Copernic, Stevin, Galilée et la réalité des orbites célestes

Patricia Radelet-de Grave
Professeur à l'Université catholique de Louvain

I. Introduction

La première partie de cet article souligne les points majeurs de la théorie de Copernic ; la deuxième rend compte de la réception de ces idées parmi les grands ténors de l'astronomie, tels Tycho Brahé et Kepler, mais aussi Simon Stevin, et montre que la difficulté de réception de ces idées est liée à l'aspect réaliste de son système ; quant à la troisième partie, elle s'attache à établir qu'un grand nombre de thèmes de recherche de l'époque, étrangers à l'astronomie, sont liés à la volonté de convaincre de la réalité ou non du système de Copernic.

II. La conception de l'univers de Copernic

Le premier travail de Copernic (1473-1543), communément appelé le *Commentariolus*, fut rédigé entre 1508 et 1514. L'introduction à ce texte répond à la première question qui se pose à propos de cet auteur : pourquoi rompt-il avec une tradition de plus de 1500 ans ?

> «*Bref exposé de Nicolas Copernic sur les hypothèses des mouvements célestes qu'il a constituées*.
>
> «[...] Mais cependant les théories qui ont été avancées 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 (1), à cause desquels la planète n'apparaissait mue avec une vitesse

(1) L'équant est un excentrique qui sert à régler la vitesse à laquelle l'épicyle parcourt le déférent.

toujours uniforme ni sur son orbe déférent ni autour du centre propre [du monde]. Aussi, une théorie de cette espèce ne semblait-elle ni suffisamment achevée ni suffisamment accordée à la raison.

«Ayant donc, pour ma part, remarqué ces difficultés, je me demandais souvent si d'aventure l'on pouvait trouver 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» (2).

La contradiction entre le système de Ptolémée et l'idée platonicienne de mouvement circulaire uniforme des planètes pousse Copernic vers son nouveau système. Plus précisément, l'uniformité de la vitesse de parcours des orbites ne lui semble pas respectée. Pour remédier à cela, il propose sept postulats :

«*Premier postulat*. – Il n'y a pas un centre unique pour tous les orbes ou sphères célestes.

«*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 lunaire.

«*Troisième postulat*. – Tous les orbes 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.

«*Quatrième postulat*. – Le rapport de la distance du soleil à la terre vis-à-vis de la hauteur de la sphère des étoiles est plus petit que le rapport du rayon de la terre à la distance entre le soleil et la terre, au point que la distance du soleil à la terre est imperceptible en comparaison de la hauteur de la sphère des étoiles.

«*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 révolution complète, autour de ses pôles fixes, tandis que demeure immobile la sphère des étoiles ou ciel ultime.

(2) N. COPERNIC, *Commentariolus*, pp. 71-72.

> «*Sixième postulat*. – Les mouvements qui nous paraissent appartenir au soleil ne proviennent pas de lui, mais de la terre et de notre orbe, 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 celles-ci, mais de la terre. Le mouvement de la terre seule suffit donc à expliquer un nombre considérable d'irrégularités apparentes dans le ciel.
>
> «Après avoir adopté ces postulats, je vais m'efforcer de montrer brièvement combien l'uniformité des mouvements peut être méthodiquement préservée» (3).

Les quatre premiers postulats sont des hypothèses, alors que les suivants en énoncent les principales conséquences. Remarquons que Copernic souligne que «la terre» tourne «avec les éléments tout proches».

Vient alors la description du système d'orbes bien connu tel qu'on le retrouve dans le *De revolutionibus* :

> «*De l'ordre des orbes*. – Les orbes célestes s'entourent les uns les autres dans l'ordre suivant. Le plus élevé est celui des étoiles fixes qui, immobile, contient toutes choses et leur donne un lieu. Au-dessous, il y a celui de Saturne, que suit celui de Jupiter, puis vient celui de Mars. Sous ce dernier se trouve l'orbe sur lequel nous sommes entraînés d'un mouvement circulaire, puis viennent celui de Vénus et, le dernier, celui de Mercure. Quant à l'orbe de la lune, il tourne autour du centre de la terre, et il est emporté avec elle, tel un épicycle. C'est encore dans le même ordre que les vitesses de révolution des orbes se surpassent l'une l'autre, selon que les orbes accomplissement des révolutions plus ou moins grandes» (4).

(3) N. COPERNIC, *Commentariolus*, pp. 72-74.
(4) N. COPERNIC, *Commentariolus*, p. 74.

Après avoir décrit les trois mouvements de la Terre –à savoir le mouvement annuel, le mouvement diurne et le mouvement en déclinaison ou mouvement des pôles–, Copernic revient aux mouvements uniformes :

> «*Que les mouvements uniformes ne doivent pas être rapportés aux équinoxes mais aux étoiles fixes*. – Puis donc que les points équinoxiaux et les autres points cardinaux du monde se déplacent considérablement, celui qui entreprend d'établir à partir d'eux une durée constante de la révolution annuelle se trompe nécessairement. En effet, cette durée a été trouvée de longueur inégale par de nombreuses observations à diverses époques. Hipparque l'a trouvée de 365 jours un quart, tandis qu'Albategni le Chaldéen a trouvé cette même année de 365 jours 5 heures 46 minutes, plus précisément de 13 3/5 ou 13 1/3 minutes plus courte que l'année trouvée par Ptolémée» (5).

Soulignons à propos de ce passage que Clavius, Jésuite et mathématicien du Collège romain auteur de la réforme du calendrier de 1582, cite fréquemment Copernic à l'appui de ses dires.

Le mouvement de la Terre permet à Copernic d'expliquer certaines anomalies :

> «Il existe encore une seconde inégalité, selon laquelle on voit la planète parfois rétrograder, souvent aussi stationner ; ces apparences ne proviennent pas du mouvement de la planète, mais du mouvement de la terre qui modifie le point d'observation sur la grand orbe» (6).

Copernic est immédiatement suivi par Georg Joachim Rheticus (1514-1576) qui publie la *Narratio prima* (7) dans le but de défendre les idées de son maître. Ces idées seront finalement publiées par Copernic lui-même, dans le fameux *De revolutionibus*.

L'avant propos du *De revolutionibus,* dû à Andreas Osiander (1498-1592), évite le problème du réalisme du système :

(5) N. COPERNIC, *Commentariolus*, p. 77.
(6) N. COPERNIC, *Commentariolus*, p. 83.
(7) *De libris revolutionum Nicolai Copernici Narratio prima,* Dantzig, 1540.

> «Je ne doute pas que certains savants –puisque déjà s'est répandu le bruit concernant la nouveauté des hypothèses de cette œuvre, qui pose la terre comme mobile et le soleil, par contre, comme immobile au centre de l'Univers–, ne soient fortement indignés et ne pensent qu'on ne doit pas bouleverser les disciplines libérales, bien établies depuis très longtemps déjà. Si cependant ils voulaient bien examiner cette chose de près, ils trouveraient que l'auteur de cet ouvrage n'a rien entrepris qui mériterait le blâme. En effet, c'est le propre de l'astronome de colliger, par une observation diligente et habile, l'histoire des mouvements célestes. Puis d'en [rechercher] les causes, ou bien –puisque d'aucune manière il ne peut en assigner de vraies– d'imaginer et d'inventer des hypothèses quelconques, à l'aide desquelles ces mouvements (aussi bien dans l'avenir que dans le passé) pourraient être exactement calculés conformément aux principes de la géométrie. Or, ces deux tâches, l'auteur les a remplies de façon excellente. Car, en effet, il n'est pas nécessaire que ces hypothèses soient vraies ni même vraisemblables ; une seule chose suffit : qu'elles offrent des calculs conformes à l'observation» (8).

Cette prise de position d'Osiander est en contradiction avec celle que Copernic énonce dans sa propre préface, dédicacée au Pape Paul III. Pourtant ces deux textes ne sont séparés que par une lettre de soutien signée par Nicholas Schönberg, Cardinal de Capoue :

> «Je puis fort bien m'imaginer, Très Saint Père, que, dès que certaines gens sauront que, dans ces livres que j'ai écrits sur les révolutions des sphères du monde, j'attribue à la terre certains mouvements, ils clameront qu'il faut tout de suite nous condamner, moi et cette mienne opinion. Or, les miens ne me plaisent pas au point que je ne tienne pas compte du jugement des autres. Et bien que je sache que les pensées du philosophe ne sont pas soumises au jugement de la foule, parce que sa tâche est de rechercher la vérité en toutes choses, dans la mesure où Dieu le permet à la raison humaine, j'estime néanmoins que l'on

(8) N. COPERNIC, *Des révolutions des orbes célestes*, p. 27.

> doit fuir les opinions entièrement contraires à la justice et à la vérité» (9).

Les deux derniers passages résument les deux prises de positions qui s'affronteront à propos du système de Nicolas Copernic. La première, celle d'Osiander, estime que l'héliocentrisme est une hypothèse qui permet de calculer plus aisément les mouvements célestes sans nécessairement refléter la réalité. La deuxième, que j'attribue avec de nombreux auteurs à Copernic, est réaliste : l'auteur estime décrire les choses exactement comme elles se présentent dans l'Univers.

Tous les historiens ne sont pas d'accord avec cette interprétation de la conception de Copernic. Une des raisons invoquées est l'emploi du terme «hypothèse» dans l'intitulé du *Commentariolus*. Ce titre est probablement calqué sur celui de Ptolémée : *Hypothèses des planètes ou mouvements des cercles célestes.* Pour se convaincre de la conception réaliste de Copernic, il suffit de poursuivre la lecture du *De revolutionibus.* En voici les intitulés des chapitres ainsi que quelques passages importants :

> Chap. I. *Que le monde est sphérique* ;
>
> Chap. II *Que la Terre aussi est sphérique* ;
>
> Chap. III. *Comment la Terre forme une sphère unique avec l'eau* ;
>
> Chap. IV. *Le mouvement des corps célestes est uniforme, éternel et circulaire, perpétuel, ou composé de [mouvements] circulaires*.

Ce dernier intitulé montre à quel point Copernic reste lié au dictat d'Aristote et de Platon.

> «Chap. V. *Le mouvement circulaire convient-il à la terre ? Et de son lieu ?*
>
> «Certes il est admis ordinairement parmi les auteurs que la terre est en repos au centre du monde, de telle façon qu'ils estiment insoutenable et même ridicule de penser le contraire. Si cependant nous examinons cette

(9) N. COPERNIC, *Des révolutions des orbes célestes*, p. 35.

question avec plus d'attention, elle nous apparaîtra comme nullement résolue encore et partant, aucunement méprisable. En effet, tout mouvement local apparent provient soit du mouvement de la chose vue, soit de celui du spectateur, soit d'un mouvement, inégal bien entendu, des deux. Car lorsque les mobiles –je veux dire : le spectateur et l'objet vu– sont animés d'un mouvement égal, le mouvement n'est pas perçu» (10).

Chap. VI. *L'immensité des cieux comparé à la grandeur de la terre*» (11).

Copernic reprend les théories astronomiques anciennes en y soulignant les arguments donnés en faveur de la position centrale de la Terre, arguments qu'il réfute dans le chapitre suivant.

«Chap. VII. *Pourquoi les anciens ont pensé que la Terre est immobile au milieu du monde comme son centre*. – C'est pourquoi aussi les anciens philosophes ont, par quelques autres raisons, essayé de forcer la terre de demeurer au milieu du monde, et pour cause principale ils alléguèrent la gravité et la légèreté. En effet, l'élément de la terre est le plus lourd et toutes les choses pesantes se portent vers elle, se précipitant vers son intérieur. Or, la terre, –vers laquelle les graves, de tous côtés et perpendiculairement à sa surface, sont portés en vertu de leur propre nature–, étant ronde, ils se rencontreraient en son centre s'ils n'étaient retenus à la surface. Car une ligne droite perpendiculaire à la surface tangentielle de la sphère, mène au centre. Or, il semble que les choses qui se portent vers le centre [le] recherchent pour se reposer dans le centre. A plus forte mesure donc la terre serait en repos dans le centre et, recevant en elle tout ce qui tombe, y demeurerait immobile grâce à son poids.» (12).

La suite de ce chapitre résume la doctrine des quatre éléments d'Aristote :

(10) N. COPERNIC, *Des révolutions des orbes célestes*, p. 72.
(11) N. COPERNIC, *Des révolutions des orbes célestes*, p. 78.
(12) N. COPERNIC, *Des révolutions des orbes célestes*, p. 85.

> «Il semble convenable que le mouvement rectiligne soit accordé aux quatre éléments ; aux corps célestes, par contre, de tourner autour du centre» (13).

Les arguments qui suivent auront la vie dure et Galilée devra encore en tenir compte :

> «Si donc, dit Ptolémée d'Alexandrie, la terre tournait, du moins en une révolution quotidienne, le contraire de ce qui vient d'être dit devrait arriver. En effet, ce mouvement qui, en vingt-quatre heures franchit tout le circuit de la terre, devrait être extrêmement véhément et d'une vitesse insurpassable. Or les choses mues par une rotation violente semblent être totalement inaptes à se réunir, mais plutôt unies [devoir] se disperser, à moins qu'elles ne soient maintenues en liaison par quelque force» (14).

Ce dernier argument fait penser à la fronde, argument qui se retrouve chez Galilée comme chez Newton.

> «Et depuis longtemps déjà, dit-il, la terre dispersée aurait dépassé le ciel même (ce qui est parfaitement ridicule) ; à plus forte raison les êtres animés et toutes les autres masses séparées qui aucunement ne pourraient demeurer stables. Mais aussi les choses tombant librement n'arriveraient pas, non plus, en perpendiculaire, au lieu qui leur fut destiné, entre temps retiré avec une telle rapidité de dessous [d'elles]. Et nous verrions également toujours se porter vers l'Occident les nuages, ainsi que toutes les choses flottant dans l'air» (15).
>
> Chap. VIII. *Réfutation des raisons susdites et leur insuffisance*.
>
> «Mais si quelqu'un pensait que la terre se meut, il dirait certainement que ce mouvement est naturel, et non violent. Or, les choses qui se font conformément à la nature produisent des effets contraires à ceux qui se font

(13) N. COPERNIC, *Des révolutions des orbes célestes*, p. 87.
(14) N. COPERNIC, *Des révolutions des orbes célestes*, p. 87.
(15) N. COPERNIC, *Des révolutions des orbes célestes*, p. 88.

> par violence. Les choses, en effet, auxquelles est appliquée la force ou la violence, doivent nécessairement être détruites et ne peuvent subsister longtemps [...]. Mais pourquoi ne le craint-il pas encore bien plus en ce qui concerne le monde, dont le mouvement doit être d'autant plus rapide que le ciel est plus grand que la terre ? Le ciel est-il devenu si grand (immense) parce que ce mouvement, par une véhémence indicible, l'éloigne du centre, et doit-il tomber, s'il s'arrête ?» (16).

Copernic détruit les arguments ptoléméens en appliquant au ciel entier le raisonnement proposé pour démontrer l'immobilité de la Terre. Mais il ne s'arrête pas là et explique les apparences.

> «Pourquoi donc hésiterions-nous plus longtemps de lui attribuer une mobilité s'accordant par sa nature avec sa forme, plutôt que d'ébranler le monde entier, dont on ignore et ne peut connaître les limites ? et n'admettrions-nous pas que la réalité de cette révolution quotidienne appartient à la terre, et son apparence seulement au ciel ! Et qu'il en est par conséquent comme lorsqu'Énée (chez Virgile) dit : nous sortons du port et les terres et les villes reculent.
>
> «En effet, lorsqu'un navire flotte sans secousses, les navigateurs voient se mouvoir, à l'image de son mouvement, toutes les choses qui lui sont extérieures et, inversement, ils se croient être en repos, avec tout ce qui est avec eux. Or, en ce qui concerne le mouvement de la terre, il se peut que c'est de façon pareille que l'on croit le monde entier se mouvoir autour [d'elle]. Mais que dirons-nous donc touchant les nuages et les autres choses flottant dans l'air, ainsi que celles qui tombent ou, inversement, tendent vers le haut ? tout simplement que, non seulement la terre, avec l'élément aqueux qui lui est joint, se meut ainsi, mais encore une partie non négligeable de l'air et toutes les choses qui, de la même manière, ont un rapport avec la terre [...]» (17).

(16) N. COPERNIC, *Des révolutions des orbes célestes*, pp. 89-90.
(17) N. COPERNIC, *Des révolutions des orbes célestes*, pp. 92-93.

Copernic mentionne encore des phénomènes qui pourraient fournir une preuve de la rotation et du mouvement de la Terre. Beaucoup continueront à être étudiés par ses successeurs.

1) Les comètes dont l'irruption dans le système solaire a toujours soulevé beaucoup de questions.

> «Ils disent bien de leur côté –ce qui est tout aussi étonnant– que la région la plus haute de l'air suit le mouvement céleste ; ce que révèlent ces étoiles apparaissant brusquement qui par les Grecs sont appelées *comètes* ou *chevelues,* à la formation desquelles on assigne ce lieu-ci, et qui, de même que les autres étoiles, se lèvent et se couchent [...]» (18).

2) Le mouvement de chute doit être reconsidéré en tenant compte d'une rotation de l'ensemble du système ce qui conduira Galilée (19) à énoncer le principe de relativité.

> «Quant aux choses qui tombent et qui s'élèvent, nous avouerons que leur mouvement doit être double par rapport au monde et, généralement, composé de rectiligne et de circulaire. [...] De plus, les choses qui sont poussées vers le haut et le bas, même sans [tenir compte du] mouvement circulaire n'exécutent pas un mouvement simple, uniforme et égal. Car elles ne peuvent se conformer à leur légèreté ou à l'impulsion de leur poids. Mais celles qui tombent, faisant au début un mouvement lent, augmentent la rapidité en tombant» (20).
>
> Chap. IX. *Peut-on attribuer plusieurs mouvements à la terre. Le centre de l'univers* (21).
>
> Chap. X. *L'ordre des sphères célestes* (22).

(18) N. COPERNIC, *Des révolutions des orbes célestes*, pp. 93-94.

(19) Cf. le *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, traduit en français sous le titre *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, deuxième journée, p. 171.

(20) N. COPERNIC, *Des révolutions des orbes célestes*, pp. 96-97 et pp. 94-95.

(21) N. COPERNIC, *Des révolutions des orbes célestes*, p. 100.

(22) N. COPERNIC, *Des révolutions des orbes célestes*, p. 103.

Copernic est, sous certains aspects, très conforme aux Anciens. C'est la volonté de respecter l'hypothèse platonicienne de l'uniformité du mouvement circulaire qui suscite sa recherche. On peut encore observer cette conformité, à titre d'exemple, dans son étude du mouvement de la planète Mars qui reste très proche de ce que nous avions trouvé chez Ptolémée (23).

D'autre part, il entrevoit très bien les problèmes posés par sa nouvelle cosmologie.

III. Les premiers coperniciens : William Gilbert et Simon Stevin

La théorie de Copernic mit très longtemps à s'implanter et ce pour de nombreuses raisons. Du point de vue scientifique, elle était encore proche des théories antiques et exigeait de nombreux amendements. D'autre part, elle heurtait le sens commun et entrait en contradiction avec les Écritures.

Les tout premiers adhérents de la doctrine copernicienne sont William Gilbert et Simon Stevin. Le premier est sans doute Gilbert, mais le plus explicite dans sa prise de position est Stevin.

En 1600, Gilbert publie un traité intitulé *De magnete magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure ; Physiologia nova, plurimis & argumentis, & experimentis demonstrata* (24). Il affirme que la Terre a un mouvement de rotation diurne. Il est un peu moins affirmatif, ou son énoncé est moins explicite, en ce qui concerne le mouvement annuel, mais il semble ne pas désirer afficher son opinion. En tout cas, Galilée le considère comme copernicien.

Pour Gilbert, les forces attractives entre les corps célestes sont des forces magnétiques et –il est le premier à l'affirmer– la Terre est un grand aimant. Cette affirmation exercera une grande influence, entre autres sur Kepler. Dans le chapitre III du dernier livre, il reprend l'idée du centre des graves d'Aristote et les conséquences d'un mouvement de rotation de la Terre de Ptolémée, déjà reprises par Copernic, pour ajouter :

> «Cette cohérence des parties et cette consolidation de la matière existe dans le soleil, la lune et les planètes, les étoiles fixes, bref dans tous les corps sphériques dont les

(23) Cf., dans ce volume, A. TIHON, *Théorie et réalité : L'exemple de l'astronomie ancienne*.

(24) Ce texte publié à Londres en 1600 a été traduit en anglais par P. F. Mottelay en 1893. Cette traduction a été publiée par Dover en 1958.

> parties sont cohérentes et aspirent à rejoindre leurs centres respectifs» (25).

Dans le chapitre suivant, *Que la terre a un mouvement circulaire*, il affirme très clairement le mouvement diurne et rappelle une très vieille expérience de Pierre le Pèlerin. Ce dernier proposait, en 1268, l'expérience suivante : on place un aimant sphérique sur des poinçons, appuyés aux pôles de l'aimant de manière à ce qu'il puisse pivoter sur ces derniers et l'on oriente les pôles de l'aimant suivant le méridien du lieu, l'un dirigé vers le Nord et l'autre vers le Sud.

Dans ces conditions, Pierre le Pèlerin pensait –tout en avouant ne pas avoir réussi l'expérience–, que l'aimant allait suivre le mouvement journalier de la sphère céleste et effectuer une rotation en 24 heures. Bien qu'il sache l'expérience impossible, Gilbert estime nécessaire de la rappeler :

> «J'omets ce que Pierre le Pèlerin affirme stupidement, qu'une Terrella posée sur ses pôles dans le méridien tourne et fait une révolution complète en 24 heures» (26).

Il mentionne que le phénomène des marées est lié à l'attraction de la Lune et pourrait être lié au mouvement terrestre :

> «Et non seulement des conséquences fâcheuses proviendraient du soleil si la terre était au repos mais de grands dangers pourraient provenir de la lune aussi. Car nous voyons que les océans s'élèvent et déferlent suivant certaines positions de la lune. Mais si la lune ne passait pas rapidement grâce au mouvement journalier de la terre, la mer s'élèverait à l'excès et de nombreuses côtes seraient inondées par des marées énormes» (27).

La chute des corps fait également l'objet de remarques importantes :

> «Et pour cette raison [la cohérence autour des différents centres, évoquée plus haut], la révolution diurne de la terre n'accélère ni ne retarde le mouvement des corps. Ils

(25) W. GILBERT, *De magnete*, p. 326 (nous traduisons).
(26) W. GILBERT, *De magnete*, p. 332 (nous traduisons).
(27) W. GILBERT, *De magnete*, p. 334 (nous traduisons).

ne dépassent pas le mouvement de la terre et ils ne tombent pas plus en arrière lorsqu'ils sont lancés avec force que ce soit vers l'est ou vers l'ouest.

«Que EFG soit la terre, A son centre, soit LE l'influence ascendante. Comme la sphère d'influence se meut en même temps que la terre, donc les parties de la sphère qui se trouvent sur la ligne droite LE participent imperturbablement à la rotation générale. Sur LE le corps pesant M tombe perpendiculairement vers E, par le chemin le plus court vers le centre; ce mouvement rectiligne de M n'est pas non plus un mouvement composé c'est-à-dire un mouvement résultant d'un mouvement de coercition et d'un mouvement circulaire, mais un mouvement simple et direct qui ne s'éloigne jamais de la ligne LE. Et un objet tiré avec force de E vers F et de E vers G a le même degré dans les deux directions et ce malgré le mouvement diurne de la terre» (28).

Comme annoncé, la prise de position de Stevin est plus claire :

«Def. Combien il est notoire à aucuns Astronomes de ce temps, et à plusieurs du siècle sage passé [...] qu'à chaque année la terre fait une révolution alentour du soleil, et joignant cela encores journellement un tour en son propre lieu, toutesfois il semble utile de commencer premièrement par positions feintes, à sçavoir la terre se tenir ferme, comme centre du ciel des estoiles fixes, faisant journellement une révolution alentour de la terre, portant en soy les sept Planètes, lesquelles ont encore chacune leur cours particulier, pour entendre puis après plus aisément le vrai mouvement susdit» (29).

Ce texte sous-tend le plan de son *Astronomie*, troisième partie de la *Cosmographie*.

Livre I. *De l'invention du cours des Planètes, et des estoiles fixes, par les Ephémérides observées, le tout fondé*

(28) W. GILBERT, *De magnete*, pp. 340-341 (nous traduisons).

(29) S. STEVIN, *Les œuvres mathematiques De Simon Stevin de Bruges, le tout reveu, corrigé, & augmenté par Albert Girard*, vol. II, p. 95.

sur la supposition que le terre est stable ou fixe ; c'est en un mot, sur l'hypothese de terre immobile.

Livre II. *De l'invention du cours des Planètes, par voye Mathematique, avec l'hypothèse de terre immobile et de la première inegalité.*

Livre III. *De la seconde inégalité où se trouve l'hypothèse de terre mobile de Copernique* (30).

Son ordre des orbes est le même que celui de Copernic

Stevin décrit ses réticences à la lecture de Copernic et comment les explications de Gilbert les ont éteintes.

«Proposition II. *Déclarer le mouvement de la terre fait en son lieu ; et sa direction magnétique.* – Joignant le cours de la terre de lieu en lieu, d'Occident vers l'Orient, fait un circuit par an, comme a esté dis en la première proposition, elle en a encore deux en lieu l'un est le cours journel sur son axe d'Occident vers l'Orient ; lequel est comme on diroit, d'une pierre à esguiser le fer tournant dans un navire vogant : assavoir que la pierre a mouvement de lieu en lieu par le navire, & un mouvement local sur son axe : l'autre cours (selon Copernique au chap. II. de son premier livre) est, que cependant que la terre fait son cours annuel d'Occident vers l'Orient, elle en fait un autre en lieu au mesme temps au contraire, assavoir d'Orient vers l'Occident, tellement que par là l'axe demeure tousiours parallele, (ou ce qui est tout un) tire vers mesme lieu ; comme si quelqu'un attachoir un festu au centre du carton d'une boussole, parallele à l'axe de la terre ; & icelle boussole soit dans un navire, lequel circuise le fossé d'une ville ronde, il est notoire que la boussole estant emportée du navire aura circuit aussi le fossé de lieu en lieu, mais cependant ladite boussole fera un tour de l'autre costé, contre le cours du navire ; tellement que telle partie que le navire aura fait de son circuit, telle partie la boussole aura-elle fait de son circuit de l'autre costé, demeurant par ce moyen ledit festu tousiours parallele à

(30) S. STEVIN, *Les œuvres mathematiques De Simon Stevin de Bruges, le tout reveu, corrigé, & augmenté par Albert Girard*, vol. II, p. 183.

> l'axe de la terre ; & le mesme s'entendra du cours de la terre en sa voye, laquelle tourne cependant un tour de l'autre costé en lieu, tenant ainsi l'axe vers un mesme lieu : Et je pense que c'est le vray sens de ce que dit Copernique, joinct une figure audit II chap. de son premier livre : mais d'autant que ce mouvement ainsi dit de luy simplement sans aucune raison naturelle, ny demonstration, a esté cause que je ne pouvois de long temps digerer ces deux cours en mesme temps, comme on fait des roüages d'horloges, d'autant que c'est une chose par trop racommodée ; toutefois il devoit estre tel pour convenir au reste : finalement est venu en lumière un livre de Guillaume Gilbert, [de magno magnete Tellure] du grand Aymant terrestre, où il me semble que ce mouvement est à descouvert, & est bien declaré : dont la somme est telle» (31).

On peut comprendre son explication au moyen du dispositif expérimental proposé par Gilbert dans le *De mundo* (32) qu'il a publié en 1651.

Si l'on promène un tel baquet autour d'un centre, une ville nous dit Stevin, lorsque l'ensemble bacquet et ville se trouve dans un champ magnétique comme celui de la Terre, on observe que l'aimant du baquet conserve toujours la même orientation par rapport à l'espace ou au champ magnétique terrestre. Il en résulte que l'aimant a tourné dans le bacquet. Le but de cette expérience est d'expliquer un phénomène décrit par Kepler également, à savoir que l'axe de rotation de la Terre, qui est ici identifié à son axe magnétique par Stevin (33), reste parallèle à lui-même lors du déplacement annuel. L'explication de Stevin a cependant ses limites. Il a raison lorsqu'il parle d'un baquet et d'une ville plongés dans un champ magnétique externe. Mais, si l'on place l'aimant du baquet dans le champ d'un aimant sphérique comme le Soleil, c'est-à-dire si le champ est issu de la ville même autour de laquelle l'aimant et le baquet tournent, ce ne sera plus le cas. Tout le monde connaît l'expérience de la limaille de fer qui matérialise un tel champ. Les parcelles de limaille ne sont pas parallèles entre elles, même sur une même orbite.

(31) S. STEVIN, *Les œuvres mathematiques De Simon Stevin de Bruges, le tout reveu, corrigé, & augmenté par Albert Girard*, vol. II, p. 293.

(32) G. GILBERT, *De Mundo nostro sublunari philosophia nova, opus posthumum authoris fratre collectum pridem & dispositum,* Adam 1651.

(33) Ceci est étonnant car Stevin connaît la déclinaison magnétique comme nous le verrons plus bas.

Relevons deux justifications parmi celles données par Stevin :

> «Prop. III ... Finalement, je diray encore, que du passé j'estois en suspens sur cette matiere ; tenant d'un costé pour regle generale, que tout comprins doit suivre la voye du comprenant, d'où s'ensuivroit que le cours de chacune planete viendroit du meslange des cours des autres planetes qui sont au dessus : & d'autre costé, je voyois advenir le contraire : cecy me faisoit douter, assavoir-mon si les Orbes n'estoyent contigus les uns aux autres, mais errans par l'air, comme les oyseaux à l'entour d'une tour sans que son mouvement attienne à celuy de l'autre ; contre quoy d'autres raisons me reprenoyent : mais estant venu à la cognoissance de la proprieté susdite, que je nomme direction Magnetique, ces douces prindrent fin» (34).

Stevin se départit de la conception copernicienne où le comprenant, l'orbite externe, entraîne le compris, l'orbite interne, dans son mouvement par un mécanisme qui s'apparente à la friction. En comparant les orbites aux trajectoires des oiseaux, Stevin rejette toute la machinerie introduite par Copernic pour expliquer le mouvement planétaire. Dans l'esprit de Copernic, non seulement, le mouvement planétaire est réel, mais il s'accompagne de toute une machinerie qui entraîne les orbites et qui a le même degré de réalité. En comparant les planètes à des oiseaux, Stevin considère des orbites qui n'ont pas d'existence propre. Elles sont le chemin parcouru.

Il y a donc deux problèmes différents liés au réalisme : 1) l'héliocentrisme est-il réel ou bien s'agit-il d'une facilité de calcul ? 2) Les orbites font-elles partie d'un mécanisme ou d'une machinerie qui entraîne les planètes, ou ces orbites sont-elles simplement la reconstruction mentale du chemin parcouru par les planètes ? Ce sont des problèmes différents. Si Stevin refuse la matérialité des orbites, il est par contre convaincu de la réalité du mouvement de la Terre :

> «Les raisons pourquoi on croit que l'hypothèse de terre mobile est reèlle et non pas de terre immobile» (35).

(34) S. STEVIN, *Les œuvres mathematiques De Simon Stevin de Bruges, le tout reveu, corrigé, & augmenté par Albert Girard*, vol. II, p. 294.

(35) S. STEVIN, *Les œuvres mathematiques De Simon Stevin de Bruges, le tout reveu, corrigé, & augmenté par Albert Girard*, vol. II, p. 292.

Une autre justification donnée par Stevin n'est pas sans rappeler la phrase de Virgile déjà citée par Copernic et qui sera encore reprise par Galilée. Il commence par évoquer les problèmes posés par l'astronomie ptoléméienne :

> «Prop. VI. *Dire des admirations sans merveille de ceux qui supposent la terre immobile*.
>
> «La pluspart de ceux qui entendent & tiennent pour certain la description du cours des planetes de Ptolemée, s'esmerveillent de plusieurs proprietez qu'ils y remarquent: Premierement, que Saturne, Jupiter & Mars en l'opposition du Soleil sont tousiours au plus pres de la terre, & en conjonction au plus loing. Secondement, que leur cours en l'epicycle convient tousiours avec l'excès du cours du Soleil, sur le cours du centre de l'epicycle. Tiercement, que le contraire advient à Venus & Mercure ; car leur cours en l'epicycle n'a pas telle convenance avec le Soleil, mais que le cours de leurs centres d'epicycle y convient : Ce qu'ils tiennent pour une marque singuliere que le Soleil est le principal des planetes, & comme leur Roy, ils semblent vouloir accommoder leurs cours au sien : lesquelles choses adviennent estans fondées sur une theorie erronnée, en l'hypothese de terre immobile. Et d'autant que ceste matiere a grand rapport avec ceux qui n'estans accoustumez de naviguer, attribuent le mouvement de leur navire aux autres, comme lors qu'ils en rencontrent un, estans en bas dans le navire sans voir eau ny terre, s'esmerveillent comment un tel navire va beaucoup plus viste que le leur : Ou bien leur navire faisant un tour, disent que l'autre (lequel possible est coy,) fait un circuit à l'entour d'eux ; je prendray cecy par exemple pour declarer ceste matiere» (36).

La suite décrit merveilleusement les pièges que tendent les mouvements relatifs en reprenant l'idée du mouvement relatif de deux bateaux et en compliquant le système jusqu'à avoir autant de bateaux que de planètes dans le système solaire.

(36) S. STEVIN, *Les œuvres mathematiques De Simon Stevin de Bruges, le tout reveu, corrigé, & augmenté par Albert Girard*, vol. II, p. 296.

«Soyent sept poincts A, B, C, D, E, F, G, sept navires en mer, A l'Admiral à l'anchre, & D circuisant continuellement en cercle, qui comprent au dedans de soy les trois navires A, B, C, & non pas E, F, G ; soit aussi quelqu'un en D, comme spectateur ; lequel, selon qu'il a esté dit cy-dessus, s'imaginera qu'il est coy, & que les autres tournent irregulierement à l'entour de luy ; ainsi que s'esmerveillant comme les mentionnez, dira qu'à chacune fois que l'un des trois navires E, F, G, vient en droite ligne par luy, vers l'Admiral, alors qu'iceluy navire est au plus pres de luy : & au plus loing, estant en droite ligne de l'autre costé de l'Admiral A, combien que leurs cours soit desreiglé : Concluant de là que chacun des trois navires tourne encor en un plus petit cercle par le moyen duquel ils s'approchent & s'ésloignent de luy, s'esmerveillant d'abondant comme leur cours s'accorde & convient en quelque façon avec celuy de l'Admiral : Semblablement que les deux navires C, B, tiennent aussi une regle avec l'Admiral, toutefois contraire aux autres precedens, assavoir que le circuit du plus grand cercle qu'il font à l'entour de D, est égal en temps au circuit de l'Admiral, dit en outre que c'est un signe qu'ils sousmettent leurs cours à celuy de l'Admiral comme leur principal.

«Ce qu'estant ainsi, & qu'un Matelot experimenté le reprenant, & luy responde qu'il s'esmerveille sans cause, veu que son navire, lequel il estime & s'imagine estre coy, est celuy qui circuit continuellement les trois A, B, C, d'où s'ensuit qu'il est autant de fois entre l'Admiral A, & l'un des trois E, F, G, que cestuy-là est plus pres de luy ; & au plus loing, lors que A est entre deux : aussi que ces navires ne tournent pas en petits cercles, & autres cours semblablement singez, qui les fait approcher & esloigner, non plus que B, C, en tels cercles convenans au cours de A, comme il estime : mais qu'on pourroit prendre pour chose contre nature, que ce qui apparoit estre tel à un non experimenté, nesoit en effect autrement» (37).

Pour conclure de manière imparable :

(37) S. STEVIN, *Les œuvres mathematiques De Simon Stevin de Bruges, le tout reveu, corrigé, & augmenté par Albert Girard*, vol. II, p. 296.

> «De mesme en pourroit dire un Astronome experimenté à un apprentis ; changeant seulement les noms, au lieu de A l'Admiral soit le Soleil, & B, C, Mercure et Venus, D, la terre, E, F, G, Mars, Jupiter e & Saturne, selon qu'il a esté dit cy-devant, le reprenant de ce qu'il s'esmerveille pour rien ; & ce qui s'ensuit» (38).

La lecture de Gilbert aide Stevin à admettre le système de Copernic. Gilbert ne s'exprime ouvertement qu'à propos du mouvement diurne, mais, d'après l'opinion de ses compatriotes, il était copernicien.

IV. La poursuite de l'œuvre de Copernic : Brahé et Kepler

Même si l'affirmation «la Terre est un grand aimant» est importante pour le développement de l'astronomie, Gilbert et Stevin ne sont pas les grands théoriciens de l'astronomie. C'est Johannes Kepler (1571-1630), avec l'aide de Tycho Brahé (1546-1601), qui fera faire à cette science de nouveaux progrès.

Le système de Tycho Brahé, hybride, reste géocentrique mais les planètes intérieures, Mercure et Vénus, tournent autour du Soleil. L'importance de ce personnage est en partie due à l'interprétation que Kepler fait de ses très nombreuses observations.

Les premiers travaux de Kepler (39) précèdent ceux que nous venons de considérer. Kepler affirme comme Gilbert et Stevin que «les planètes sont des aimants et qu'elles sont déplacées par le soleil au moyen d'une force magnétique» (40). Les travaux qui contiennent ses grandes découvertes sont de 1609 et de 1619.

Le Soleil attire et repousse les planètes qui restent toujours orientées d'une certaine manière. C'est ce phénomène que Stevin expliquait au moyen de l'aimant placé dans un baquet.

Cette manière de voir conduit Kepler à effectuer deux ruptures importantes avec Aristote et Platon. Tout d'abord, il renonce aux mouvements circulaires. L'affirmation selon laquelle les planètes se meuvent sur des

(38) S. STEVIN, *Les œuvres mathematiques De Simon Stevin de Bruges, le tout reveu, corrigé, & augmenté par Albert Girard*, vol. II, p. 296.

(39) J. KEPLER, *Mysterium cosmographicum*.

(40) J. KEPLER, *Tertius interveniens*, dans *Gesammelte Werke*, p. 154.

ellipses se trouve déjà dans l'*Astronomia nova*. La deuxième loi veut que les aires balayées en un même temps par le rayon vecteur soient égales.

La loi des aires est également en rupture avec Aristote et Platon, puisqu'elle renonce au mouvement uniforme. Les planètes vont plus vite lorsqu'elles sont plus près du Soleil. Selon Kepler, la loi des aires se trouve dans l'*Astronomia nova*, comme il l'affirme dans l'*Harmonices mundi* :

> «Cinquièmement, pour que nous venions aux mouvements entre lesquels sont établies les Harmonies, j'inculque de nouveau au lecteur ce qui a été démontré par moi dans les commentaires au sujet de Mars, à partir des très sûres observations de Brahe, que des arcs égaux du mouvement diurne sur un et même Excentrique ne sont pas parcourus avec une égale rapidité, mais que ces divers délais dans des parties égales d'Excentrique, observent la proportion de leurs intervalles depuis le Soleil, source de mouvement. [...] D'autre part il a été démontré par moi-même en même temps que l'Orbite de la Planète est elliptique, et que le Soleil, source du mouvement, est dans l'un des foyers de cette Ellipse» (41).

La troisième loi est le fruit de la recherche qui fut le moteur de tout le travail de Kepler. En effet, celui-ci voulait trouver une loi qui rende compte des distances entre les planètes. C'est de cette manière qu'il a découvert la loi qui relie leurs périodes.

> «Si tu demandes pour cela des moments précis du temps, elle fut conçue le 8 mars de cette année mille six cent dix-huit, mais infructueusement réduite aux calculs, et par là rejetée pour fausse ; enfin revenue le 15 mai, une nouvelle inspiration étant prise, elle emporta les ténèbres de ma Pensée par une si grande approbation, et de mon travail de dix-sept années dans les Observations Brahéennes, et de cette méditation, s'accordant en un même lieu, que je crus d'abord rêver et pressentir ce qui est recherché parmi les principes. Mais la chose est très sûre et très exacte que la proportion qui est entre les temps périodiques de deux Planètes quelconques ensemble, est faite

(41) J. KEPLER, *Harmonices mundi,* traduction française, p. 305.

positivement une fois et demie la proportion des distances moyennes, ce qui est celle de leurs Orbes mêmes.

(NI) ; pourtant je fais l'essai de ceci, que l'essai de ceci, que la moyenne arithmétique entre les deux diamètres de l'Orbite elliptique serait un peu plus longue que le diamètre (x). C'est pourquoi si quelqu'un à partir de la période par exemple de la Terre, qui est une année, et à partir de la Période de Saturne, de trente années, prenait la troisième partie de la proportion, ce qui est les racines cubiques [des nombres], et faisait le carré de cette proportion, les racines [cubiques] étant élevées au carré, celui-ci possède dans les nombres produits, la proportion très juste des intervalles moyens de la Terre et de Saturne depuis le Soleil» (42).

V. Galilée et la réception de l'œuvre de Copernic

Voilà les éléments scientifiques en place. Quelles sont les réactions. Quelles sont les réticences ?

L'œuvre de Galileo Galilei (1564-1642) joue un rôle central de ce point de vue. Il ne faut pourtant pas oublier que sa conception de l'univers reste celle de Copernic lui-même ou de Stevin. Il n'admet pas les orbites elliptiques proposées par Kepler. Mais son objectif n'est pas de construire un système cosmologique. Son œuvre se situe au niveau des conséquences qu'a ou ne peut avoir l'héliocentrisme sur la mécanique terrestre. Il s'efforce d'exhiber une conséquence de ce mouvement tout en tenant compte du principe de relativité qu'il connait. Par ailleurs, il montre que les conséquences prédites par les Anciens pour anéantir le système héliocentrique sont fausses (43).

Lorsque Galileo publie le *Sidereus nuncius*, c'est-à-dire le *Messager* (ou le message) *des étoiles*, les réactions sont bonnes.

Il déchaîne même l'enthousiasme dans le milieu jésuite du Collège romain. Le 19 avril 1611, le cardinal Bellarmin écrit aux mathématiciens du Collège romain :

(42) J. KEPLER, *Harmonices mundi,* traduction française, p. 306.
(43) Cf. les arguments de Copernic lui-même.

«Je sais que vous avez connaissance des nouvelles observations célestes faites par un éminent mathématicien au moyen d'un instrument appelé canon ou lunette ; J'ai personnellement vu, au moyen de ce même instrument, des choses merveilleuses concernant la Lune et Venus. C'est pourquoi j'aimerais que vous me fassiez le plaisir de me dire sincèrement votre impression concernant les choses suivantes

1° Si vous approuvez la multitude des étoiles fixes ; invisibles à l'oeil nu et en particulier de la voie lactée et des nébuleuses qui sont des amas d'étoiles minuscules ;

2° que Saturne n'est pas une simple étoile, mais trois étoiles jointes ensembles

3° que l'étoile Venus a des changements de figure, croissantes et décroissantes comme la lune

4° que la lune a une surface rugueuse et inégale

5° qu'autour de la planète Jupiter circulent quatre étoiles mobiles et de mouvement différents entre eux et très rapides.

Voilà ce que je voudrais savoir parce que j'en entends parler de manière diverses et que vous comme vous exercez les sciences mathématiques, vous pourrez me dire facilement si ces nouvelles inventions sont bien fondées, ou si elles ne sont qu'apparente et fausse. Si vous le désirez vous pouvez mettre la réponse sur cette même feuille.

De mon domicile, le 19 avril 1611 Frère dans le Christ

Robert Card^le^ Bellarmino» (44).

La réponse des mathématiciens du collège romain confirme tous les éléments mentionnés par Bellarmin. Il s'agit des observations rendues possibles par la lunette et décrites dans le *Sidereus nuncius.*

Certains ne voulaient pas croire ce que ces lunettes permettaient de voir, c'est-à-dire la rotation des planètes intérieures autour du Soleil, la Terre ne se trouvant jamais entre ces planètes et la Soleil. Ou encore les satellites de

(44) *Le Opere di Galileo*, vol. XI, p. 87 et p. 92 pour la réponse (nous traduisons).

Jupiter, dit autrement, que Jupiter a des lunes comme la Terre a une lune. En fait, ils ne veulent pas croire admettre que la porte s'ouvre vers l'observation du caractère héliocentrique de notre univers. Car si l'on observe ces phénomènes, ils sont réels. Or c'est là que les problèmes vont surgir comme Osiander l'avait prévu. La lettre, datée du 12 avril 1615, de Bellarmin à Foscarini en donne un premier aperçu :

> «1° Je dis que vous êtes prudent vous et le seigneur Galilée de vous contenter de parler par supposition et non en absolu comme il me semble que l'a fait Copernic. Parce que dire que si l'on suppose que la terre se meut et que le soleil reste immobile on sauve mieux les apparences qu'avec les excentriques et épicycle est dire suffisamment et ne cause aucun danger; et ceci suffit au mathématicien: mais vouloir affirmer réellement que le soleil est immobile au centre du monde et qu'il a seulement une rotation sur lui-même d'orient en occident, et que la terre se trouve dans le troisième ciel et tourne a grande vitesse autour du soleil est une chose très dangereuse car elle irrite non seulement tous les philosophes et les théologiens scolastiques mais encore qu'elle risque de nuire à la sainte foi en rendant fausse les saintes écritures [...]» (45).

Le point deux rappelle que les Écritures doivent être prises à la lettre :

> «Et si on me dit que Salomon parle selon l'apparence, et qu'il nous paraît que le soleil tourne alors que c'est la terre qui tourne, comme à celui qui quitte le rivage, il semble que c'est le rivage qui s'éloigne du bateau, je répondrai que celui qui quitte le rivage sait très bien que le rivage semble s'éloigner et n'en reconnaît pas moins qu'il s'agit là d'une erreur qu'il s'efforce de corriger voyant clairement que c'est le bateau qui se meut et non le rivage [...]» (46).

Bellarmin reprend une fois de plus la citation de Virgile qui se trouve chez Copernic. Il s'agit là d'une mise en garde, car il est clair que Galilée croit à la réalité de ce système et c'est même ce qu'il va tâcher de prouver par toute son œuvre. Il écrit à Foscarini :

(45) *Le Opere di Galileo,* vol. XII, p. 171 (nous traduisons).
(46) *Le Opere di Galileo,* vol. XII, p. 171 (nous traduisons).

> «Il est vrai que c'est une chose de démontrer qu'en admettant le mouvement de la Terre et l'immobilité du Soleil, nous pouvons nous représenter tous les phénomènes observés, et que c'est une autre chose que de prouver que cette hypothèse correspond effectivement à la réalité. Mais il n'est pas moins vrai que l'autre système généralement accepté est incapable d'expliquer tous les phénomènes qui se produisent. C'est pourquoi il est absolument faux, et le système vrai ne peut être que celui qui correspond très exactement aux phénomènes» (47).

Peu de temps après, en 1616, le livre de Copernic est mis à l'index et celui de Kepler l'y suit en 1619. Pourtant l'Église revient quelque peu sur sa décision :

> «Le 15 mai 1620 parut un Monitum de la Congrégation de l'Index, permettant la publication de l'ouvrage de Copernic, vu la grande utilité de ce livre, mais avec des corrections dont elle donnait le texte : ces corrections se rapportent surtout aux endroits où l'auteur parle du mouvement de la Terre comme d'une réalité et non d'une hypothèse» (48).

Les mots «vu la grande utilité de ce livre» rendent certainement compte de l'influence de Clavius qui avait besoin de cet appui pour la réforme du calendrier.

Il ne faut pas croire que l'église catholique romaine soit la seule de cet avis. Tout compte fait, la Bible est la même pour les protestants et Stevin n'a jamais été promu à l'université de Leiden, parce qu'il avait publié la défense de Copernic que nous avons évoquée, comme en témoigne la correspondance du recteur de cette université calviniste :

> «20 octobre 1608, Je ne puis excuser Stevin de la même manière. S'il avait suivi l'exemple de Copernic en tous points, je serais d'accord avec vous. Mais l'affaire se présente d'une toute autre façon. Car il y a une grande différence entre le fait de construire une hypothèse et de

(47) *Le Opere di Galileo,* vol. V, p. 369, cité d'après la traduction de B. KOUSNETZOV, *Galilée*, p. 126.

(48) G. MONCHAMP, *Galilée et la Belgique*, note p. 6.

montrer que cette hypothèse est en soi exacte et indubitable et d'en défendre la vérité à force de raisonnements et d'arguments, ce que, d'après ce que d'autres m'ont dit (car personnellement je n'ai pas encore lu l'ouvrage) fait Stevin, alors que Copernic ne l'a jamais fait. Indiscutablement, cela revient à accuser de mensonges le Saint Esprit qui nous parle dans l'Écriture sainte» (49).

VI. Autres thèmes de recherche liés à la volonté de convaincre de la réalité ou non du système de Copernic

La plupart des travaux des physiciens de l'époque tournent autour de sujets qui sont reliés, d'une manière ou d'une autre, à d'éventuelles conséquences de l'héliocentrisme. Il est clair qu'ils n'espèrent pas tous prouver l'héliocentrisme, mais ils désirent le confirmer ou l'infirmer. Ce problème est au centre des préoccupations de tout un siècle. Ce sont souvent les problèmes qui avaient déjà été évoqués par Copernic, Gilbert, Stevin et poursuivis par Galilée.

1. Les comètes

L'un des premiers problèmes dont le siècle se saisit est celui des comètes. Le prolongement de la recherche menée par Galilée dans le *Messager des étoiles* et des découvertes permises par le nouveau télescope, est l'étude des trois comètes qui se présentent en 1618. De très nombreux textes sont publiés à cette occasion. Les uns purement astrologiques, comme celui de Snell qui est pourtant le traducteur de la *Cosmographie* de Stevin, d'autres plus scientifiques, comme ceux que Galilée oppose à Orazio Grassi du Collège romain (50).

Malheureusement, toutes ces études sont fausses. Mais avant de jeter la pierre à ces chercheurs, il faut savoir qu'en 1682 Jacob Bernoulli publie encore un article incorrect à ce sujet (51). Il n'est pas utile d'entrer en profondeur dans l'analyse de ces erreurs, puisque le lien entre les comètes et l'héliocentrisme est évident.

(49) A. GERLO, *Copernic et Simon Stevin*, p. 287.

(50) Les textes des deux auteurs sont publiés dans le vol. VI de l'Ed. Naz.

(51) Jacob BERNOUILLI, *Corramen novi systematis cometarum, pro motu eorum sub calculum revocando & apparitionibus praedicendis*.

De nombreux travaux scientifiques relatifs à ce sujet et datant de cette époque ont disparu. On a ainsi la preuve de l'existence d'une thèse *de Cometis* dirigée par Grégoire de Saint-Vincent (1584-1667), en 1619, ou Charles Malaperte (1581-1630), en 1620, ou encore Gilles-François de Gottignies (1630-1689), en 1668, pour ne mentionner que des Belges.

Le problème posé par les comètes est profond dans la mesure où il s'agit d'un phénomène qui, comme le disait déjà Copernic, relie le monde supra lunaire au monde sublunaire. Les comètes ont des orbites qui sont loin d'être circulaires et pourtant elles se situent dans le monde supralunaire.

2. Les marées

Le problème des marées mobilise l'attention des chercheurs de cette époque. Le premier à l'attaquer est une fois de plus Simon Stevin entre 1605 et 1608 dans sa *Geographie* qui précède l'*Astronomie* dans la *Cosmographie* déjà évoquée (52).

Ce problème est de plus le cheval de bataille de Galilée qui avait d'abord intitulé le *Dialogo* : *Sur le flux ou le reflux de la mer* (53). Il semblerait qu'il ait changé à l'instigation d'Urbain VIII (54). Mais comme il a finalement opté pour *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, on peut mesurer à quel point l'enjeu était bien perçu. La théorie des marées reste le point culminant et occupe la dernière partie de ce livre :

> «Montrons comment la nature (que ce soit in rei veritate ou bien par jeu et comme pour s'égayer de nos élucubrations) a permis que les mouvements attribués depuis longtemps à la Terre pour de tout autres raisons et sans vouloir rendre compte du flux et du reflux de la mer puissent aussi très adéquatement servir de cause à ce phénomène aussi ; en échange, le flux et le reflux viendront confirmer la mobilité de la Terre» (55).

Malheureusement elle est fausse comme toutes les explications qui, avant celle proposée par Newton, ne tiennent pas compte de l'attraction gravifique.

(52) S. STEVIN, *Les œuvres mathematiques De Simon Stevin de Bruges, le tout reveu, corrigé, & augmenté par Albert Girard*, vol. II, p. 277.

(53) G. GALILÉE, *Dialogo*, introduction de L. SOSIO, p. LXXII.

(54) Cf. L. GEYMONAT, *Galilée*, pp. 170-173.

(55) G. GALILÉE, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, p. 405.

Grégoire de Saint-Vincent attribue le phénomène à un déplacement du centre de la Terre. Pour lui, un tel déplacement représente un travail et donc une énergie acquise qui vont lui permettre de rendre compte de ce mouvement des eaux. Il ne reste que quelques feuilles manuscrites à ce sujet. Elles datent probablement de 1640.

Le lien entre les positions de la Lune et les marées avait été remarqué depuis longtemps. Théodore Moretus (1602-1667) va combiner les idées de son maître Grégoire de Saint-Vincent avec une attraction lunaire magnétique pour obtenir quelque chose de finalement assez proche de l'explication newtonienne.

3. Le magnétisme

Les textes de Gilbert et de Kepler montrent que le magnétisme est intimement lié aux problèmes planétaires. Or on observe que bon nombre de gens se mettent à observer la déclinaison magnétique. En 1599, Simon Stevin rassemble les résultats connus de P. Plancius en une table publiée dans *De havenvinding*. L'impératif économique est clair et les rois catholiques l'ont bien compris, eux qui proposent un prix important pour la détermination des longitudes. Il en va de la sécurité des marins et de leur situation en mer. Le baron Jean Charles della Faille (1597-1652) tentera d'enlever le trophée en 1644.

Néanmoins, les deux études font partie d'une même problématique dans le chef des chercheurs.

Au sein de l'ordre des jésuites, par exemple, Gianbattista Riccioli (1598-1671) demande à tous les Père de la Société qui voyageaient beaucoup de mesurer la déclinaison en plusieurs lieux et à plusieurs reprises.

> «Ces Pères élevés dans notre Société et qui au cours de leurs navigations vers les Indes Orientales ou Occidentales, vers la nouvelle France, communiquent beaucoup d'observations dans leurs lettres ou les transmettent aux Pères Kircher, Scheiner, Grienberger ou à nous-mêmes» (56).

Ces mesures sont rassemblées par Athanase Kirscher (1602-1680) en 1641 et par Riccioli en 1661.

(56) J. B. RICCIOLI, *Quibus ascencendi nostrae Societatis Patres, qui ad Indiam Orientalem, aut Occidentalem, Novamve Franciam navigando, non paucas observationes in suis litteris communicarunt, aut etiam ore tenus PP. Kirchero, vel Scheinero, vel Griembergero, vel Nobis*.

4. La statique

Pour nous, la statique est un sujet neutre et éloigné de ces problèmes cosmologiques. À l'époque, il n'en est rien. Lorsque Copernic évoque les arguments avancés par Ptolémée pour justifier le repos de la Terre, il justifie le repos des corps sur Terre et le fait qu'ils ne s'envolent pas comme la pierre de la fronde. Depuis, la compréhension du principe de relativité nous a appris qu'il n'est pas possible de constater ce mouvement.

Mais on peut voir chez Stevin, le fondateur de la statique, que de nombreux problèmes sont vus dans un contexte cosmologique qui nous est totalement inconnu (57).

Une autre raison de notre surprise vis-à-vis de tels raisonnements est l'habitude que nous avons de l'ordre de grandeur des objets que nous manipulons et du caractère négligeable de ces grandeurs par rapport au rayon terrestre. C'est d'ailleurs ce que Stevin découvre à propos de cette balance. La longueur du fléau devrait être tellement grande pour que l'on perçoive le non parallélisme des fils suspendus.

Chez Grégoire de Saint-Vincent aussi un simple plan incliné est replacé à l'échelle cosmologique. À ce titre d'ailleurs, il critique la fameuse démonstration de Stevin relative au poids d'un corps sur un plan incliné.

On trouve le même type de réflexions chez Galilée qui n'admet pas l'existence d'un plan horizontal. Pour lui le plan horizontal est une sphère. Et si l'on considère un plan horizontal *stricto sensu*, il forme deux plans inclinés.

Certes, tout ceci ne prouve pas, ni n'infirme, l'héliocentrisme mais montre que de telles préoccupations reste perpétuellement présentes à l'esprit des chercheurs et qu'ils recherchent d'éventuelles conséquences du mouvement de la Terre.

5. La chute des corps

Le problème de la chute des corps avait été annoncé par Copernic et par Gilbert car beaucoup pensaient que ce mouvement serait influencé par une rotation terrestre. Ce problème est également étudié par Grégoire de Saint-Vincent et par Galilée. Grégoire donne dans les thèses de statiques qu'il fait défendre en 1624 l'élément essentiel à la découverte de la loi parabolique.

(57) Cf. S. STEVIN, *Les œuvres mathematiques De Simon Stevin de Bruges, le tout reveu, corrigé, & augmenté par Albert Girard*, vol. II, p. 436.

Il affirme que lorsque deux effets se composent, ils le font indépendamment. On peut dire que les deux effets ont une réalité propre, l'un indépendamment de l'autre. Dans ces conditions, il est facile de trouver leur composé. Pour nous qui sommes habitués à la composition vectorielle, il est devenu difficile de percevoir l'importance de cette affirmation.

Moyennant cette indépendance des effets, Galilée arrive à composer deux mouvements et obtient la loi de chute parabolique.

VII. Conclusion

D'autres auteurs interviendront encore, que nous avons dû négliger, comme Descartes et Huygens (58), mais ce n'est que Newton, en 1687, qui mettra un point final à ces diverses occupations et permettra aux chercheurs de se tourner vers d'autres préoccupations.

Newton relie définitivement le monde supralunaire au monde infralunaire en montrant que le mouvement des planètes (étudié par Kepler), celui des comètes et le mouvement de chute des corps dû à Galilée sont en fait de même nature. Newton le montre tout au début du livre III :

> «Supposons plusieurs lunes qui tournent autour de la terre, comme dans le systême de Jupiter ou de Saturne [...]. Maintenant, si la plus proche de celles-ci était très petite, et était assez proche de la terre pour toucher le haut des plus hautes montagnes, la force centripète de cette lune serait à peu près égale au poids de n'importe quel objet terrestre qui se trouverait au sommet de ces montagnes. [...] Et c'est pourquoi la force qui retient la lune sur son orbite est la force que nous appelons communement gravité» (59).

Newton n'illustre pas ce *Scholie*, mais Koestler en donne une image particulièrement parlante.

(58) Jai souligné le rôle de Huygens dans un exposé sur *la réception du Copernicanisme par les Jésuites belges* fait à l'Académie de Bruxelles.

(59) I. NEWTON, *Principia*, scholie de la prop. IV, théor. IV.

Dates importantes

1543	Copernic, *De revolutionibus*
1582	Réforme Grégorienne du calendrier
1600	Gilbert, *De magnete*
1600	Giordano Bruno est brûlé à Rome
1605-1608	Stevin, *Cosmographie*
1607	Comètes
1609	Kepler, *Astronomia nova,* Lois 1 et 2
1610	Galilée, *Sidereus nuncius*
1611	Galilée au Collège romain
1616	Mise à l'index de Copernic
1618	Comètes
1618	Kepler, *Hamonices mundi,* Loi 3
1619	Mise à l'index de Kepler
1620	Permission de l'Eglise de faire appel à l'hypothèse de Copernic
1633	Procès Galilée
1659	Huygens, *Systema saturnium*
1662	Bâle, *Syllabus controversiarum religionis*
	Décrêt contre le Copernicanisme
1677	Jacob Bernoulli adhère à l'héliocentrisme
1687	Newton, *Principia*
1835	Copernic, Galilée et Kepler disparaissent de l'Index.

Bibliographie

I. *Œuvres particulières*

1508-1514 COPERNIC (N.), *Nicolaj Copernicj de Hypothesibus mottum coelestium a se constitutis commentariolus*. [s.l.], [s.d.].

—, *Le* Commentariolus *de Copernic*, dans *Introductions à l'astronomie de Copernic : Le* Commentariolus *de Copernic. La* Narratio prima *de Rheticus* /introduction, traduction française et commentaire de H. HUGONNARD-ROCHE et J.-P. VERDET. – Paris : Albert Blanchard, 1975. – pp. 71-91. – (Collection des travaux de l'Académie internationale d'histoire des sciences ; 21).

1540 RHETICUS (J.), *De libris revolutionum Nicolai Copernici Narratio prima,* Dantzig.

1543 COPERNIC (N.), *De revolutionibus orbium coelestium,* Nüremberg.

—, *Des révolutions des orbes célestes* / traduction, avec introduction et notes, par A. KOYRÉ. – Paris : A. Blanchard, 1970.

1586 STEVIN (S.), *Uytspraeck a. De Beghinselen Der Weeghconst b. De Weeghdaet, c. De Beghinselen Des Waterwichts*. Leiden, François van Raphelengen.

1596 KEPLER (J.), *Mysterium cosmographicum*, Tübingen.

1599 STEVIN (S.), *De Haven-vinding*. Leiden, Christoff van Raphelengen.

1600 GILBERT (W.), *De Magnete*. Londres. – Traduit en anglais par P. F. MOTTELAY en 1893, New York, Dover, 1958.

1603 BRAHÉ (T.), *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis*. Prague.

CLAVIUS (Ch., S.J.), *Romani Calendarii a Gregorio XIII p.M. restituti explicatio*. Rome.

1605-1608 STEVIN (S.), *Wisconstige Gedachtenissen, Inhoudende t'ghene daer hem in gheoeffent heeft Den Doorluchtichsten Hoochgheboren Vorst ende Heere, Maurits Prince van Oraengien, Grave van Nassau, ...&c.*. Leiden Jean Bouwensz. – Traduction française partielle par J. TUNING, Leiden, Jean Jacobsz. Paedts, 1605-1608.

1608 *Lettre de Ubbo Emmius, à Sibrandus Lubbertus du 29 septembre 1608*, publiée dans l'article de A. GERLO, *Copernic et Simon Stevin*, in *Ciel et Terre*, novembre et décembre 1953, n°11-12.

1609 KEPLER (J.), *Astronomia nova*, Prage. – *Gesammelte Werke*, vol. III, 1937. Traduction française par J. PEYROUX, Paris : Albert Blanchard, 1979 et 1986.

1610 KEPLER (J.), *Tertius interveniens das ist Warnung an etliche Theologos, Medicos und Philosophos*. Frankfurt am Main. – *Gesammelte Werke*, vol. IV, p. 151.

GALILEO (G.), *Sidereus nuncius*. Venise. – Publié également à Venise, Marsilio, 1993.

1619 KEPLER (J.), *Harmonices mundi*. Linz. – Traduit par J. PEYROUX, Paris : Albert Blanchard, 1980.

1621 KEPLER (J.), *Prodomus dissertationum cosmographicarum, continens mysterium corsmographicum de admirabili proportione orbium coelestium*. 2e édition, Francfort. – Traduit en français par A. SEGONDS, Paris : Belles Lettres, 1982.

1632 GALILEO (G.), *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo,* Florence. – Publié également à Torino, Einaudi, 1970. Traduit en français par R. FRÉREUX et F. DE GANDT, Paris : Éditions du Seuil, 1992.

1634 STEVIN (S.), *Les Œuvres Mathematiques De Simon Stevin de Bruges, le tout reveu, corrigé, & augmenté par Albert Girard,* Leiden, Bonaventure et Abr. Elzevier.

1638 GALILEO (G.), *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze allenenti alla mecanica e i movimenti locali,* Leiden. – Traduit par M. CLAVELIN chez Armand Colin.

1651 GILBERT (W.), *De Mundo nostro sublunari philosophia nova, opus posthumum authoris fratre collectum pridem & dispositum,* Amsterdam.

1661 RICCIOLI (J.B.), *Geographiae et Hydrographiae reformatae,* Bononiae.

1682 BERNOULLI (Jacob), *Conamen novi systematis Cometarum, pro motu eorum sub calculum revocando & apparitionibus praedicendis,* Amstelaedami.

1687 NEWTON (I.), *Philosophiae naturalis principia mathematica,* Londres.

II. *Éditions complètes*

COPERNIC (N.), *Complete works translation and commentary by Ed. Rosen.* Varsovie/Cracovie : Académie des sciences de Pologne, 1978.

GALILEO (G.), *Le Opere di Galileo* / ed. A. FAVARO. – Florence : Edizione Nazionale, 1890-1909.

KEPLER (J.), *Gesammelte Werke* / ed. M. CASPAR und Fr. HAMMER. – München : C.H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, 1937.

III. *Littérature secondaire*

GERLO (A.), *Copernic et Simon Stevin*, in *Ciel et Terre*, nov.-déc. 1953, n°11-12, pp. 277-288.

GEYMONAT (L.), *Galilée* / traduit de l'italien par F.M. ROSSET. – Édition Complexes, 1983.

KOESTLER (A.), *Les Somnambules : Essai sur l'histoire des conceptions de l'univers* / traduits de l'anglais par G. FRADIER. – Calmann-Lévy.

KOUZNETSOV (B.), *Galilée* / traduit et révisé par M. ROUZÉ. – Éditions Mir, 1973.

KOYRÉ (A.), *Attitude esthétique et pensée scientifique,* dans PANOFSKY (E.), *Galilée critique d'art* / traduit de l'anglais et préfacé par N. HEINICH ; suivi de *Attitude esthétique et pensée scientifique* / par A. KOYRÉ. – Paris : Les Impressions Nouvelles, 1992.

MONCHAMP (G.), *Galilée et la Belgique*. – Saint-Trond 1892.

PANOFSKY (E.), *Galilée critique d'art*, dans PANOFSKY (E.), *Galilée critique d'art* / traduit de l'anglais et préfacé par N. HEINICH ; suivi de *Attitude esthétique et pensée scientifique* / par A. KOYRÉ. – Paris : Les Impressions Nouvelles, 1992.