



Nicolas Copernic

Christian Scotta

HISTOIRE

Dans ce premier article, Christian Scotta replace Copernic dans son époque et le situe par rapport aux anciens. Il nous offre d'abord, loin de l'image d'Epinal, un regard critique, argumenté, sur le personnage (Copernic observait peu). Il expose ensuite le système de Copernic (la Terre est en mouvement) qui modélise l'Univers en se fondant sur une idée, "idéal d'harmonie", et sur des constatations expérimentales (les saisons, les rétrogradations des planètes).

Au fil de l'exposé, l'auteur donne l'éclairage des successeurs de Copernic (Galilée, Newton) sur ce modèle.

"Qu'y-t-il de plus beau que le ciel qui assurément contient tout ce qui est beau ?"

Sa vie, son oeuvre

Né à Thorn, aujourd'hui Torun en 1473, orphelin à 10 ans, il est recueilli par son oncle. Il a 19 ans quand Christophe Colomb découvre l'Amérique (1492) et 42 ans lors de la bataille de Marignan (1515).

De 1491 à 1495, il est étudiant à l'université de Cracovie. Puis, comme de nombreux étudiants assez fortunés pour le faire, il se rend en Italie où il passe près de 10 ans. Il étudie le droit à Bologne (1496), fait un pèlerinage à Rome (1500) où, âgé de 27 ans, il fut, selon Rheticus, "professeur de mathématiques devant une large audience d'étudiants et un cercle d'hommes éminents et de spécialistes"¹. Il étudie la médecine à Padoue (1501) puis reçoit son doctorat de droit à Ferrare en 1503.

Entre temps, il est élu chanoine² du diocèse de Warmie (1497), ce qui lui assure un revenu confortable. La capitale de ce

diocèse est la ville de Frauenburg, aujourd'hui Frombork ("forteresse de la Vierge"). Il soigne l'évêque Watzzerolde, qui est son oncle et son protecteur. Il s'est représenté lui-même dans un autoportrait, un brin de muguet à la main, emblème des guérisseurs. Une copie de ce tableau est visible sur l'horloge astronomique de la cathédrale de Strasbourg. Il se fixe à Frombork en 1512 et y restera toute sa vie.

Le 9 mars 1497, il observe l'occultation d'Aldébaran (dans le Taureau) par la Lune, en compagnie de l'astronome Domenico Maria Novora. Il diffuse sa théorie du mouvement de la Terre dans un petit manuscrit, rédigé vers 1510-1512, le "Commentariolus" ou "le Petit Traité". Copié et recopié par ses lecteurs, ce manuscrit fait connaître Copernic dans le monde savant. Le 1er mai 1514, Matthias de Miechow, professeur à l'université de Cracovie, signale dans le catalogue de sa bibliothèque "un manuscrit de 6 feuilles exposant la théorie d'un auteur qui affirme que la terre se déplace tandis que le Soleil est immobile".

C'est dans ce Commentariolus que se trouvent les sept postulats de Copernic.

En 1514, le pape Léon X l'invite à travailler sur la réforme du calendrier mais Copernic décline l'offre. En 1517, il publie un "Essai sur la frappe de la monnaie".

Sa théorie du mouvement de la Terre commence à être connue, puisqu'en 1538, Martin Luther évoque cet "astrologue" qui "souhaite renverser toute la science de l'astronomie".

Vers 1530, Copernic commence la rédaction du "De Revolutionibus...". Le manuscrit est inachevé quand Georg Joachim Rhéticus (âgé alors de 25 ans) lui rend visite en mai 1539 : Copernic est alors âgé de 66 ans. Rhéticus reste chez Copernic jusqu'en septembre 1541. En 1540, Rhéticus publie la "Narratio Prima" ("Premier Rapport"), dans laquelle il expose les thèses de Copernic. Il assure la relecture du manuscrit du "De Revolutionibus" qu'il emporte à Nuremberg pour le confier à un imprimeur. Mais devant rejoindre son poste de professeur à l'université de Leipzig, il demande au théologien protestant Andréas Osiander (1498-1552) d'assurer la publication de l'ouvrage qui sort en 1543 sous le titre suivant "De Revolutionibus Orbium Coelestium" (en 1000 exemplaires).

Copernic dédie son ouvrage à Paul III, élu pape en 1534, connu pour avoir été fêru d'astrologie. Copernic aurait reçu un exemplaire imprimé sur son lit de mort, en 1543.

La préface d'Osiander.

A-t-il lu la préface qu' Osiander, rédigea sans la signer et qui affirme que le système héliocentrique n'est qu'un artifice mathématique ?

"Car ces hypothèses (héliocentrisme et mouvements de la Terre) n'ont pas besoin d'être vraies ni même probables, si elles procurent un calcul conforme aux observations, cela seul est suffisant... Et si des causes sont imaginées (pour expliquer l'inégalité apparente des mouvements planétaires), comme beaucoup le sont, elles ne sont pas présentées pour convaincre qui que ce soit de leur vérité, mais seulement pour fournir une base correcte aux calculs..."

Osiander affirme qu'on ne connaîtra jamais la cause véritable des phénomènes astronomiques. Il trahit la pensée de Copernic qui, comme le souligne Arthur Koestler³ croyait à la réalité physique du système héliocentrique. Les épicycles et les excentriques n'étaient pas non plus pour lui de simples artifices de calcul⁴.

Cependant, pour Jacques Gapaillard⁵, "le point de vue positiviste (d'Osiander) ... correspond à une certaine conception moderne des activités scientifiques".

La Narratio Prima fit davantage pour l'héliocentrisme que le De Revolutionibus. Une seconde édition du De Revolutionibus se fit toutefois à Bâle en 1566 et une troisième à Groningue en 1617.

Arthur Koestler.

Arthur Koestler affiche une piètre opinion de Copernic dans "Les Somnambules" (1960) : "un chanoine craintif" (titre de la 3^e partie consacrée à Copernic), manquant de courage pour affirmer ses opinions ; "le mystificateur", qui fit croire qu'il vivait sur les bords de la Vistule, "un morne pédant, dénué de flair et de l'intuition de somnambule des vrais génies ; c'est un homme qui, s'étant emparé d'une bonne idée, en fit un mauvais système, besognant patiemment à entasser des épicycles et des déférents dans le plus triste, le plus illisible des livres célèbres."

Ptolémée a lui aussi droit au qualificatif de "pédant...qui empile avec une morne obstination orbe sur orbe".

Koestler reproche à Copernic d'avoir peu observé et d'avoir trop fait confiance aux observations des Anciens (Ptolémée, Hipparque...). Copernic n'utilise en effet que 27 observations personnelles. Il lui reproche en outre son ingratitude envers Rhéticus qu'il ne cite nulle part. Ce jugement mérite d'être nuancé. Mais il est certain qu'il a trop différé la publication de son oeuvre, peut-être ne l'eut-il jamais fait sans Rhéticus.

Les disciples de Copernic.

Dans le "De Revolutionibus", Copernic ne cite pas son seul disciple, Georg Joachim Rhéticus (1514-1574),

pourtant à l'origine de l'ouvrage. Découragé, Rhéticus ne s'occupa plus d'astronomie.

Les premiers partisans de l'héliocentrisme n'ont pas connu Copernic. Citons Michael Maestlin (1550-1631), le maître de Képler; Christopher Rothmann (1540-1597) ; Johannes Képler (1571-1630).

La lettre de Lysis à Hipparque.

Pourquoi Copernic a-t-il attendu "quatre fois neuf ans" avant de publier son oeuvre ?

Dans le manuscrit du "De Revolutionibus", il insère sa propre traduction (un faux, on le saura plus tard) d'une lettre que le pythagoricien Lysis adressa à Hipparque, peu après la mort de son maître Pythagore (vers 580-vers 470 av. notre ère). Cette lettre témoigne de l'usage des pythagoriciens qui transmettaient leur doctrine uniquement "à leurs proches et à leurs amis", et par voie orale uniquement. Seule l'insistance de ses amis a convaincu Copernic de publier son oeuvre.

Copernic craignait en effet d'être incompris de la plupart des philosophes, à cause de l'absurdité apparente de sa "théorie du mouvement de la Terre". Il fut tenté de ne rien divulguer, dans la crainte "du mépris à cause de la nouveauté et de l'absurdité de son opinion". Cette lettre de Lysis à Hipparque est un faux d'inspiration pythagoricienne. Diogène Laërce⁶ cite la fin de cette lettre dans sa "Vie, doctrine et sentences des Philosophes illustres".

Les prédécesseurs de Copernic.

Comme il l'indique lui-même dans sa Préface, Copernic n'est pas le premier à mettre la Terre en mouvement. Il cite les Grecs de l'Antiquité qui ont eu cette audace. Hicéas de Syracuse (V^e siècle avant notre ère), Héraclite du Pont et Ecphantus (IV^e siècle avant notre ère) faisaient tourner la Terre sur elle-même⁷. Philolaos (IV^e siècle avant notre ère, disciple de Pythagore), faisait tourner la Terre autour du feu central, le Soleil n'étant qu'un reflet de ce feu central, idée à laquelle Platon aurait adhééré à la fin de sa vie (selon Plutarque). Aristarque de Samos (III^e siècle avant notre ère), surnommé le Copernic de l'Antiquité, parce qu'il fit

tourner la Terre sur son axe et autour du Soleil. Copernic le cite dans son manuscrit mais pas dans l'édition imprimée.

Il a peut être connu son contemporain Celio Calcagnini, qui rédigea un petit traité intitulé : "comment le ciel se tient immobile et comment la Terre se meut". Mais Calcagnini s'en tient à l'idée d'Hicetas de Syracuse qui croyait que le Ciel et tous les astres sont immobiles. Il explique les mouvements apparents des astres par la rotation de la Terre autour d'un axe qui s'incline dans différentes directions.

Le système de Copernic

"L'arrangement du monde est un témoignage de l'œuvre divine".

Copernic donne une image simplifiée de son système au chapitre 10 du "De Revolutionibus" : les orbites ne sont pas à l'échelle et il omet les épicycles mineurs.

Ce schéma aurait pu suffire. En effet, Platon recommandait de considérer "les ornements du ciel" (les astres) comme les plus beaux et les plus parfaits objets de leur ordre "sans devoir s'attarder à les étudier dans le détail" car les corps célestes visibles ne sont que les reflets imparfaits de modèles idéaux et éternels⁸.

Dans cet esprit, notre système solaire est aussi harmonieux que puisse l'être un objet du monde sensible.

Mais en tant que parties du monde corporel, les planètes présentent des irrégularités dans leurs mouvements. Un autre que Copernic les aurait négligées.

Les avantages

1 - Unité du monde.

La Terre est de même nature que les planètes. Elle est l'une des planètes. Son mouvement est décrit de la même façon que celui des autres planètes. La dualité Ciel Terre disparaît : Copernic généralise la gravité au Soleil et aux autres planètes, chacune exerçant cette tendance en direction de son centre.

2 - Simplicité du système.

- rotation de la Terre sur son axe et immobilisation de la sphère des Fixes. Ptolémée la faisait tourner en 24 heures, bien plus vite que la sphère de Saturne qui tourne en 30 ans.

- un ensemble de sept cercles autour du Soleil : un cercle pour chaque planète (Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter et Saturne) plus un cercle pour la Lune. Les planètes ayant une même vitesse linéaire, plus elles sont loin, plus leurs périodes de révolutions sont longues.

De plus, le Soleil placé au centre "peut éclairer tout à la fois" et retrouve le rôle prépondérant que lui attribuaient les Anciens ("Esprit du Monde"). Ce qui est moins évident si, comme Ptolémée, on le place entre Vénus et Mars. Cet argument relève de l'esthétique. Mais Copernic n'attribue pas de rôle moteur au Soleil : le Soleil "gouverne la famille des astres qui l'entourent".

3 - Explication des stations et des rétrogradations des planètes : ces mouvements sont des apparences dues à la révolution de la Terre autour du Soleil. Copernic peut supprimer les épicycles destinés à expliquer ces mouvements.

4 - Echelle du Système Solaire : il donne les premières valeurs correctes des distances relatives des planètes, en nombre de fois la distance Terre-Soleil (aujourd'hui l'Unité Astronomique) ; de plus, il entrevoit une relation entre les périodes de révolution et les distances au Soleil. Kepler trouvera cette relation⁹.

Dans sa description générale du Système solaire, Copernic est guidé par "des considérations d'harmonie"¹⁰. La parfaite organisation du monde témoigne de la perfection du Créateur¹¹. On doit retrouver la structure du monde à partir de la symétrie¹² qui existe entre ses parties de la même façon qu'on obtient un corps harmonieux à partir de membres pris çà et là, pourvu qu'ils soient proportionnés à un même corps. Tout est lié dans le Ciel : on ne peut déplacer aucune partie du monde sans entraîner la confusion dans

tout l'ensemble. Le Soleil est immobile au centre de la sphère des Fixes, elle-même immobile. Les six planètes tournent autour du Soleil d'autant plus lentement qu'elles en sont loin (elles ont la même vitesse linéaire). Mais pour concevoir ce système héliocentrique, l'observateur doit quitter la Terre - du moins par la pensée - pour se rendre au centre du monde¹³.

Les inconvénients

En vertu du "principe du mouvement par fait" (préambule du Commentariolus), les mouvements planétaires se font sur des cercles ou sur des combinaisons de cercles. Copernic donne à ce principe la même importance qu'à l'hypothèse de la "mobilité de la Terre".

Pour rendre compte de la variation de la marche apparente du Soleil (et de l'inégalité des saisons), il faut soit mettre le Soleil au centre de l'orbite terrestre, et faire tourner la Terre sur un petit épicycle (défèrent + épicycle, le défèrent et l'épicycle tournent en une année en sens contraire), soit placer le Soleil à côté du centre de l'orbite terrestre (excentrique) : dans ce cas, la distance angulaire du Soleil au centre est de $1^{\circ} 56'$; la distance linéaire est de $1/31$ de la distance Terre Soleil. Copernic explique ainsi les écarts entre le mouvement moyen (circulaire) et le mouvement vrai (elliptique).

La distance de la Terre au Soleil varie avec une distance maximale et une distance minimale, qu'il continue à nommer respectivement apogée et périégée bien qu'elles ne se rapportent plus à la Terre. Kepler les appellera l'aphélie et le périhélie¹⁴.

Pour rendre compte des inégalités dans les mouvements des planètes, Copernic est également obligé d'utiliser des "épicycles mineurs".

Par exemple, la planète Saturne tourne sur la circonférence d'un petit cercle (l'épicycle) dont le centre décrit la circonférence d'un grand cercle (l'excentrique). La planète sur son épicycle et le centre de l'épicycle tournent dans le même sens et durant la même période. On l'appelle excentrique parce que son centre est décalé par rapport au centre de l'orbite terrestre. (Le centre

du Soleil ne coïncide pas avec le centre de l'orbite terrestre.) Copernic explique ainsi les irrégularités du mouvement de Saturne dont la distance au centre de l'orbite terrestre passe par un maximum et par un minimum.

D'autres cercles étaient nécessaires pour expliquer les écarts au nord et au sud de l'écliptique.

Copernic ne donne aucune explication physique à ces combinaisons de cercles. Il se contente d'évoquer les sphères célestes qui emportent les planètes. Comme Ptolémée, il fait une description géométrique des mouvements planétaires ; c'est de la cinématique. Par contre, les ellipses permettent une explication physique : théorie magnétique de Képler, tourbillons de Descartes (qui parle d'ovales) ou gravitation de Newton. Les mouvements sont expliqués par des forces ; c'est de la dynamique.

Les mouvements de la Terre

Arguments en faveur de la rotation de la Terre (ch. 8 du "De Revolutionibus")

Relativité du mouvement

La Terre est fixe alors que le Ciel tourne d'est en ouest ; le Ciel est fixe alors que la Terre est en rotation d'ouest en est : ces deux propositions sont équivalentes car elles produisent les mêmes apparences. Le mouvement de la Terre n'est pas perceptible, sinon par le mouvement apparent du Ciel en sens inverse. Copernic prend l'exemple du bateau sur une mer calme, exemple repris par Galilée, Descartes et Newton.

Il est plus facile de faire tourner la Terre sur elle-même étant donné sa petitesse, que de faire tourner le Ciel. Il faudrait donner au ciel une vitesse incroyable, étant donné ses dimensions. Appliquant au ciel les effets de la force centrifuge qu'on attribuait à la rotation terrestre, Copernic fait gonfler la sphère céleste sous l'effet de sa rotation : plus le rayon de la sphère céleste

s'agrandit, plus il faut lui attribuer une vitesse linéaire importante car sa vitesse angulaire de rotation reste la même (24 heures).

La Terre tourne parce qu'elle est ronde. Sa rotation est un mouvement naturel et différent des mouvements circulaires des machines. Donc, le mouvement circulaire de la Terre ne produit pas d'effet centrifuge capable de soulever les objets au-dessus du sol, crainte qu'il attribue à Ptolémée, lequel évoquait une chute rectiligne de la Terre¹⁵.

La Terre ne se dérobe pas sous un objet pendant qu'il est en l'air ; comme on le croyait, faisant qu'il retombe à l'ouest de son point de départ¹⁶. Le mouvement de chute vertical se compose avec le mouvement latéral dû à la rotation de la Terre¹⁷. Projetée vers le haut, une pierre conserve le mouvement circulaire et retombe au lieu d'où elle est partie.

"Il convient de reconnaître que par rapport au monde (la Terre), le mouvement des corps qui montent et qui descendent est double, absolument composé du rectiligne et du circulaire."

La Terre possède le mouvement circulaire ; les parties de la Terre "séparées de leur totalité" possèdent en outre le mouvement rectiligne de chute ou d'ascension, en sorte que "*le < mouvement > circulaire coexiste avec le rectiligne comme le vivant avec le malade*". Les mouvements rectilignes des parties (mouvements accidentels) affectent le mouvement de rotation de la Terre autour de son axe (mouvements naturels), de la même façon que l'état de maladie (état accidentel) affecte l'animal dans son état naturel.

Galilée (1564-1642) reconnaît dans le mouvement circulaire uniforme un mouvement inertiel qui, une fois acquis, ne s'arrête jamais¹⁸. Un boulet de canon tiré verticalement ajoute son mouvement autour du centre ("le mouvement universel de la Terre vers l'est") à son mouvement vertical, si bien qu'il se maintient constamment au-dessus du canon¹⁹.

Pour Copernic, l'air (du moins la

partie la plus proche du sol) participe à la rotation de la Terre (à laquelle est jointe l'élément aqueux, c'est-à-dire les mers et les océans), parce qu'il est de la même nature que la Terre (il est "mêlé" avec l'élément terre qui possède naturellement ce mouvement circulaire), ou parce qu'il a "acquis" ce mouvement.

Arguments en faveur de la révolution de la Terre.

La sphère céleste est coupée en deux parties égales par l'horizon. Le rayon de la Terre est si petit que les lignes partant du centre de la Terre se confondent avec celles partant de la surface terrestre où se trouve l'observateur. Par conséquent, le Ciel est immense par rapport à la Terre.

Ptolémée en déduisit que la Terre est au centre du monde ; mais on a le même effet si la Terre n'est plus au centre du monde, mais proche de celui-ci. Dans le manuscrit du ch.6, Copernic établit un parallèle entre la taille des atomes, imperceptible, et celle des corps qu'ils composent, avec la taille de l'orbite de la Terre, infime par rapport à celle de la sphère des fixes.

La révolution de la Terre ne produit aucun déplacement apparent des étoiles fixes ; aujourd'hui, on dirait qu'il n'y a aucun effet de parallaxe. Cela s'explique parce que la distance de la Terre au Soleil est très petite comparée à la grandeur de la sphère des Fixes.

Chez Ptolémée, la sphère de Saturne touche la sphère des Fixes ; chez Copernic, un espace immense les sépare.

Par contre, les irrégularités qu'on observe dans les mouvements des planètes s'expliquent bien si la Terre n'occupe pas le centre de leurs révolutions : les planètes peuvent s'approcher et s'éloigner de la Terre tout en décrivant des cercles autour du Soleil.

Le troisième mouvement de la Terre.

Outre la rotation diurne et la révolution annuelle, Copernic attribue un 3^e mouvement à la Terre. L'axe de la Terre est fiché dans l'orbite solide qui entraîne la Terre autour du Soleil, sans que cela gêne la rotation terrestre. La sphère de l'orbite annuelle tourne en une année et pendant ce temps, l'axe devrait décrire un cône en sens inverse.

Or, on sait que l'axe de la Terre vise toujours un même point dans l'espace, proche de l'étoile polaire dans l'hémisphère boréal. Sinon chaque lieu de la surface terrestre ne connaîtrait qu'une saison unique. Il faut donc donner à cet axe un mouvement conique en sens contraire pour que l'axe conserve toujours la direction de l'étoile polaire : ce mouvement conique annuel n'apparaît pas et l'axe semble immobile. Avec un axe qui pointe toujours la même direction, Copernic peut ainsi expliquer l'alternance des saisons.

Cependant, l'axe ne revient pas exactement à une direction parallèle à lui-même. Il décrit un angle légèrement inférieur, et accomplit un mouvement conique dans le sens rétrograde, en une période beaucoup plus longue (quelques 26 000 ans). Copernic explique ainsi la précession des équinoxes alors qu'on l'attribuait à un mouvement propre des étoiles, ce qui nécessitait l'ajout d'une 9^e sphère, placée au-dessus de la sphère des fixes (la 8^e sphère).

Depuis, on a appris qu'une sphère en rotation comme la Terre n'a aucune raison de changer la direction de son axe de rotation, à moins d'y être contrainte par une force extérieure. Ce 3^e mouvement est donc inutile pour expliquer que l'axe terrestre pointe toujours l'étoile polaire. Galilée propose l'expérience suivante²⁰ : il place une balle dans un récipient rempli d'eau. En faisant tourner le récipient, on voit que la balle tourne en sens inverse du récipient mais dans la même période. En fait, la balle ne tourne pas mais regarde toujours la même direction. La Terre est un globe suspendu dans un air ténu et est dans la même situation que la balle : son axe est toujours orienté dans la même direction.

Par contre, il faut noter que Copernic attribue correctement la précession des équinoxes à la Terre et non au ciel. Isaac Newton donnera une explication physique à ce mouvement conique : la Terre n'est pas parfaitement sphérique ; les attractions du Soleil et de la Lune sur le bourrelet équatorial provoquent ce mouvement conique de l'axe de la Terre.

Rôle central du Soleil

Le Soleil est la lampe qui éclaire le monde : il gouverne la famille des planètes mais ne meut pas les planètes. Copernic emploie "des formules toutes pythagoriciennes"²¹ en parlant du Soleil comme le Dieu visible²², et du monde comme un "temple immense" qui reflète la perfection divine.

"Il l'adore et presque le divinise"²¹

Par contre, Rhéticus donne au Soleil un rôle moteur : le Soleil "est au principe du mouvement et de la lumière"²³.

Copernic reprend à son compte l'hymne au Soleil écrit par Pline l'Ancien dans le 2^e Livre de son Histoire Naturelle :

Celui-ci plaçait le Soleil au milieu de 6 planètes (Lune, Mercure, Vénus, Soleil, Mars, Jupiter et Saturne, la Terre restant au centre de leurs révolutions). Les paroles de Pline prennent un sens nouveau dans l'héliocentrisme ("au milieu" en particulier).

Pline : "Au milieu d'elles < les planètes > se meut le Soleil...qui régit les astres eux-mêmes et le ciel. En considérant ses oeuvres, on apprend que c'est lui l'âme du monde ou plus exactement l'esprit du monde, la règle première et la divinité du monde ; il apporte la lumière aux choses et enlève les ténèbres...Il prête sa lumière aux autres astres ; illustre, excellent, omnivoyant, entendant tout..."

Copernic :

"Au milieu de toutes réside le Soleil. En effet, dans ce temple splendide, qui placerait ce luminaire dans un autre et dans un meilleur lieu que celui d'où il peut tout éclairer à la fois ?

Si du moins ce n'est pas impropre - ment que certains l'appellent lampe du monde, d'autres esprit du monde, d'autre celui qui régit le monde. Trismegiste le nomme Dieu visible, l'Electre de Sophocle l'omnivoyant. Certes, en étant ainsi placé sur le trône royal, le Soleil dirige la famille des astres mus autour de lui."

Notes et références

Par manque de place nous n'avons pas pu reproduire toutes les références précises des citations de Copernic, écrites en italique. Celles-ci proviennent de : "De Revolutionibus" et du "Commentariolus".

1 - "Narratio Prima".

2 - Clerc d'un chapitre, communauté de moines qui assistent l'évêque dans ses fonctions liturgiques, pastorales et administratives.

3 - les citations d' A. Koestler sont toutes tirées de son ouvrage "Les Somnambules", 3^e partie "Un chanoine craintif".

4 - "il n'est pas facile de distinguer lequel des deux <l'épicycle homocentrique, ou l'excentrique > se manifeste dans le ciel".

5 - "Et pourtant, elle tourne !" Seuil.

6 - Diogène Laërce est un écrivain grec du début du III^e siècle, auteur de la première histoire de la philosophie grecque.

7 - l'arabe al-Biruni (973-1050) déclare que l'Indien Aryabhata (V^e siècle) a soutenu la rotation de la Terre ; mais il réfute cette hypothèse.

8 - "La République".

9 - Ptolémée donne les distances des planètes à la Terre en rayons terrestres.

10 - 11 - Alexandre Koyré : "Les étapes de la Cosmologie" in "études d'histoire de la pensée scientifique".

12- symétrie : disposition harmonieuse des parties d'un ensemble.

13 - Jean-Jacques Szczeciniarz : "Copernic et la révolution copernicienne".

14 - "Le Secret du Monde".

15 - 16 - "Almageste".

17 - En physique aristotélicienne, on ne peut composer un mouvement circulaire avec un mouvement rectiligne.

18 - 19 - 20 "Dialogue sur les deux grands systèmes du monde"

21 - Hélène Védrine : "La nouvelle image du monde", chap. 2 de François Chatelet "Histoire de la philosophie".

22 - Copernic aurait été contrarié s'il avait connu l'existence des tâches solaires ! Quand il les découvrit en 1610, le père Scheiner préféra croire à des planètes plutôt que d'infliger une "insulte" au Soleil.

23 - A. Koyré, introduction à la traduction du "De revolutionibus".