habent diversum motum. Cum enim videbantur prope Solem, eorum motus [...] apparebat velox, cum circa quadras a Sole non moveri quidem sed stare videbantur, [...] et cum in diametro fuerunt cum Sole, contra signa tendebant ».

77 Peurbach [1472], f. [6v].

78 Brudzewo 1900, 85 : « Hoc enim esset contra illam maximam, qua dictum est, omnem motum corporis coelestis simplicem et aequalem esse, et contra philosophiam, quae corporis simplicis et regularis motum ponit simplicem ac regularem. Et sic motus deferentis epicyclum, in se et absolute consideratus, de facto uniformis est [...] ».

79 Cf. *Ibidem*, 85 : « Et hoc quidem esse verum, videlicet quod centrum epicycli habeat diversum motum in suo ecentrico [...] ».

80 Peurbach [1472], ff. [6r-6v] : « Sed orbis epicyclum deferens super axe suo axem zodiaci secante secundum successionem signorum movetur [...] Motus autem epicyclum deferentis super centro et polis suis difformis est ».

Encore une fois Peurbach a introduit l'irrégularité dans le règne de la perfection et Brudzewo déclare la fausseté « non est verum » de cet axiome :

« le fait que le centre de l'épicycle se meut irrégulièrement sur le centre de l'excentrique, n'est pas vrai *intelligendo simpliciter* ». ⁸¹

Après avoir souligné l'absence de fondement de l'affirmation de Peurbach, Brudzewo peut déclarer librement que « le mouvement du déférent l'épicycle des planètes considéré en lui-même et en sens absolu, dans la réalité est uniforme » :

« motus deferentis epicyclum, in se et absolute consideratus, de facto uniformis est ». ⁸²

c) *Le corps de la Lune et des planètes dans leur épicycle*

Dans les *Theoricae novae planetarum*, la qualité du mouvement de l'épicycle qui porte le corps de la Lune est décrite par ces mots :

« l'épicycle tourne de telle manière qu'il se meut irrégulièrement sur son centre et sur son axe ». ⁸³

L'épicycle, dans lequel la Lune accomplit son mouvement réel autour de son centre de rotation, se meut selon Peurbach à vitesse irrégulière par rapport à ce centre précisément. De même pour les planètes dans leurs épicycles respectifs dont le « mouvement est irrégulier sur le centre de l'épicycle » : « [motus] est super centro epicycli irregularis ». ⁸⁴

On est encore une fois face à l'admission du mouvement irrégulier à l'intérieur de la réalité céleste. Et Brudzewo oppose aux mots de Peurbach l'autorité de Campanus de Novare selon lequel :

« la Lune se meut régulièrement dans son épicycle, de même que l'épicycle autour de son centre, et cela est vrai si l'on considère le mouvement de l'épicycle *simpliciter* en lui-même et en sens absolu, sans aucun rapport à aucune autre point ».

Il s'agit d'une affirmation qui confirme la régularité du mouvement de tout orbe céleste précisément en raison de l'essence de sa nature :

81 Brudzewo 1900, 85: « [...] centrum epicycli super centro ecentrici irregulariter moveri, non est verum intelligendo simpliciter ».

82 *Ibidem*, 85.

83 Peurbach [1472], f. [4r] : « Circumvoluitur tamen epicyclus taliter ut super centro proprio atque axe irregulariter moveatur ».

84 *Ibidem*, f. [7r].

« Cuilibet enim orbi coelesti motus uniformis convenit ratione suae naturae ».⁸⁵

Brudzewo devient de plus en plus explicite et porte l'attention sur un aspect bien précis du discours de Peurbach : le point de vue particulier à partir duquel il tire toutes ses considérations :

« ce que le *Magister* dit dans son texte, à savoir que l'épicycle tourne de manière irrégulière, est vrai, mais seulement par rapport à ce qui apparaît depuis le centre du monde ».⁸⁶

Ce même concept est rappelé également au sujet des planètes pour lesquelles :

« ce que le *Magister* dit, à savoir que ce mouvement de l'épicycle est irrégulier sur son centre, doit s'entendre en considérant le mouvement de l'épicycle non pas en soi et en sens absolu, mais plutôt par rapport à l'œil [de l'observateur] qui regarde ces mouvements depuis le centre du monde. En effet, sur celui-ci, le mouvement de l'épicycle se reflète (*cadit*) comme irrégulier [...] et de cette manière, il s'accomplit par rapport au centre du monde ».⁸⁷

Les observations ont en effet montré que l'arc d'épicycle compris entre la ligne du mouvement moyen du centre de l'épicycle – rapportée au centre du monde – et la position du centre de la Lune ou des planètes – elle aussi rapportée au centre du monde – est toujours plus grande ou plus petite que l'arc du mouvement moyen que le corps céleste devrait accomplir sur son épicycle⁸⁸. C'est sur la base de cette inégalité évidente entre le mouvement vu et, cette fois-ci, le mouvement calculé que, pour Peurbach, l'irrégularité du mouvement de l'épicycle devient manifeste.

Encore une fois, Brudzewo souligne l'équivoque qui recourt systématiquement dans le texte des *Theoricae novae planetarum*. Pour les épicycles aussi le *Magister* viennois a transféré directement au mouvement réel l'irrégularité du mouvement apparent. Il a

85 Brudzewo 1900, 65 : « [...] Luna in epicyclo movetur uniformiter et sic [movetur] et epicyclus circa centrum suum, quod quidem verum est considerando motum epicycli simpliciter in se et absolute, sine relatione ad aliquem punctum. Cuilibet enim orbi coelesti motus uniformis convenit ratione suae naturae ».

86 *Ibidem*, 65 : « Quod autem Magister dicit in littera, epicyclum circumvolvi irregulariter, etiam verum est in ordine ad aspectum in centro mundi constitutum [...] ».

87 *Ibidem*, 93-94 : « Quod etiam Magister dicit, illum motum epicycli esse irregularem super centro suo, intelligit non simpliciter et secundum se considerando motum epicycli, sed in ordine ad oculum, qui de centro orbis signorum illum spectaret motum; sibi enim motus epicycli irregularis cadit [...] sic ergo fit irregularis in ordine ad centrum mundi ».

88 *Ibidem*, 65-66 pour la Lune ; 93-94 pour les planètes supérieures.

considéré comme absolu un mouvement qui est au contraire relatif. Peurbach, pour les épicycles aussi, n'a pas respecté leur essence qui se réalise à travers un mouvement circulaire et uniforme sur leurs centres.

Faiblesses de l'approche de Peurbach : le point de vue des astronomes

Pour tous les cas examinés, Brudzewo a mis en évidence que Peurbach a dû reconnaître l'irrégularité dans le monde de la perfection céleste puisqu'il a partagé l'approche adoptée par les astronomes lesquels reconduisent leurs considérations concernant le mouvement des astres à leur point d'observation qui est la Terre, immobile, placée au centre de l'univers. En effet, les astronomes :

« repèrent la position des astres *modo visuali*, c'est-à-dire à travers leur perception visuelle et comme si les yeux de l'observateur étaient tous les deux placés au centre du monde en regardant les positions des astres selon une ligne qui peut être tirée de l'œil, placé au centre du monde, à l'astre. Ils procèdent donc de cette manière en se fiant aux facultés de leurs sens. [...] Ils déterminent en même la position des astres par rapport au centre du monde, précisément car celui-ci est toujours immobile et immuable à l'égard de tous les corps célestes ». ⁸⁹

C'est ce que font les astronomes : ils travaillent sur les mouvements apparents, et le modèle sous-jacent à leur pratique ne doit pas nécessairement correspondre à l'univers réel, mais il n'est qu'un instrument d'aide pour les calculs et les prévisions.

Mais Peurbach ne peut pas se permettre la même liberté qui peut être au contraire admise pour les astronomes-mathématiciens. Le *Magister* viennois, outre le fait de vouloir rendre compte des phénomènes et prévoir les positions des astres, a voulu – selon Brudzewo – construire un univers réel capable de refléter l'essence vraie de la nature céleste avec ses principes de régularité et de circularité parfaites des mouvements. La lecture des *Theoricae novae planetarum* faite par le *Magister* cracovien prend précisément en compte ces exigences et, au nom de ces exigences, en analyse le contenu. C'est peut-être la raison pour laquelle son *Commentariolum* représente le seul cas, parmi les commentaires aux *Theoricae*, dans lequel on trouve une analyse critique qui saisit les points faibles et les équivoques de l'ouvrage de Peurbach.

89 *Ibidem*, 34 : « Notandum. Mathematici seu doctrinales determinant de locis astrorum modo visuali ac si uterque oculus in centro mundi esset constitutus loca astrorum prospiciens secundum lineas ab ipso per astra ducibiles; hoc faciunt iudicio sensus nostri satisfaciens. [...] Determinant etiam de locis astrorum in ordine ad centrum mundi, quoniam illud uno et eodem modo se habeat respectu omnium corporum coelestium et est immobile ».

Peurbach a en effet systématiquement transféré la qualité du mouvement apparent, vu sur le zodiaque depuis le centre du monde, directement à l'orbe excentrique ou à l'épicycle, c'est-à-dire à des orbites qui en réalité accomplissent chacun son propre mouvement par rapport à son centre qui est dans tous les cas distinct du centre du monde. Ce faisant, il aurait privé ces orbites de l'authenticité de leur être en eux-mêmes et en sens absolu. Brudzewo a ainsi fait ressortir un problème qui aurait pu miner, dès les fondements, cet univers. Malgré cela, avec son analyse ponctuelle et subtile, il a prouvé que « les irrégularités dans les mouvements des orbites réels », déclarées par Peurbach, n'avaient pas, si analysées dans leur contexte plus général, une portée absolue, mais dérivait de considérations tout à fait particulières : relatives au point de vue particulier duquel Peurbach les avait faites dériver. Avoir clarifié un tel équivoque a permis à l'astronome cracovien de ne pas devoir totalement renier l'univers qu'il était en train de commenter et lui a donné la liberté de continuer à croire en la possibilité que cet univers pût refléter l'essence de la nature céleste et ses principes. Si Peurbach, comme Brudzewo le souligne en ouverture de chaque section, a conçu les orbites partiels pour sauver les mouvements apparents irréguliers, Brudzewo voudrait que ce même objectif puisse être atteint à travers une structure opportune d'orbites réelles ayant tous des mouvements parfaitement circulaires et uniformes. Le *Magister* cracovien ouvre ainsi un problème qui ne pourra plus être négligé ou passé sous silence.

Copernic étudiant à Cracovie

L'enseignement astronomique de Brudzewo

Durant le XV^e siècle, une solide tradition astronomique s'était affirmée à l'université de Cracovie grâce à la création de deux chaires spécifiquement consacrées à la science des astres. Il s'agit d'une caractéristique qui la distingue de toutes les universités de l'époque et la rendant un « centre international d'enseignement astronomique ». ⁹⁰ En effet, à cette époque, de nombreux astronomes compétents qui à la fois enseignent dans les universités et servent des princes et des prélats dans l'Europe entière en proviennent. ⁹¹

90 « L'Université de Cracovie, centre international d'enseignement astronomique à la fin du Moyen-Âge » est le titre même d'un chapitre du livre Birkenmajer 1972, 483-495. Ce volume permet d'acquiescer une idée assez précise du milieu cracovien de l'époque. Voir aussi la préface de L. Birkenmajer à Brudzewo 1900, IX-XLIII, qui reste le texte de référence pour une biographie d'Albert de Brudzewo.

Pour la tradition astronomique de Cracovie, voir les travaux de de Grazyna Rosinska, parmi lesquels on se limitera à signaler ici Rosinska 1974.

91 Ce n'est pas un hasard si l'interlocuteur de Regiomontanus, dans son *Dialogus contra Cremonensia deliramenta*, est un *Magister* cracovien, Martin Ilkusz, enseignant à l'université de Bologne et astronome du Cardinal Barbo futur Pape Paul III. Cf. Regiomontanus [1475],

Dans ce cadre, en 1483, Albert de Brudzewo, personnalité illustre de cette université, réforme l'enseignement de l'astronomie théorique en adoptant comme support de ses leçons le tout récent ouvrage de Peurbach accompagné d'un commentaire dont il est l'auteur : le « *commentariolum super Theoricis novas Georgij Purbachii in Studio Generali Cracoviensi per Magistrum Albertum de Brudzewo pro introductione iuniorum aptiori circa lectionem earumdem factam, corrogatum* ». ⁹²

Comme de nombreuses sources manuscrites en témoignent, depuis cette date et jusqu'en 1495 au moins, le commentaire de Brudzewo aux *Theoricae* de Peurbach devient le texte de référence pour l'enseignement de la science des astres dans la faculté des arts de l'université dans laquelle, entre 1491 et 1495, fut étudiant le jeune Copernic, « le représentant le plus célèbre de l'école astronomique de Cracovie ». ⁹³

Shank 2012, Shank 2013, Malpangotto 2013a.

92 Brudzewo 1900, XLVII. Ce texte décrit la contribution de Brudzewo dans les manuscrits qui ont transmis cet ouvrage, voir la préface de Birkenmajer à Brudzewo 1900, XLIV-LI, et Rosinska 1984, 64. Ce même explicit précise que, bien que le texte du *Commentariolum* ait été rendu publique et diffusé à l'usage des étudiants pour la première fois en 1488 : « *Scriptum vero et in publicum editum anno domini Millesimo quadingentesimo octogesimo octavo* », cependant, l'enseignement de Brudzewo remonte au moins à 1483 : « *Dictum est anno domini Millesimo quadingentesimo octogesimo tertio* ». A confirmer que ce fut Brudzewo qui lut son commentaire en 1483, s'ajoute aussi une note manuscrite, contemporaine selon Birkenmajer, ajoutée dans la marge du f. sign. a3 verso de l'exemplaire imprimé en 1495 conservé dans la Bibliothèque Jagellonne (Inc. 2705) qui dit : « 1483 Brudzew legit ».

Le *Liber diligentiarum* de la faculté des arts de Cracovie révèle que Brudzewo donne nouvellement un cours sur les *Theoricae novae planetarum* en 1488 et, en 1493, Michael de Ruzszoczjzce copie le même texte qui fut probablement adopté comme support au cours donné par l'un des enseignants de la faculté : « *Commentariolum super Theoricis novas Georgij Purbachii in Studio Generali Cracoviensi per Magistrum Albertum de Brudzewo pro introductione iuniorum aptiori circa lectionem earumdem factam, corrogatum scriptumque per me Michaellem de Ruzszoczjzce [...] a.d. 1493* ». Selon L. A. Birkenmajer, ce fut Albertus de Pniewy qui, à cette époque, illustra ce cours. Ensuite, pendant le semestre d'été de 1493, un autre *Magister*, Simon de Sierpc, lira le texte de Brudzewo (cf. préface de Birkenmajer à Brudzewo 1900, XLVI-LI et Birkenmajer 1924, 78).

En 1494 un volume comportant seulement le commentaire de Brudzewo, sans le texte des *Theoricae novae planetarum*, est imprimé à Milan par Ulderico Scinzenzeler. Le même imprimeur réalise en 1495 une seconde édition. Cette fois le volume est introduit par la dédicace de Johannes Otto Germanus de Valle Uracense précisant qu'il s'agit de l'ouvrage de son précepteur Albert de Brudzewo : « *In Theoricis planetarum Georgij Purbachii viri sane in astronomia disertissimi, interpretationem Alberti Prosevi praeceptoris mei* ».

93 Cf. Birkenmajer 1972, 488.

Même sans vouloir nécessairement soutenir que ce dernier ait appris l'astronomie directement⁹⁴ des leçons de Brudzewo, il semble hautement probable qu'il ait commencé à réfléchir sur cette discipline pendant les cours qui étaient donnés sur son *Commentariolum super Theoricis novas Georgii Purbachii*.⁹⁵

Nous n'avons certainement pas la prétention de penser que le *Commentariolus* de Copernic ou son *De revolutionibus orbium coelestium* ont été conçus directement sur ces bases, mais on ne peut certainement pas exclure que quelques influences sur ses réflexions soit dérivée de cette formation, notamment de cette façon d'analyser l'univers des *Theoricae* selon l'approche tout à fait singulière de Brudzewo et des problèmes que son commentaire avait ouvert.

En effet, dans les écrits de Copernic reviennent les mêmes objections qu'on a trouvées chez Brudzewo et que Copernic développe de manière à souligner les mêmes inconséquences au nom des mêmes principes.

Le *Commentariolum* de Brudzewo et le *Commentariolus* de Copernic

Copernic ouvre son *Commentariolus* par une réflexion sur ce que l'astronomie avait produit dans le passé et examine à la fois les sphères homocentriques d'Eudoxe et Calippe, et la tradition des excentriques et des épicycles. Ces courants de pensées se proposaient tous les

94 La tradition selon laquelle Albert de Brudzewo fut le professeur de Copernic date du XVII^e siècle, mais elle n'a pas trouvé de confirmations sûres. Malgré cela, une connaissance directe de Brudzewo de la part de Copernic reste plausible, car durant les années d'étude du jeune Copernic, Brudzewo était l'une des figures majeures de l'université de Cracovie non seulement pour ses charges administratives, mais aussi pour son activité d'enseignement qui comprenait à la fois des cours particuliers et des cours officiels portant, de 1491 à 1494, sur l'œuvre d'Aristote. (Cf. la préface de L. A. Birkenmajer à Brudzewo 1900, XXXII-XXXVIII).

95 Ce qui importe de souligner ici est la tradition astronomique que Brudzewo semble avoir déclenchée à Cracovie : non seulement Brudzewo, mais d'autres maîtres de la faculté des arts de cette université donnent leurs cours en lisant son *Commentariolum* et cela pendant la période où Copernic fait ses études dans cette faculté. Il est donc fort probable que le jeune Copernic se soit formé à l'astronomie sur l'analyse critique et subtile de l'univers des *Theoricae novae planetarum* de Peurbach que Brudzewo avait transmis. Le commentaire de Brudzewo sur les *Theoricae novae planetarum* peut donc être considéré, avec Jardine (1982, 176-177): « a work with which Copernicus was probably conversant ». Peut-être pour cette même raison, le 27 septembre 1542, Wojciech Caprinus peut écrire à l'évêque Samuel Maciejewiski que Copernic « doit à notre université les choses admirables qu'il a écrit au sujet de l'astronomie et aussi celles plus riches qu'il a commencé à rendre publiques » : « Nicolaus Copernicus, canonicus Varmiensis [...] haec quae scripsit in rebus mathematicis admiranda, plura etiam edenda instituit, ex hac nostra universitate [...] accepit ».

deux de sauver les mouvements apparents des astres à travers le principe d'uniformité en le considérant connaturel aux corps célestes en raison de leur forme sphérique, sans exclure pour autant la possibilité de sauver l'irrégularité des mouvements apparents à travers la composition et l'union de mouvements réguliers. Bien qu'il partage ces assumptions *a priori*, aucune des solutions proposées par les anciens ne réussit à atteindre cet objectif. Copernic dans son *Commentariolus* se propose de « trouver un système plus rationnel de cercles »⁹⁶ qui pourrait respecter de manière plus rigoureuse ces mêmes axiomes et rendre l'uniformité de ces mouvements dans sa pureté :

« Je vois que nos prédécesseurs ont posé une multitude d'orbes célestes principalement en vue de sauver le mouvement apparent des planètes en le soumettant au principe d'uniformité. Il semblait, en effet, tout à fait absurde qu'un corps céleste dans sa sphéricité absolue ne se meuve pas toujours uniformément.⁹⁷ Or, ils avaient remarqué que l'on pouvait faire en sorte que, par la composition et la combinaison variées de mouvements uniformes, un corps quelconque paraisse se mouvoir vers tel ou tel lieu. S'efforçant d'aboutir à ce résultat à l'aide de cercles concentriques, Calippe et Eudoxe n'ont pas pu rendre raison, par ce moyen, de toutes les apparences du mouvement des planètes, c'est-à-dire non seulement des apparences se rapportant aux révolutions des planètes, mais encore du fait que les planètes nous apparaissent tantôt s'élever dans le ciel et tantôt descendre, ce dont la concentricité ne rend nullement compte.⁹⁸ C'est pourquoi l'idée d'obtenir ce résultat à l'aide d'excentriques et d'épicycles a semblé préférable, idée sur laquelle la plupart des savants se sont finalement accordés. Mais cependant les théories qui ont été avancé un peu partout sur ce sujet par Ptolémée et par la plupart des autres astronomes, encore qu'elles fussent en accord avec les données numériques, semblaient comporter une difficulté majeure. Elles n'étaient suffisantes, en effet, que si l'on imaginait encore certains cercles équants, à cause desquels la planète n'apparaissait mue avec une vitesse toujours uniforme ni sur son orbe déferent ni autour de son centre.⁹⁹ Aussi une

96 Copernic 1975, 72. Pour le texte latin, voir Prowe 1884, II, 184-202 ; pour la traduction anglaise, voir Swerdlow 1973, 433-512.

97 Copernic 1884, II, 185 : « Valde enim absurdum videbatur caeleste corpus in absolutissima rotunditate non semper aequè moveri ». Cf. Hugonnard-Roche, Rosen, Verdet 1975, 71 : « Il semblait, en effet, tout à fait absurde qu'un corps céleste ne se meuve pas toujours uniformément sur un cercle parfait ». Cf. n. 2, p. 71.

98 Copernic 1884, II, 185 : « quod concentricitas minime sustinet ». Hugonnard-Roche, Rosen, Verdet 1975 traduisent par « ce dont le système de cercles concentriques ne rend nullement compte ».

99 Copernic 1884, II, 185 : « quibus apparebat neque in orbe suo deferente, neque in centro proprio aequali semper velocitate sidus moveri ». Cf. Hugonnard-Roche, Rosen, Verdet 1975, 72 : « centre propre [du monde] ».

théorie de cette espèce ne semblait-elle ni suffisamment achevée ni suffisamment accordée à la raison ».¹⁰⁰

Ce furent les solutions de ce genre qui persuadèrent Copernic à rechercher un nouvel ordre du monde :

« un système plus rationnel de cercles d'où toute irrégularité apparente découlerait, tandis que tous seraient mus uniformément autour de leurs centres, comme l'exige le principe du mouvement parfait ».¹⁰¹

Dans ces mots reviennent les critères qui ont guidé la critique de Brudzewo aux *Theoricae novae planetarum* de Peurbach : il est inadmissible d'assigner le mouvement irrégulier aux orbites qui portent réellement les épicycles et aux épicycles mêmes qui portent les corps célestes, au nom du principe de la circularité et de l'uniformité parfaites des mouvements considérés « in se et absolute ». Mais ce qui est fortement soutenu par Brudzewo tout au long de son *Commentariolum* comme une exigence, une nécessité qui doit être respectée, devient chez Copernic la base sur laquelle fonder la recherche d'une solution alternative : trouver un système plus rationnel de cercles avec lesquels il soit possible d'expliquer toute irrégularité apparente. Et le point focal autour duquel construire la structure plus générale de la nouvelle image du monde est constitué par le nouveau point de vue.

Dans les *Theoricae novae planetarum*, celui-ci était fixé sur la Terre, placée au centre de l'univers, comme l'imposait la tradition aristotélico-ptoléméenne. Mais Brudzewo avait mis en évidence que les affirmations équivoques de Peurbach étaient dérivées précisément de la position de l'observateur. Dans son analyse, il s'était aperçu que ce point d'observation particulier – la Terre – constituait pour l'univers des *Theoricae* un grave problème qui avait induit le *Magister* viennois à contredire les principes de la nature céleste.

Dans les trois premiers postulats de son *Commentariolus*, Copernic semble presque ressentir des réflexions de Brudzewo et dans ceux-ci il semble proposer la solution au problème : il transfère ce même point de vue dans la quatrième sphère, au-dessous des sphères de Saturne, Mars et Jupiter. La Terre n'est plus le centre du monde, mais seulement le centre de la sphère de la Lune ; elle n'est plus immobile, mais, comme les autres planètes, tourne autour du Soleil devenu le nouveau centre du monde.¹⁰²

Premier postulat : Il n'y a pas un centre unique pour tous les orbites ou sphères célestes.

100 Copernic 1975, 71-72.

101 *Ibidem*, 72.

102 Il faudrait plutôt dire autour du centre de l'orbite de la Terre qui est « au voisinage » du Soleil. Cf. *infra*, troisième postulat.

Deuxième postulat : Le centre de la Terre n'est pas le centre du monde, mais seulement le centre des graves et le centre de l'orbe de la Lune.

Troisième postulat : Tous les orbites entourent le Soleil qui se trouve pour ainsi dire au milieu d'eux tous, et c'est pourquoi le centre du monde est au voisinage du Soleil.¹⁰³

De ce nouveau point d'observation, découlent trois autres postulats qui mettent en évidence quelles sont les conséquences de cette inversion de perspective. La position de l'observateur a changé, mais les conditions dans lesquelles il opère ont également changé : il n'est plus immobile à observer les corps célestes qui se meuvent dans les ciels autour de lui, mais il est lui-même en mouvement et observe les corps célestes.

L'univers peut assumer une nouvelle physionomie.

Cinquième postulat : Tout mouvement qui paraît appartenir à la sphère des étoiles ne provient pas d'elle, mais de la Terre. La Terre, donc, avec les éléments tout proches, accomplit d'un mouvement diurne une rotation¹⁰⁴ complète autour de ses pôles fixes, tandis que demeure immobile la sphère des étoiles ou ciel ultime.

Sixième postulat : Les mouvements qui nous paraissent appartenir au Soleil ne proviennent pas de lui, mais de la Terre et de notre orbite, avec lequel nous effectuons des révolutions autour du Soleil comme n'importe quelle autre planète. Ainsi donc la Terre est entraînée par plusieurs mouvements.

Septième postulat : Les mouvements rétrograde et direct qui se manifestent dans le cas des planètes ne proviennent pas de celle-ci, mais de la Terre. Le mouvement de la Terre seule suffit donc à expliquer un nombre considérable d'irrégularités apparentes dans le ciel.¹⁰⁵

Ces postulats, avec celui qui pose l'immensité de l'univers copernicien par rapport à celui d'Aristote et Ptolémée, permettent, comme le déclare le même Copernic, de dessiner un nouvel univers dans lequel « l'uniformité des mouvements peut être méthodiquement préservée ».¹⁰⁶

L'exigence de régularité des mouvements pour les mouvements réels des corps célestes, que Brudzewo invoquait dans son *Commentariolum*, n'était pas si nouvelle, ni hasardeuse, cependant l'image du monde qui aurait pu réaliser cette *maxima* était si lointaine.

103 *Ibidem*, 72. A ces trois postulats, s'ajoute un quatrième postulat portant sur l'immensité de l'univers copernicien par rapport à celui de Ptolémée.

104 Copernic 1884 : « Terra [...] motu diurno tota convertitur ». Cf. Hugonnard-Roche, Rosen, Verdet 1975, 73 : « La Terre [...] accomplit d'un mouvement diurne une révolution complète » le texte latin.

105 Copernic 1975, 73.

106 *Ibidem*, 73-74.

Le *Commentariolum* de Brudzewo et le *De revolutionibus orbium coelestium* de Copernic

Dans le *De revolutionibus orbium coelestium*, quand Copernic, au début des livres IV et V, soumet à analyse critique les théories des anciens, reviennent dans son texte les mêmes objections que l'on a retrouvées chez Brudzewo et que Copernic développe au nom des mêmes principes, en soulignant les mêmes incohérences touchant (1) le mouvement de l'excentrique qui porte l'épicycle de la Lune ; (2) le mouvement de l'épicycle qui porte le corps lunaire ; (3) l'équant des planètes.

1. Le mouvement de l'excentrique qui porte l'épicycle de la Lune

Dans le premier chapitre du quatrième livre du *De revolutionibus*, Copernic expose le modèle que les anciens avaient conçu pour la Lune et remarque qu'ils « estiment en effet que, les choses ainsi établies, elles concordent avec les apparences ».¹⁰⁷ Dans le deuxième chapitre *Sur les défauts de telles assomptions*, il reprend ce concept :

« Les anciens ont donc pris cette composition de cercles comme si elle était en accord avec les phénomènes lunaires. En réalité, si nous évaluons avec plus d'attention la question, nous trouverons cette hypothèse ni assez convenable ni suffisante. Ce que l'on pourra confirmer par la raison et par la perception sensible ».¹⁰⁸

L'astronome de Frombork souligne l'incohérence qui se cache dans l'hypothèse proposée par les anciens au sujet des mouvements de ce luminaire : à l'apparence est assigné le mouvement uniforme, alors qu'à la réalité est au contraire assigné le mouvement irrégulier :

« En effet, alors qu'ils reconnaissent que le mouvement du centre de l'épicycle est régulier autour du centre de la Terre, il faut aussi admettre qu'il est irrégulier sur son orbite excentrique qu'il décrit ».¹⁰⁹

Afin de rendre visuellement évidente cette relation il insère dans son texte une figure dans laquelle le cercle ABCD de centre E, centre de la Terre, représente le mouvement apparent

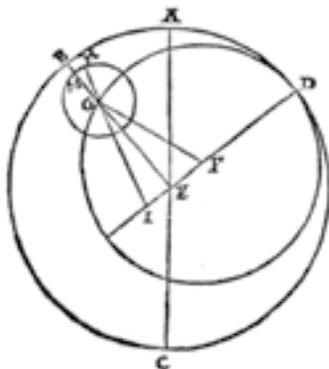
107 Copernic 1543, f. 99r : « His enim sic constitutis congruere putant apparentia ».

Par la suite, la traduction française des passages du *De revolutionibus* que l'on citera est due à Michela Malpangotto.

108 Copernic 1543, f. 99r : « Talem sane circulorum compositionem tanquam consencientem lunaribus apparentiis assumpserunt priores. Verum si rem ipsam diligentius expenderit non aptam satis nec sufficientem hanc inuenimus hypothesim. Quod ratione et sensu possumus comprobare ».

109 *Ibidem*, f. 99r : « Dum enim fatentur, motum centri epicycli aequalem esse circa centrum terrae, fateri etiam oportet inaequalem esse in orbe proprio, quem describit, eccentro ».

de l'épicycle qui porte la Lune ; le petit cercle HM représente l'épicycle centré en G ; alors que le cercle DG, centré en F, représente le déférent excentrique. Ce cercle, décrit par le centre de l'épicycle, se meut autour de la Terre, vers l'Occident, de telle manière que son centre F forme autour de la Terre E un « petit cercle ». ¹¹⁰ Le cercle déférent se meut autour de la Terre, vers l'Orient, d'un mouvement régulier qui est égal au mouvement régulier accompli par le centre de l'épicycle, lui aussi autour de la Terre.



Copernic, *De revolutionibus*, 1543, f. 99v

En faisant référence à cette figure, Copernic explique la situation des mouvements conçus par les anciens.

Soit l'angle AEB de 45° et AED égal à celui-ci, de manière à former l'angle BED droit.

Soit le centre de l'épicycle en G et soit menée GF.

L'angle GFD est plus grand que GEF.¹¹¹

Il en suit que, à des temps égaux, correspondent des arcs inégaux :

- DG représente le parcours que l'épicycle a accompli dans son excentrique ;
- DAB représente l'arc correspondant au mouvement apparent.

Mais DAB, sous-tendu par l'angle droit DEB, est un quadrant, alors que DG, sous-tendu par GFD, est plus grand d'un quadrant, DG sera alors plus grand que DAB.

Cependant, en croissant de Lune, les arcs DAB et DB étaient tous les deux un demi-cercle, ils étaient donc égaux : « inaequalis est ergo epicycli motus in eccentro suo quem ipse describit ». ¹¹²

110 Peurbach aussi se réfère au parcours du centre du déférent comme à un « petit cercle » et, dans son texte, celui-ci résulte des mouvements des masses des orbes *secundum quid* qui font déplacer l'orbe déférent en faisant décrire à son centre ce petit cercle, voir *supra*, note 46.

111 Pour Euclide, *Éléments*, I.16.

112 Cf. Copernic 1543, f. 99r-99v : « Quoniam si, verbi gratia, AEB angulus sumatur partium XLV, hoc est dimidius recti, et aequalis ipsi AED, ut totus BED rectus fiat, capiaturque centrum epicycli in G et connectatur GF, manifestum est, quod angulus GFD maior est ipsi GEF, exterior

La contradiction inhérente à l'hypothèse même des mouvements lunaires devient ainsi évidente. Et Copernic continue à expliciter son analyse :

« Et si c'était ainsi, qu'est-ce qu'on répondra à l'axiome *le mouvement des corps célestes est régulier* et ne semble irrégulier qu'à l'apparence, si le mouvement de l'épicycle, uniforme à l'apparence, est en réalité irrégulier et il arrive exactement le contraire du principe établi et accepté ? »¹¹³

Mais son analyse ne se borne pas à mettre en évidence seulement cette contradiction : il examine plus profondément encore le problème et devient encore plus subtile. Il ajoute :

« Et si l'on répond que l'épicycle se meut régulièrement autour du centre de la Terre et que cela suffit pour sauvegarder la régularité du mouvement, quelle sorte de régularité sera donc celle qui se produit sur un cercle étranger sur lequel ne s'accomplit pas son mouvement, alors [qu'il se meut] sur son excentrique ? »¹¹⁴

À ce sujet Brudzewo s'était exprimé dans ces mêmes termes de manière suffisamment critique en mettant précisément en évidence les mêmes contradictions que l'on lit dans le *De revolutionibus*.

2. Le mouvement de l'épicycle qui porte le corps lunaire

Le défaut que Copernic décèle pour la Lune dans son excentrique, s'étend aussi au mouvement que les anciens ont assigné à ce même corps céleste dans son épicycle :

« Ainsi, en vérité, on s'étonne également du fait qu'ils veulent qu'aussi la régularité de la Lune dans son épicycle ne s'entende pas par rapport au centre de la Terre [...] mais par rapport à un certain point différent, ayant la Terre entre lui et le centre de

interiori et opposito. Quapropter et circumferentiae DAB, et DG dissimiles sub uno tempore ambae descriptae, ut cum DAB quadrans fuerit, DG quem interim centrum epicycli descripsit, maior sit quadrante circuli. Patuit autem in Luna dividua utramque DAB et DG semicirculum fuisse, inaequalis est ergo epicycli motus in eccentro suo quem ipse describit ».

113 *Ibidem*, f. 99v : « Quod si sic fuerit, quid respondebimus ad axioma, Motum caelestium corporum aequalem esse, et nisi ad apparentiam inaequalem videri, si motus epicycli aequalis apparens, fuerit reipsa inaequalis? accideturque constituto principio et assumpto penitus contrarium ».

114 *Ibidem*, f. 99v : « At si dicas aequaliter ipsum [epicyclum] moveri circa terrae centrum, atque id esse satis ad aequalitatem tuendam, qualis igitur erit illa aequalitas in circulo alieno, in quo motus eius non existit, sed in suo eccentro? »

l'excentrique, de sorte que la ligne IGH devienne l'index de la régularité de la Lune sur son épicycle ». ¹¹⁵

Le « point différent, ayant la Terre entre lui et le centre de l'excentrique » est le point diamétralement opposé au centre de l'excentrique, il se meut circulairement en parcourant, simultanément au centre de l'épicycle, le « petit cercle » dans un mois lunaire. Par contre, le point H, extrémité de la ligne IGH, est précisément ce qui, dans les *Theoricae novae planetarum*, était l'apogée moyen qui continuellement avait un mouvement de *declinatio* et *reflexio* et à partir duquel est estimé le mouvement journalier du corps lunaire.

Dans son *Commentariolum*, la critique adressée par Brudzewo à l'apogée moyen souligne précisément ce qui étonne Copernic : la régularité du mouvement de la Lune par rapport à un point abstrait.

3. L'équant des planètes

Dans le livre V du *De revolutionibus*, dans le chapitre consacré à la *Démonstration des mouvements uniforme et apparent selon la théorie des anciens*, Copernic s'arrête à analyser l'incohérence des modèles planétaires. Chez Copernic on retrouve, dans les mêmes termes, la critique que Brudzewo avait adressée au cercle équant au nom de l'uniformité du mouvement. ¹¹⁶

Comme on a déjà eu l'occasion de le remarquer, le *Magister* cracovien met en évidence la situation paradoxale qui vient se créer dans les sphères planétaires des *Theoricae* où l'orbe excentrique déférent l'épicycle tourne réellement, mais de manière irrégulière, autour de son centre, alors que la régularité de son mouvement est référée à un point différent, c'est-à-dire au centre du « *circulus imaginatus* » qui est l'équant. Et si Peurbach, avec l'adoption de l'équant, est satisfait d'avoir trouvé la régularité du mouvement selon une « norme » purement mathématique, la critique que Brudzewo adresse à l'équant va au-delà de la

115 *Ibidem*, f. 99v : « Ita sane miramur et illud, quod ipsius Lunae quoque in epicyclo aequalitatem volunt intelligi non comparatione centri terrae [...] sed ad punctum quoddam diversum, atque inter ipsum et eccentrici centrum mediam esse terram, et lineam IGH tanquam indicem aequalitatis Lunae in epicyclo [...] ».

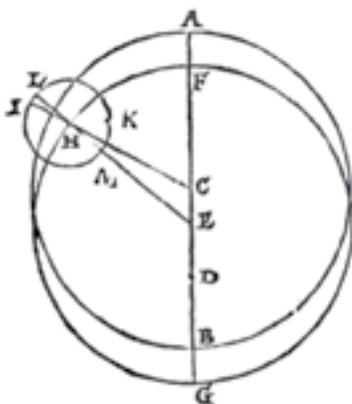
116 Les commentaires des *Theoricae novae planetarum* étudiés jusqu'à présent, ne formulent aucune critique à l'équant semblable à celle que l'on retrouve chez Brudzewo et chez Copernic. Ces derniers portent l'attention sur le fait que l'épicycle se meut sur un cercle et que sa régularité est estimée par rapport au centre d'un autre cercle. Tous les autres auteurs, depuis Regiomontanus et jusqu'au moins à Reinhold, justifient cette entité par le fait que selon une approche mathématique un seul point d'un cercle peut se mouvoir régulièrement par rapport à un point différent du centre géométrique du cercle. Cf. Regiomontanus [1475], f. 4v, et Reinhold 1553, ff. 64v-65r.

simple dénonciation de celui-ci comme instrument mathématique : cette dénonciation assume pour lui une connotation bien plus substantielle, car Peurbach, avec l'adoption de l'équant, a violé l'essence même de la nature céleste et de son principe d'uniformité selon lequel les corps célestes doivent se mouvoir uniformément autour du centre de leur mouvement.

Copernic aussi a adressé les mêmes critiques à l'équant déjà dans son *Commentariolus*, mais, dans le *De revolutionibus*, sa critique porte plus précisément sur la régularité du mouvement et sur le fait qu'« il est clair que le mouvement régulier de l'épicycle aurait dû s'accomplir autour du centre E de son déférent » et non « autour d'un centre étranger et non propre.¹¹⁷ »

Dans le cinquième livre du *De revolutionibus*, où Copernic reprend la théorie des anciens pour critiquer les modèles qu'ils avaient conçus, il s'exprime comme suit :

« Les astronomes anciens, qui considéraient la Terre comme étant immobile, ont imaginé pour Saturne, Jupiter, Mars et Vénus, des excentrépicycles ainsi qu'un autre excentrique par rapport auquel se meut régulièrement l'épicycle et la planète dans l'épicycle ».¹¹⁸



Copernic, *De revolutionibus*, 1543, f. 140v

Cette analyse de Copernic s'appuie elle aussi sur une figure géométrique permettant de visualiser ces nouvelles relations:

117 Copernic 1543, f. 140v : « Constat autem quod aequalitas epicycli fieri debuit ad E centrum sui differentis, et planetae revolutio ad LME lineam. Concedunt igitur et hic motus circularis aequalitatem fieri posse circa centrum alienum et non proprium ».

118 *Ibidem*, f. 140v: « Prisci Mathematici, qui immobilem tenebant terram, imaginati sunt in Saturno, Iove, Marte, et Venere eccentricipyclos, et praeterea alium eccentricum ad quem epicyclus aequaliter moveretur, ac planeta in epicyclo ».

« Soit par exemple AB le cercle excentrique dont le centre soit C, le diamètre ACB sur lequel D soit le centre de la Terre de manière que l'apogée soit en A et le périhélie en B ; et soit le segment DC coupé en deux parties au point E. En prenant ce point comme centre, soit tracé un autre excentrique FG¹¹⁹ égal au premier, sur lequel, pris comme centre un point quelconque H, soit dessiné un épicycle IK et soit menée par son centre la ligne droite IHC et, semblablement, LHME. [...] l'épicycle [tourne] selon l'ordre des signes sur FHG, mais en accord avec la ligne IHC, selon laquelle tourne également la planète dans son épicycle IK. Mais il est clair que le mouvement régulier de l'épicycle aurait dû s'accomplir autour du centre E de son déférent et la révolution de la planète selon la ligne LME. [Les anciens] concèdent donc que la régularité de ce mouvement puisse, elle aussi, s'avoir autour d'un centre étranger et non propre. [...] Mais ceci a déjà été suffisamment réfuté pour la Lune ».

Les résultats de cette analyse, qui porte sur des points essentiels de l'astronomie de tradition ancienne, ont amené Copernic à déplacer le point d'observation, c'est-à-dire la Terre, et à trouver ainsi une solution efficace permettant de respecter l'uniformité des mouvements réels des corps célestes tout en étant en mesure aussi de rendre compte des irrégularités des mouvements apparents :

« Toutes ces considérations, et bien d'autres encore, nous ont fourni l'occasion pour penser à une mobilité de la Terre et à d'autres manières à travers lesquelles conserver la régularité et les principes de cet art et rendre plus stable la raison de l'irrégularité apparente ».¹²⁰

119 FG est le déférent l'épicycle.

120 *Ibidem*, f. 140v : « Quemadmodum si fuerit eccentricus AB circulus, cuius centrum sit C, dimetiens autem ACB, in quo centrum terrae D, ut si apogaeum in A, perigaeum in B, secta quoque DC bifariam in E, quo facto centro describatur alter eccentricus priori aequalis FG, in quo suscepto utcunque H centro, designetur epicyclus IK, et agatur per centrum eius recta IHC, similiter et LHME. [...] epicyclum quoque in consequentia in FHG circulo, sed penes IHC, lineam ad quam etiam stella revolvatur aequaliter in ipso IK epicyclo. Constat autem quod aequalitas epicycli fieri debuit ad E centrum sui differentis, et planetae revolutio ad LME lineam. Concedunt igitur et hic motus circularis aequalitatem fieri posse circa centrum alienum et non proprium. [...] Sed iam circa Lunam id sufficienter refutatum est. Haec et similia nobis occasionem praestiterunt de mobilitate terrae, aliisque modis cogitandi, quibus aequalitas et principia artis permanerent, et ratio inaequalitatis apparentis reddatur constantior ».

Conclusion

L'univers que Peurbach avait décrit dans ses *Theoricae novae planetarum* devient bientôt l'image commune du monde à laquelle les auteurs des XV^e, XVI^e et XVII^e siècles se réfèrent de manière presque univoque et constitue ainsi le fond uniforme qui imprègne tous ces siècles et incarne la tradition d'une culture astronomique bien précise.

La raison d'un consensus si large réside dans sa capacité d'avoir trouvé la bonne voie, qui mettait d'accord : « habilement la physique et l'astronomie ».¹²¹

Les *Theoricae novae planetarum* offrent une présentation cohérente et bien structurée de l'univers entier en toutes ses parties et selon la composition de leurs mouvements, depuis la sphère de la Lune jusqu'au Premier mobile, en conciliant habilement, d'une part, le système de la philosophie naturelle d'Aristote, conçu comme la réalité vraie du monde, qui avait pourtant l'inconvénient de ne pas être en mesure de sauver tous les phénomènes célestes, et, d'autre part, le système de la tradition astronomique de Ptolémée, qui sauvait tous les phénomènes, mais restait une pure construction mathématique abstraite.

Avec cet ouvrage, l'astronomie mathématique de Ptolémée peut trouver dans les sphères concentriques d'Aristote une structure adéquate pour se réaliser concrètement. Cet univers, bien qu'en restant dans le sillage de la tradition, assume une portée novatrice et est proposé dans une période particulièrement critique pour la science des astres.

En effet, au XV^e siècle, le savoir astronomique était confié principalement à des ouvrages ayant une valeur scientifique faible. Il s'agissait de traités élémentaires qui résumaient de manière très sommaire les systèmes de l'*Almageste* et transmettaient même des erreurs innombrables¹²². Il s'en suit un délabrement de la discipline elle-même qui est privée de ses contenus authentiques et perd ainsi toute sa dignité : c'est ce que Regiomontanus dénonce dans un discours donné à l'université de Padoue, au milieu du XV^e siècle. Il fait remarquer qu'à son époque, la science des astres est affecté par une crise profonde ayant pour conséquence que les savants ne montrent plus aucun intérêt pour la nature céleste et ne nourrissent plus aucun désir de se consacrer à des connaissances si élevées :

121 Gassendi 1655, 337 : « solerter adeo Physicam cum Astronomia conciliavit ».

Pour une description détaillée de la façon dont Peurbach présente la structure des sphères planétaires dans ses *Theoricae novae planetarum*, voir Malpangotto 2013a.

122 Une description minutieuse des erreurs de la *Theorica planetarum communis* se trouve dans le *Dialogus contra Cremonensia deliramenta* de Regiomontanus. Celui-ci ne se limite pas simplement à dénoncer ces erreurs, mais les analyse ponctuellement. Voir Shank 2012 et Shank 2013 et aussi Malpangotto 2013a.

« Vous avez donc devant vos yeux la raison pour laquelle ce don inestimable a perdu tout son contenu et pourquoi, à notre époque, cette discipline céleste n'est appréciée que par un nombre très restreint de savants [...] ». ¹²³

Dans ce contexte, deux personnages majeurs se font remarquer : Peurbach et Regiomontanus. En 1454, le maître rédige un ouvrage nettement supérieur à ceux qui circulaient. En 1473, l'élève choisit d'imprimer, comme premier ouvrage de son ambitieux programme de renouveau du savoir astronomique, les *Theoricae novae planetarum* de son maître.¹²⁴ Quelques années plus tard, il publie aussi un écrit dans lequel, en polémique ouverte avec la *Theorica planetarum communis*, il exalte les qualités de la contribution de Peurbach en soulignant à la fois la rigueur géométrique et le respect de certains principes cosmologiques qui la caractérisent. Il montre la façon dont les théorèmes de Ptolémée, d'Euclide et, plus généralement, de la « *geometria nostra* », sont le fondement sur lequel repose la vérité de ces modèles planétaires spécifiques et aussi la correction des relations entre leurs parties. Il met en évidence que les différents mouvements, qui dans l'*Almageste* pouvaient coexister dans un même cercle s'accomplissant même dans deux directions opposées à la fois, dans les *Theoricae* trouvent leur raison d'être, car Peurbach a assigné chacun d'entre eux à un seul orbe spécifique. D'après Regiomontanus, la contribution de Peurbach est alors méritoire, car avec l'introduction autour de l'excentrique *simpliciter*, de deux autres orbes *secundum quid* d'épaisseur difforme, elle a décomposé la pluralité des mouvements en assignant chacun à son propre corps simple et a ainsi su éviter la rupture des sphères célestes et la présence du vide.¹²⁵

123 Regiomontanus 2008, 145, lignes 487-489 : « Ante oculos igitur causam habetis cur donum illud inaestimabile floccipendatur, cur hac nostra tempestate coelestis illa disciplina perpauca sapiat, [...] ». Pour une analyse de la critique que Regiomontanus exprime envers les astronomes de son temps, voir Malpangotto 2008, 87-94.

124 Pour une description des manuscrits datant de la vie de Peurbach, voir Malpangotto 2012b.

125 Regiomontanus [1475], ff. [3v-4r] : « CRACO : [...] ecentricus autem lunae movetur quolibet die ab oriente in occidentem undecim gradibus fere. VIEN : Hic siste gradum. Quot commemorat ille [Gerardus Cremonensis] ecentricos in speculatione sua ? CRACO : Unum duntaxat epicycli delatorem. VIEN : Quomodo igitur idem ecentricus occidente versus moveri poterit : qui epicyclum defert ad orientem ? nisi eidem mobili duos contrarios inesse motus affirmare quis velit. CRACO : Nequaquam super iisdem polis. verum de centro ecentrici dixisse videtur : illud enim ad occidentem transfertur. VIEN : Sed neque illud natura permittit. oporteret enim hoc pacto scindi corpora caelestia vacuumque in eis reperiri. CRACO : Bene ratiocinaris. Id enim necessario sequeretur nisi orbi ecentrico epicyclum deferenti alios duos circumponamus singulis tantum superficiebus ecentricos, ita ut tota trium orbium congeries mundo fiat concentrica. Sed haec omnia in theoreticis suis novis Georgius Purbachius praeceptor tuus explanavit et quidem accuratissime ».

Regiomontanus montre que, dans l'univers de Peurbach, les principes *a priori* imposés à la nature par la tradition sont garantis.

Au cours des siècles suivants les *Theoricae* de Peurbach ne cesseront d'être publiées, étudiées et enseignées. Pas moins de cinquante éditions, imprimées entre 1473 et 1653, confirment le large rayonnement et le succès indiscutable de cette œuvre. Pas moins de trente versions commentées parvenues sous formes manuscrite et imprimée, témoignent d'un intérêt remarquable pour les « nouvelles » théories des planètes qui deviennent ainsi le manuel de référence dans le cadre de l'enseignement supérieur de l'astronomie dans les universités européennes majeures jusqu'au milieu du XVII^e siècle. En outre, les traductions en langues vulgaires – français, hébreux, italien – contribuent à élargir la diffusion de cet ouvrage auprès d'un public croissant.¹²⁶

La valeur scientifique des *Theoricae novae planetarum* et leur capacité de répondre à des exigences de nature si différente sont encore reconnues cent ans après la publication du *De revolutionibus orbium coelestium*. En 1654, Pierre Gassendi présente les contributions qui ont marqué l'évolution des connaissances astronomiques dans les derniers siècles. Il évoque les difficultés auxquelles cette discipline a été confrontée depuis toujours, faisant ressortir deux opinions opposées. Selon l'opinion ancienne, les sphères qui forment l'univers doivent être solides, contiguës et concentriques pour permettre au mouvement du Premier mobile d'être transmis à travers les « orbes » inférieurs jusqu'à la Lune et, en même temps, chacune doit pouvoir effectuer ses révolutions propres. Cependant, les observations ont révélé que les mouvements des planètes apparaissent excentriques : elles sont vues tantôt plus éloignées, tantôt plus proches de la Terre. S'affirme ainsi l'opinion selon laquelle pour pouvoir sauver ces irrégularités apparentes, il faut nécessairement admettre la rupture et la pénétration des sphères célestes. Mais ceci n'est pas toléré par la nature. Gassendi reconnaît alors que « ce fut Peurbach qui trouva la bonne voie pour résoudre ce problème » :

« Puisque s'était imposée l'opinion selon laquelle les orbes célestes étaient solides et contigus, afin que le mouvement du Premier mobile puisse être transmis par les orbes inférieures jusqu'à la Lune, mais qu'en même temps, ceux-ci puissent effectuer leurs révolutions propres, il parut que cela pouvait très facilement s'accomplir selon l'opinion ancienne qui voulait que tous les ciex étaient concentriques entre eux, cependant, selon une autre opinion suggérée par les observations révélant que les mouvements

Pour une analyse de la polémique que Regiomontanus développe dans son *Dialogus* à propos du passage de la *Theorica communis* concernant la planète Mercure et une description des orbes « circumpositi » et de leur fonction dans la structure et dans les mouvements des sphères des *Theoricae novae planetarum* de Peurbach, voir Malpangotto 2013a.

126 Les données évoquées par Zinner 1990, n. 1, p. 22, reprises par Aiton 1987, sont confirmées par de recherches plus récentes et seront ultérieurement précisées dans Malpangotto 2013b.

des planètes étaient excentriques, ces irrégularités apparentes ne pouvaient se sauver qu'en admettant la rupture et la pénétration des sphères célestes : ce qui n'est pas toléré par la nature. Ce fut Peurbach qui trouva la bonne voie pour résoudre ce problème.

Il assigna au ciel de chaque planète un orbe total concentrique (il supposa que sa surface, tant extérieure qu'intérieure, avait un centre non autre que celui de la Terre). Puisque cet orbe avait une épaisseur ou une profondeur insigne, il voulut que celui-ci puisse accueillir un orbe tout à fait excentrique, ayant une épaisseur uniforme et se mouvant à l'intérieur des deux autres d'épaisseur difforme, en transportant soit la planète elle-même, soit l'épicycle qui porte la planète, fixés dans son épaisseur. De cette manière, la planète peut recevoir le mouvement du Premier mobile grâce à l'orbe total, alors que, grâce à l'excentrique, elle peut accomplir sa révolution propre. Par conséquent, aucune partie de la machine n'était brisée, parce que l'excentrique était uniforme, et il n'y avait aucun péril de pénétration, parce que tous les mobiles étaient tenus à l'intérieur de leurs orbites ».¹²⁷

À travers la concentricité des sphères totales, l'univers décrit par Peurbach rend possible la transmission des mouvements du Premier mobile jusqu'à la Lune, alors que la configuration interne particulière de chacune d'entre elle sauve les irrégularités apparentes des mouvements des corps célestes en empêchant la rupture des sphères célestes et la présence du vide.

L'astronome viennois a fourni ainsi la description d'un univers qui peut être une représentation valable de la réalité céleste et, comme l'affirme Gassendi, on peut lui reconnaître à juste titre le mérite d'avoir restauré l'astronomie « presque mourante » et d'avoir fourni, aussi grâce à l'impulsion donnée par Regiomontanus, l'image du monde qui a inspiré la pensée de Copernic : « de telle sorte qu'il est possible non seulement de présumer, mais encore d'affirmer, que si Peurbach n'avait pas existé, nous n'aurions eu ni Copernic ni Tycho »¹²⁸.

Cependant, si l'on s'arrête aux mérites qui, à travers les mots de Gassendi, sont reconnus aux *Theoricæ novæ planetarum*, le lien entre Peurbach et Copernic met en évidence seulement l'apport positif de l'ouvrage de l'astronome viennois. Si l'on suppose que Copernic se soit confronté à cet univers, l'image du monde qu'il a dessinée comporte

127 Cf. Gassendi 1655, 343-344.

128 Cf. *Ibidem*, 337 : « Hisce deductis, adjecti quoque, eam deberi Peurbachio gratiam, quod Astronomiam pene demortuam in hanc lucem reducerit, et cum alia, tum maxime illum Regiomontanum veluti parturierit, a quo per Germaniam haec studia accensa ita Copernici, et Tychonis oculos percelluerint, ut non modo praesumere, sed asserere etiam pene liceat, nisi exstitisset Peurbachius, futurum fuisse, ut neque Copernicum, neque Tychonem iam haberemus ».

des éléments de rupture et non pas de continuité avec l'œuvre de Peurbach. Pour reconstituer, au moins dans ses motivations les plus générales, la manière dont on peut passer de l'univers de Peurbach à celui de Copernic, il est nécessaire de donner du relief non seulement à l'apport positif des *Theoricae*, mais surtout aux réflexions et à l'analyse critique qu'elles ont suscitées, et à l'influence que ces réflexions et cette analyse critique ont eu sur la pensée de Copernic.

Ce sont les réflexions des plus exigeants encore, qui veulent voir la nature céleste réalisée dans le respect le plus authentique et le plus rigoureux de ses principes, qui soumettent cet univers à une critique raffinée. Au moment où les systèmes mathématiques de l'*Almageste* doivent se réaliser dans les orbites corporels des *Theoricae novae planetarum*, leur justesse ne peut plus être simplement prouvée par la rigueur mathématique, en restant dans le domaine d'entités purement abstraites. Si ces cercles deviennent des orbites qui entrent comme parties intégrantes dans des sphères réelles, la justesse de ces nouveaux modèles doit être évaluée sur la base de leur accord avec l'essence de la réalité céleste qu'ils composent.

Selon cette nouvelle interprétation, l'univers qui, dans l'intention de Peurbach, pouvait être la solution optimale pour concilier la physique et l'astronomie en offrant la « *realem sperarum habitudinem* », ¹²⁹ devient au contraire inconciliable avec cette même nature dont il fait partie et devient l'objet de critiques.

C'est la tradition de Cracovie, déclenchée par Brudzewo, qui adopte cette attitude critique. Elle analyse cet univers, y reconnaît les mérites pour lesquels il a déjà été apprécié, mais exige que tous les principes de la nature y soient réalisés et, en premier lieu, la circularité et l'uniformité parfaites des mouvements.

Au nom de la perfection céleste, Brudzewo saisit les points faibles et les incohérences de l'univers de Peurbach, il focalise les limites des ambitions des astronomes, permettant essentiellement de sauver les apparences, et arrive, en dernier ressort, à douter de l'exactitude de ce point de vue qui sert de truchement entre réalité et apparence.

Ce qui était fortement soutenu par Brudzewo comme une exigence, une nécessité qui doit être respectée - à savoir la régularité et la circularité parfaites des mouvements célestes - devient chez Copernic la base sur laquelle fonder la recherche d'une solution alternative : trouver un système plus rationnel de cercles avec lesquels il soit possible d'expliquer toute irrégularité apparente. Le plus célèbre des élèves de Brudzewo démontre ainsi qu'il est non seulement possible, mais même nécessaire, de faire astronomie depuis un nouveau point de vue.

129 Voir *supra* n. 5.

Références

Sources

- Albertus Magnus, *Abbreviatio Almagesti*. Cod. 5266. Österreichische Nationalbibliothek, Vienne.
- Copernic, N. (1543), *De revolutionibus orbium coelestium*. Nuremberg; Johannes Petrius.
- Copernic, N. (1975), *Bref exposé de Nicolas Copernic sur les hypothèses des mouvements célestes qu'il a constitués*. Traduction française dans Hugonnard-Roche et al 1975, 67-91 ; édition du texte latin *De hypothesibus motuum caelestium a se constitutis commentariolus* dans (Prowe 1884, II, 184-202) ; traduction anglaise *A brief description by Nicolaus Copernicus concerning the models of the motions of the heavens that he invented* dans (Swerdlow 1973, 433-512).
- Gassendi, P. (1655), *Tychonis Braheii, equitis dani, astronomorum Coryphaei vita. Accessit Nicolai Copernici, Georgii Peurbachii, et Joannis Regiomontani Astronomorum celeberrimum vita. Editio secunda auctior et correctior. Hagae-Comitum, Ex Typographia Adriani Vlacq* ; Première édition (1654), Parisiis, apud viduam Mathurini Dupis.
- Peurbach, G. *Theoricae novae planetarum*
manuscrits datant de 1454 :
 - Cod. 5203. Österreichische Nationalbibliothek, Vienne;
 - Cod. 5245. Österreichische Nationalbibliothek, Vienne ;
 - Codex Sancrucensis 302. Stiftbibliothek, Heiligenkreuz ;première édition : [1472], [Nurembergæ: Regiomontanus], H* 13595 ;
édition critique avec traduction française et étude introductive dans Malpangotto 2013b; traduction anglaise de l'édition de 1485 dans Aiton 1987, 9-43;
commentaires :
 - Brudzewo, A. (1900), *Albertus de Brudzewo super Theoricas novas planetarum edidit Ludovicus Antonius Birkenmajer*. Cracoviae: Typis et sumptibus Universitatis Jagellonicae. Edition critique.
Manuscrits:
 - 759. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław (L de Birkenmajer);
 - B. J. 2703. Biblioteka Jagellonska, Cracovie (C de Birkenmajer);Premières éditions:
 - 1494, Mediolani: Uldericus Scinzenzeler (GW 5576);
 - 1495, Mediolani: Uldericus Scinzenzeler (GW 5577).
- Capuano, F. (1495), *Theoricae novae Planetarum Georgii Purbachii astronomi celebratissimi ac in eas ... Dominis Francisci Capuani de Manfredonia sublimis exposition et luculentissimum scriptum. Bevilacqua, Venetiis* (H* 13596);
- Mazzolini de Prierio, S. (1515). In *Theoricas novarum planetarum Sylvestri de Prierio per familiaris commentatio, Characteribus Michaelis Lesclencher, Sumptibus Johannis Parvi & Reginaldi Chauderon, Parisiis*;
- Reinhold, E. (1553), *Theoricae novae planetarum Georgii Purbachii Germani*

- ab Erasmo Reinholdo Salveldensi pluribus figuris auctae et illustratae scholiis, Carolum Perier, Parisiis* (1^{ère} édition 1542. Witebergae: Luffit);
- Schreckenfuchs, E.O. (1556), *Erasmi Osvaldi Schreckenfuchsii Commentaria in Novas theoricis planetarum Georgii Purbachii, Henricum Petri, Basileae*.
 - Nunes, P. (1566), *In Theoricis planetarum Georgii Purbachii annotationes*, Basileae: Henricpetrina ; édition critique dans Leitão 2010.
 - Ptolémée, C. (1515), *Almagestum Claudii Ptolemei*. Première édition de la version arabo-latine de Gérard de Crémone. Venetiis: Petrus Lichtenstein.
édition du texte grec dans Heiberg 1898-1907, I;
traduction française par l'abbé Halma, accompagnée du texte grec, dans Halma 1813;
traduction anglaise par G.J. Toomer dans Toomer [1998] 1984.
 - Regiomontanus, I. (2008), *Oratio Iohannis de Montereio, habita Patavii in praelectione Alfragani. Hac oratione compendiose declarantur scientiae Mathematicae et utilitates earum*.
édition critique dans Malpangotto 2008, 129-146;
première édition 1537, Nurembergae: s.n.
 - Regiomontanus, I. (1475), *Dialogus inter Viennensem et Cracoviensem adversus Gerardi Cremonensis in Planetarum Theoricis deliramenta*
première édition [1475, Nurembergae: Regiomontanus] ;
édition critique avec traduction anglaise dans Shank 2013.

Littérature

- Aiton, E.J. (1987), " Peurbach's *Theoricae novae planetarum*: a translation with commentary ", *Osiris* 3 (2nd Series) : 4-43.
- Barker, P. (2011), " The Reality of Peurbach's Orbs: Cosmological Continuity in Fifteenth and Sixteenth Century Astronomy ", in Boner, P.J. (éd), *Change and Continuity in Early Modern Cosmology*. Dordrecht-Heidelberg-London-New York: Springer, 7-32.
- Birkenmajer, A. (1972), *Études d'histoire des sciences en Pologne* (Studia Copernicana IV). Wroclaw, Warsawa, Kracow, Gdansk: Ossolineum.
- Birkenmajer, L.A. (1924), *Stromata copernicana*. Krakow: s.n.
- Dijksterhuis, E.J. (1971), *Il meccanicismo e l'immagine del mondo: dai Presocratici a Newton, tradotto dall'inglese da Adriano Carugo*. Milano: Feltrinelli ; 1961, *The mechanization of the world picture: Pythagoras to Newton, translated by C. Dikshoorn*. Oxford: Clarendon Press ; 1950, *Mechanisering van het wereldbeeld*. Amsterdam: Wetenschappelyk-wysgerige Bibliotheek III. J.M. Meulenhoff.
- Duhem, P. (1913-1915), *Le Système du Monde. Histoire des Doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*. Paris: Hermann.
- Duhem, P. (2003), *Sauver les apparences : essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*. Paris: Vrin.
- Halma (1813), *Κλαυδίου Πτολεμαίου Μαθηματικὴ Σύνταξις, Composition mathématique de Claude Ptolémée, traduite pour la première fois du grec en français ... par M. Halma*

et suivie des notes de M. Delambre. Paris: Henri Grand.

- Heiberg, J.L. (éd.), (1898-1907), *Claudii Ptolemaei opera quae exstant omnia.* Leipzig: Teubner.
- Hugonnard-Roche, H., Rosen, E., Verdet, J.-P. (1975), *Introduction à l'astronomie de Copernic.* Paris: Blanchard.
- Jardine, N. (1984), *The Birth of History and Philosophy of Science. Kepler's A Defence of Tycho against Ursus with essays on its provenance and significance.* Cambridge, New York, New Rochelle, Melbourne, Sydney: Cambridge University Press.
- Leitão, H.S. (2010), *Pedro Nunes – Obras, vol. V: In Theoricis planetarum Georgii Purbachii annotationes.* Lisbon: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Lindberg, D.C. (éd.) (1978), *Science in the Middle Ages.* Chicago: The University of Chicago Press.
- Malpangotto, M. (2008), *Regiomontano e il rinnovamento del sapere matematico e astronomico nel Quattrocento.* Bari: Cacucci editore.
- Malpangotto, M. (2012a), « Vienne, Rome, Nuremberg : Regiomontanus et l'humanisme », in Blay, M., Jullien, V., Nicolaidis, E. (éds), *Europe et sciences modernes, histoire d'un engendrement mutuel – Europe and modern sciences, the history of a mutual engenderment.* Bern, Berlin, Bruxelles, Frankfurt am Main, New York, Oxford, Wien: Peter Lang, 105-132.
- Malpangotto, M. (2012b), « Les premiers manuscrits des *Theoricae novae planetarum* de Georg Peurbach : présentation, description, évolution d'un ouvrage », *Revue d'Histoire des Sciences* 65(2): 339-380.
- Malpangotto, M. (2013a), « L'univers auquel s'est confronté Copernic : la sphère de Mercure dans les *Theoricae novae planetarum* de Georg Peurbach », *Historia Mathematica*, 40(3) : 1-47.
- Malpangotto, M. (2013b), *Les Theoricae novae planetarum de Georg Peurbach : édition critique, traduction française et commentaire.* Paris: Les Belles Lettres (Science et Savoirs).
- Prowe, L. (1884), *Nicolaus Copernicus.* Berlin: Weidmann.
- Rosinska, G. (1974), " Naşir al-Din al-Tūsī and Ibn al-Shāṭir in Cracow? ", *Isis* 65(2): 239-243.
- Rosinska, G. (1984), *Scientific Writings and Astronomical Tables in Cracow: A Census of manuscripts sources (XIVth-XVth Centuries)* (Studia Copernicana XXII). Wrocław, Varsovie, Krakow, Gdansk, Lodz: Ossolineum.
- Shank, M.H. (2012), " The geometrical diagrams in Regiomontanus's edition of his own *Disputationes* (c.1475): Background, production, and diffusion ", *Journal for the History of Astronomy* xliii: 27-55.
- Shank, M.H. (2013), *Johannes Regiomontanus, Disputationes contra deliramenta cremonensia, edition, translation and commentary.* Paris: Les Belles Lettres (Science et Savoirs).
- Swerdlow, N.M. (1973), " The derivation of the first draft of Copernicus's planetary theory: A translation of the *Commentariolus* with commentary ", *Proceedings of the American Philosophical Society* 117(6): 423-512.

- Toomer, G.J. (1998). *Ptolemy's Almagest*. Princeton: Princeton University Press (première édition 1984, London: Duckworth).
- Zinner, E. (1990), *Regiomontanus: his life and work*. Translated by Ezra Brown. Amsterdam: North Holland ; Version originale (1968), *Leben und Wirken des Joh. Muller von Königsberg, genannt Regiomontanus*. Osnabruck: Otto Zeller.