

*Séance du 23 mai 2022***Les « progrès » en astronomie, ou des somnambules aux amnésiques****Béatrice BAKHOUCHE**

Académie des Sciences et Lettres de Montpellier

**MOTS CLÉS**

Apparences célestes, épicycle, excentrique, Platon, révolutions des Modernes

**RÉSUMÉ**

L'idée de progrès, en astronomie, est loin d'être linéaire : si les hommes, depuis la plus haute Antiquité, ont eu une connaissance rudimentaire des choses du ciel, mais suffisante pour leur permettre d'organiser leur vie, la science des astres n'a pas occupé la même place dans les différentes cultures. Nous sommes héritiers de l'astronomie grecque qui s'est trouvée, pendant des siècles, tributaire de la géométrisation du cosmos imposée par le philosophe Platon. Ce diktat a condamné les astronomes à trouver et à améliorer des systèmes de plus en plus complexes pour résoudre le problème du mouvement apparemment irrégulier des planètes.

Il faut attendre la révolution de Kepler, plutôt que celle de Copernic, pour initier un système radicalement nouveau et qui reste, à ce jour, le nôtre.

Je voudrais, d'emblée, dissiper un malentendu : jamais je n'aurais proposé un tel sujet si, en 2021, les trois présidents de section n'avaient envisagé, pour éviter une trop grande hétérogénéité de nos conférences, de proposer trois thématiques dont l'une aurait été « l'histoire des idées rapportées au progrès ». J'avais, dans ce cadre, proposé un sujet qui a été retenu... alors que le projet est resté lettre morte ! Je ne l'aurais pas proposé non plus, sachant que notre confrère, Pierre Louis, nous a parlé, en 2019, de la révolution copernicienne, et je souhaite au passage le remercier chaleureusement pour avoir très gentiment répondu à mes questions<sup>1</sup>.

Cependant, à bien y réfléchir, nous perpétuons ainsi l'esprit de notre société, car l'intérêt pour la science des astres, loin d'être une nouveauté dans notre Académie, en constitue au contraire une caractéristique notable, dès ses débuts : les astronomes du XVIII<sup>e</sup> siècle ont participé, en effet, à l'élaboration de l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert. En témoigne encore, sur le plan local, la construction d'un observatoire d'astronomie en haut de la tour de la Babotte, grâce au financement de notre entreprenante Société royale des Sciences, comme elle s'appelait à l'époque.

<sup>1</sup> Voici le lien pour accéder au texte de P. Louis : [https://www.ac-sciences-lettres-montpellier.fr/academie edition/fichiers conf/LOUIS-2019.pdf](https://www.ac-sciences-lettres-montpellier.fr/academie%20edition/fichiers%20conf/LOUIS-2019.pdf). Je souhaite également témoigner toute ma gratitude à l'un de ses amis, Thierry André, pour l'envoi des dessins des excentriques et épicycles même si je n'ai pas pu tout utiliser à cause de problèmes techniques que mon confrère J.-P. Nougier a résolus en redessinant les figures 1, 4 et 5. Qu'il reçoive ici l'expression de toute ma gratitude. Je voudrais enfin remercier les confrères qui sont intervenus dans le débat qui a suivi ma conférence et qui m'ont permis de l'enrichir pour la publication.

Drôle de titre, pourra-t-on dire, pour « célébrer » l'idée de progrès que de se référer à l'amnésie et au somnambulisme ! Je vais essayer de dépasser cette contradiction, cette apparente aporie.

## 1. L'observation du ciel et ses enseignements

Depuis que l'homme existe, sa vie est conditionnée par deux conséquences du mouvement des astres : l'alternance du jour et de la nuit et l'alternance des saisons ressentie par les conditions météorologiques, mais aussi (sur le plan astronomique) par la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon. Ces connaissances élémentaires étaient suffisantes pour permettre à l'homme d'organiser sa vie.

À un second niveau, les hommes ont tiré de la contemplation du ciel un certain nombre d'enseignements : ils ont, bien sûr, identifié la Lune et le Soleil, mais ils ont aussi reconnu des petits points brillants qui se déplaçaient plus ou moins lentement, plus ou moins régulièrement, dans le ciel et puis des points fixes, tout aussi brillants, qu'ils ont réunis dans ce qu'on a appelé des « constellations » (étymologiquement « des étoiles avec, ensemble »), des amas d'étoiles qu'ils ont réunies ensemble et leur ont assigné des formes, puis des noms, comme celui de la « Grande Ourse », que nous avons tous pu observer.

À un troisième niveau, dans les sociétés anciennes et en dehors des conséquences pratiques, pour la vie de l'homme, des phénomènes célestes élémentaires, les rapports au ciel ont été variables selon les époques et les lieux.

Pour Otto Neugebauer, qui a consacré de nombreux travaux à l'astronomie antique, « les mathématiques et l'astronomie jouèrent un rôle uniformément insignifiant dans toutes les périodes de l'histoire de l'Égypte »<sup>2</sup>, Malgré tout, pour le repérage du temps au sein d'une société, le comput du temps est un objet indispensable, et, là-dessus, le calendrier égyptien est considéré, toujours par Otto Neugebauer, comme « le seul calendrier vraiment intelligent de toute l'histoire de l'humanité »<sup>3</sup>, l'année égyptienne comptant 12 mois de 30 jours auxquels s'ajoutent 5 jours additionnels à la fin de chaque année. Et, lorsque les décans (sections célestes de 10° chacune) font leur première apparition sur le dessus des sarcophages du Moyen Empire, le calendrier civil est établi depuis longtemps et une série de 36 constellations (une par décan) ont été mises en relation avec ce calendrier. On le voit, aucune connexion avec le Soleil ou avec la Lune, car ce qu'observaient les Égyptiens c'était le lever héliaque (c'est-à-dire lever juste avant l'aube naissante) de Sirius, annonciateur, entre autres, de la crue du Nil.

S'agissant de la société babylonienne, on a longtemps considéré la magie, la mystique des nombres et l'astrologie comme « des forces motrices de la science babylonienne »<sup>4</sup>, mais, les découvertes des textes, il y a un siècle, une fois décryptés par les chercheurs, ont montré que les mathématiques jouent un rôle essentiel dans l'astronomie babylonienne, que celui des observations y est encore très modeste et que leur précision n'était qu'un mythe. Leur calendrier, qui se fondait sur l'observation des mouvements lunaires, impliquait une attention particulière à la toute première apparition du premier croissant à l'horizon ouest.

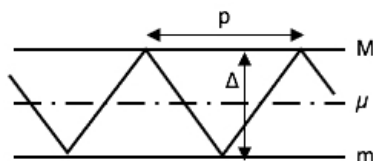
<sup>2</sup> *The Exact Sciences in Antiquity*, Dover Publications, Inc., New York, 1957 = *Les sciences exactes dans l'Antiquité*, trad. fr., Actes Sud, 1990, p. 101.

<sup>3</sup> *Les sciences exactes dans l'Antiquité*, p. 112.

<sup>4</sup> O. Neugebauer, *Les sciences exactes dans l'Antiquité*, p. 131.

La théorie mathématique peut être datée d'avant 500 av. notre ère, et l'observation des différentes positions a permis aux Babyloniens d'établir des tables astronomiques, les éphémérides de telle ou telle planète, avec sa position à tel moment. Si l'on reporte ces positions dans un plan orthogonal avec, en abscisse, le moment de l'année et, en ordonnée, la hauteur de l'astre au-dessus et au-dessous de l'équateur céleste, on obtient ce genre de schéma (figure 1) :

Figure 1 : Le zigzag correspond aux mouvements de la Lune de part et d'autre d'une ligne médiane( $\mu$ ). Sur M se positionne la Lune dans sa position la plus au nord et sur m dans sa position la plus au sud.  $\Delta$  indique l'amplitude  $M - m$ , et P la périodicité entre deux positions identiques de la Lune. © Otto Neugebauer, 1957



Otto Neugebauer appelle de telles suites des « fonctions zigzag linéaires » qui joignent les différentes positions de la planète<sup>5</sup> et la lettre P indique la périodicité entre deux positions identiques de l'astre dans le ciel qui correspond à ce que l'on sait être la durée de sa révolution, ce dont les Babyloniens ne se préoccupaient guère.

On le voit, dans les anciennes sociétés et quel que soit l'intérêt des savants pour les astres, ceux-ci sont, au plan sociétal, des marqueurs calendaires : si la plupart des calendriers, dans l'Antiquité comme aujourd'hui, se fondent sur les mouvements de la Lune et/ou du Soleil, il n'en est pas de même chez les Égyptiens qui choisissent, malgré tout, un repère stellaire, le lever de Sirius, pour marquer le début de l'année.

Dans le monde grec antique, le calendrier varie selon les cités, et le comput du temps à Athènes est lunisolaire, dépendant des mouvements de la Lune et du Soleil. Mais, à la différence des sociétés babylonienne ou égyptienne, il existe une authentique astronomie grecque, avec sa modélisation géométrique qui institue une véritable révolution.

## 2. La modélisation géométrique du ciel : une révolution grecque ?

Les « physiciens pré-socratiques », selon la dénomination des historiens de la philosophie – entendons les philosophes de la nature –, proposaient une vision simple du monde à l'origine duquel ils plaçaient l'un des quatre éléments (l'eau pour Thalès, le feu pour Héraclite...), ou encore les atomes pour Épicure. Mais, la révolution scientifique, qui consiste à modéliser le cosmos selon la figure du cercle, a pour origine un passage d'un dialogue du philosophe athénien Platon (~428~348 av. n.è.), le *Timée*, où il est écrit :

« Comme figure, le démiurge donna au monde celle qui lui convenait et qui lui était apparentée. Au vivant qui doit envelopper en lui-même tous les vivants, la figure qui pourrait convenir, c'était celle où s'inscrivent toutes les autres figures. Aussi est-ce **la figure d'une sphère**, dont le centre est équidistant de tous les points de la périphérie, une forme circulaire, qu'il lui donna comme s'il travaillait sur un tour – figure qui est entre toutes la plus parfaite et la plus semblable à elle-même –, convaincu qu'il y a mille fois plus de beauté dans le semblable que dans le dissemblable. [...] [Des sept mouvements appropriés à un corps, il lui a donné en partage celui qui entretient le plus de rapport avec l'intellect et avec la pensée. Voilà pourquoi, en lui imprimant **un mouvement**

<sup>5</sup> O. Neugebauer, *Les sciences exactes dans l'Antiquité*, p. 146.

**de rotation uniforme** dans un même lieu et sur lui-même, il l'a fait se mouvoir d'un mouvement circulaire »<sup>6</sup>.

C'est ce présupposé géométrique qui va orienter la recherche astronomique pendant des siècles et des siècles, pendant plus d'un millénaire, dans le monde grec et romain. La modélisation s'accompagne d'une espèce de loi du mouvement circulaire, qui doit être uniforme et constamment régulier, comme le rappellera encore Simplicius au VI<sup>e</sup> s. de notre ère, dans son commentaire au traité d'Aristote *Sur le Ciel* :

« Quels sont les mouvements circulaires et parfaitement réguliers qu'il convient de prendre pour hypothèses, afin que l'on puisse sauver les apparences présentées par les astres errants ? »<sup>7</sup>.

À l'époque grecque, ce que l'on connaissait déjà, c'était l'écliptique (ligne imaginaire oblique, inclinée sur l'équateur céleste [de 12°] et sur laquelle se déplace le Soleil, au cours de sa révolution annuelle apparente) ; la Lune, satellite de la Terre, est éclairée par le Soleil et la forme de ses phases est due à la projection à sa surface de l'ombre de la Terre, ce qui prouve du même coup que celle-ci est ronde. On a également observé les variations du diamètre apparent de ces astres, ce qui suppose une variation dans leur distance respective à la Terre ; on connaissait également la durée inégale des saisons, ce qui supposait une vitesse irrégulière, tantôt plus lente, tantôt plus rapide, du Soleil sur son orbite apparent. Autant de « phénomènes », autant d'apparences célestes qui vont être difficiles à expliquer à l'aide du cercle.

Quant aux planètes, celles qui sont dites inférieures, Mercure et Vénus, se trouvent constamment dans la proximité du Soleil, d'où l'impossibilité d'établir pour elles une durée de révolution propre et l'assimilation de cette durée à celle du Soleil. Ce que l'on avait observé enfin, c'est que toutes les planètes, de Mars à Saturne (les deux dernières planètes de notre système solaire n'étaient pas encore connues), ne sont pas animées d'un mouvement uniforme et régulier (comme le voulait Platon), mais connaissent, au cours de leur révolution, des stations, des mouvements, tantôt directs, tantôt rétrogrades, comme dans le mouvement de Mars : c'est la conjonction du mouvement de la Terre ou du Soleil (selon l'hypothèse héliocentrique ou géocentrique dans laquelle nous nous plaçons) et du mouvement propre à la planète qui provoque ces irrégularités de mouvement, le cas de Mars<sup>8</sup> étant généralement choisi dans les démonstrations, car sa durée de révolution de 2 ans seulement permettait une observation continue de ses différentes positions, beaucoup plus facilement que pour les planètes à la révolution de 12 ans (Jupiter) ou à celle de 30 ans (Saturne).

Certes, l'ombre projetée par un appareil aussi simple qu'un gnomon suggérait effectivement un mouvement circulaire du Soleil autour de la Terre, mais les problèmes des irrégularités posés par les observations les plus élémentaires ne pouvaient être résolus par le modèle du cercle avec la Terre pour centre.

Dès lors, des générations d'astronomes, dans le monde hellénistique et romain, vont essayer de « sauver les apparences (célestes) », σώζειν τὰ φαινόμενα, c'est-à-dire d'expliquer rationnellement, et à l'aide du cercle, les irrégularités des mouvements planétaires, en imaginant diverses théories.

La première de ces théories est le système très compliqué et tout aussi inefficace – donc très vite abandonné – des sphères homocentriques imaginées par l'astronome Eudoxe, contemporain de Platon, et de son disciple Callippe. Les historiens de l'astronomie estiment que l'hypothèse des excentriques et épicycles, qui va dominer les

<sup>6</sup> Platon, *Timée* 33b & 34a.

<sup>7</sup> Simplicius, *In caelo* II, 12.

<sup>8</sup> Pour le dessin du mouvement de Mars vu de la Terre, voir l'étude de P. Louis, p. 5 (voir lien n. 1).

représentations géométriques des mouvements planétaires, a émergé assez rapidement, après Héraclide du Pont (qui a connu la fondation d'Alexandrie en 332, donc fin du IV<sup>e</sup> siècle, avant notre ère) et avant Hipparque (II<sup>e</sup> s. av. n.è.), soit au III<sup>e</sup> s. av. n.è.

Nous nous plaçons résolument dans un système géocentrique qui met la Terre – et l'homme qui l'habite – au centre de la création, et qui fait tourner planètes et luminaires autour d'elle. Le consensus des hypothèses géocentriques est vite battu en brèche par deux astronomes : Héraclide du Pont (IV<sup>e</sup> s. av. n.è.) qui fait des deux planètes inférieures – Vénus et Mercure – des satellites du Soleil, et Aristarque de Samos (début du III<sup>e</sup> s. av. n.è.) dont l'hypothèse héliocentrique consistait à mettre le Soleil à la place de la Terre, au centre du monde, ce qui ne modifiait guère les « apparences célestes », car on se trouve un peu dans la situation des passagers d'un train à côté d'un autre train et qui ne savent pas lequel des deux est en mouvement : pour le savoir, il leur faut prendre pour repère un troisième élément dont ils savent qu'il est fixe (un pylône, par exemple). Quel que soit le centre du monde, le Soleil ou la Terre, le changement de perspective ne permettait de toute façon pas de résoudre tous les problèmes observés, d'où son abandon, peut-être favorisé par sa condamnation par le philosophe stoïcien, Cléanthe, qui criait au sacrilège.

Pour en venir au système qui a été finalement adopté, celui des excentriques (figure 2) et des épicycles (figure 3), il a, sans doute, vu le jour, si l'on suit les historiens des sciences, à une époque antérieure à celle d'Hipparque qui, lui, a vécu, on le sait, au second siècle av. n.è. On a ainsi un nouveau paradoxe de l'histoire : le « découvreur » du système géométrique qui va dominer l'astronomie occidentale, pendant un millénaire, est inconnu !

Figure 2 : Exemple d'excentrique appliqué au mouvement (apparent) du Soleil (vu de la Terre) : la terre, qui est au centre du monde n'est pas le centre O de l'orbite solaire, ce qui explique l'inégalité des saisons. © Th. André

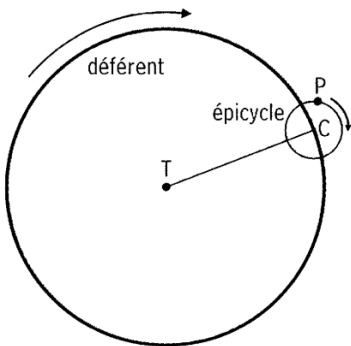
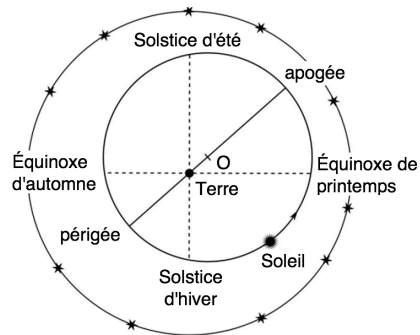


Figure 3 : La planète P tourne sur un petit cercle, l'épicycle, dont le centre (C) tourne à son tour autour d'un grand cercle, le déférent, qui tourne lui-même autour de la Terre (T). © Th. André

Hipparque, quant à lui, comme la plupart des savants, a utilisé ses observations personnelles et celles de ses prédécesseurs, avec un souci marqué à la fois de qualité et de quantité. Il confronte ses calculs à la riche documentation qu'il recueille non seulement chez les Grecs, mais aussi chez les Babyloniens dont il utilise, en particulier, les éphémérides lunaires. Il s'attache à concilier deux impératifs catégoriques : la loi du mouvement circulaire et uniforme et le respect absolu des faits.

Pour le Soleil, il propose deux théories, l'une fondée sur le procédé de l'excentrique et l'autre sur l'épicycle en soulignant leur équivalence, car l'une et l'autre suffisent à expliquer l'inégalité des saisons, et la démonstration de cette équivalence constitue déjà un réel progrès. Pour la Lune, qui déjoue encore aujourd'hui les prévisions des astronomes, ses résultats sont plus mitigés. Quant aux planètes, il dénonce l'insuffisance des résultats de ses prédécesseurs tout en assignant ce programme de recherche à ses successeurs, mais sans remettre le moins du monde en question les prémisses du philosophe de l'Académie.

Pour mesurer les variations du diamètre apparent du Soleil, il invente un dioptré spécial qui surpasse celui d'Archimède. Et enfin, ses observations répétées du ciel et la confrontation de ses résultats avec d'anciens catalogues d'étoiles lui permettent de découvrir la précession des équinoxes, lent déplacement annuel des points équinoxiaux (qui sont les points d'intersection de l'écliptique et de l'équateur céleste) qu'il évalue à  $36''$  (en réalité égal à  $50''26$ ). On voit donc les progrès qui ont pu être réalisés, mais qui s'arrêtent à la théorie des planètes.

Bref, on ignore étonnamment l'inventeur du système excentrique ou épicyclique qui a modélisé, pour des siècles, les mouvements planétaires ; l'apport d'Hipparque, s'agissant de ces mouvements, concerne le Soleil. Et il faudra attendre Ptolémée, au II<sup>e</sup> s. de notre ère, pour obtenir le même résultat qu'Hipparque, mais cette fois-ci appliqué aux astres errants, aux planètes. En effet, contrairement à ce que l'on peut lire sur Internet, Ptolémée n'a pas inventé un nouveau système, mais, dans sa *Composition mathématique* (qui sera appelée *Almageste* par les Arabes, au Moyen Âge), il a complexifié le modèle existant en calculant au plus juste les vitesses des divers mouvements – mouvement du déferent et de celui, direct ou rétrograde, de l'épicycle –, mais aussi, pour les cas les plus complexes, en combinant le système des excentriques et celui des épicycles pour aboutir à l'épicycle mobile (fig. 4)<sup>9</sup>.

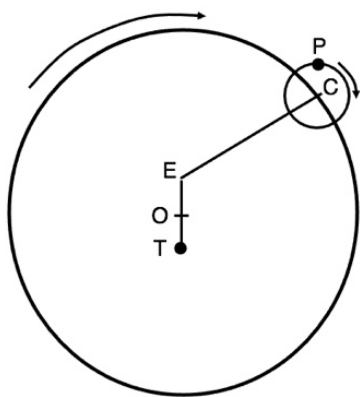


Figure 4 : L'équant ou excentrique mobile.

La planète tourne sur son cercle épicycle, tandis que le grand cercle, le déferent, tourne à son tour autour d'un point O, milieu du segment qui relie la Terre (T) et le *punctum equans* (E). © Th. André

<sup>9</sup> Voir le dessin du système de Ptolémée dans la notice de l'*Encyclopaedia Universalis* à l'article sur Claude Ptolémée, <https://www.universalis.fr/encyclopedie/systeme-geocentrique-de-ptolemee/>.

Ptolémée remplit la mission, assignée par Hipparque, de rendre compte mathématiquement des mouvements des planètes à partir du même modèle que son devancier qu'il est obligé de rendre plus complexe : mais, en donnant à un point, mobile autour d'un cercle, une vitesse variable par rapport au centre de ce cercle, Ptolémée « a contrevenu », comme le constate René Taton à la suite de Pierre Duhem<sup>10</sup>, « ou du moins donné une grave entorse à la loi du mouvement circulaire et uniforme. Par là il s'est conduit – sans le savoir – en véritable savant, qui doit toujours adapter sa théorie à l'exigence des faits ». Ce faisant, il portait le système astronomique hérité d'Hipparque à son plus haut degré d'exactitude, ... sur les mêmes prémisses, toujours erronées.

Contrairement à ce qu'écrit Otto Neugebauer, pour qui « l'astronomie eut beaucoup plus d'effet sur l'attitude philosophique des anciens, dans la mesure où elle influença leur image du monde »<sup>11</sup>, c'est en réalité l'inverse qui s'est produit : c'est le diktat de Platon qui a fourvoyé des générations d'astronomes. On constate donc que les astronomes Grecs ont frôlé la vérité, avec l'hypothèse héliocentrique, mais que le modèle – erroné – du cercle les a induits en erreur de façon durable. Et pourtant, à bien observer le système excentrique, on remarque que c'est l'équivalent d'une ellipse dont la Terre serait l'un des foyers. On est loin de l'ambiance scientifique décrite, lors de l'une de ses conférences, par notre confrère J.-P. Nougier qui évoquait une communauté scientifique sur le point de faire une découverte dont une seule personne trouve la clé. Nous sommes dans le cas où toute la communauté s'enferme durablement dans l'erreur, par respect pour la parole du Philosophe, du Maître Platon, en perfectionnant, par des calculs de plus en plus complexes, sinon une hypothèse, du moins un paradigme erroné.

Contrairement à la vision optimiste d'une histoire qui s'avance sur le chemin de la vérité, celle de l'astronomie grecque a, pendant des siècles, tourné sur elle-même et stagné dans l'erreur. Le tableau de cette astronomie permet de vérifier que, pour le dire comme Thomas Kuhn, « l'émergence d'un paradigme affecte la structure du groupe qui travaille dans ce domaine »<sup>12</sup> et en bloque en l'occurrence toute évolution.

Aux yeux d'Arthur Koestler, à qui j'ai emprunté le titre de son livre *Les somnambules*, « il n'y a logiquement qu'un pas d'Aristarque à Copernic ; [...] qu'un pas d'Archimède à Galilée. Et pourtant, la continuité fut rompue pendant toute une époque presque aussi longue que celle qui nous sépare des débuts de l'ère chrétienne. Si l'on se retourne vers le chemin qu'a parcouru la Science, on a l'impression d'un pont détruit dont quelques poutrelles se hérissent encore sur les deux rives, et au milieu, rien »<sup>13</sup>.

Et de conclure son tableau de l'astronomie antique par ces mots :

« Essayons de résumer brièvement les principaux obstacles qui entravèrent le progrès de la Science pendant une si longue période. Le premier fut la division du monde en deux sphères, et la division mentale qui en résulta. Le second fut le dogme du géocentrisme, l'abandon des idées fécondes nées sous Pythagore, brutalement interrompues après Aristarque de Samos. Le troisième fut le dogme du mouvement uniformément circulaire. Le quatrième fut le divorce de la Science et des mathématiques [...] »<sup>14</sup>.

<sup>10</sup> *La science antique et médiévale des origines à 1450*, Paris, PUF, « Quadrige », (1957) 1994, p. 372.

<sup>11</sup> *Les sciences exactes dans l'Antiquité*, p. 102.

<sup>12</sup> Th. Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, « Champs », 1983, p. 40, dans le chapitre intitulé « L'acheminement vers la science normale ».

<sup>13</sup> *Les somnambules*, p. 54.

<sup>14</sup> *Les somnambules*, p. 130.

Si l'on fait le bilan des différents systèmes, dont Arthur Koestler propose des dessins récapitulatifs, ils correspondent, pour le premier, au modèle le plus simple et le plus ancien, le système géocentrique, puis, pour le second, au système semi-héliocentrique d'Héraclide du Pont qui a été repris à l'identique par Tycho Brahé<sup>15</sup>, et enfin, au système d'Aristarque qui sera à son tour repris par Copernic.

### 3. Les « révolutions » à l'époque Moderne

Entre le II<sup>e</sup> siècle de notre ère et l'époque de Copernic, la mémoire de l'astronomie grecque s'est étonnamment transmise, dans la partie occidentale de l'Empire romain, d'une façon qui peut paraître incongrue, à travers des écrits latins, qui nous ont été étrangement conservés dans des ouvrages non-scientifiques, mais qui ont connu une grande fortune jusqu'au Moyen Âge et à la Renaissance. J'en prendrai deux exemples.

Déjà Cicéron, célèbre orateur, homme politique, mais aussi philosophe du I<sup>er</sup> siècle avant notre ère, a qualifié, dans l'un de ses écrits, les planètes Mercure et Vénus de « compagnes » (*comites*) du Soleil, ce qui, sur le plan astronomique, induit la représentation de ces planètes comme satellites de l'astre du jour, à la suite d'Héraclide du Pont.

Au V<sup>e</sup> siècle de notre ère, le témoignage est encore plus explicite : un auteur africain, Martianus Capella (qui se présente comme un avocat à la retraite), écrit, pour son fils une vaste encyclopédie, qui annonce le futur découpage médiéval de l'enseignement entre *trivium* et *quadrivium*, avec trois livres consacrés aux matières littéraires (grammaire, dialectique et rhétorique) et quatre autres aux disciplines dites « mathématiques », c'est-à-dire aux quatre sciences du nombre (arithmétique, géométrie, astronomie et musique). Et ce, dans un habillage mythique et symbolique, somptueux et baroque, particulièrement crypté, à travers la mise en scène du mariage du dieu Mercure et de la mortelle Philologie. Au livre 8 sur l'astronomie, Martianus consacre un paragraphe à la révolution excentrique du Soleil (§§ 848-849) et, un peu plus loin, il formule de la façon la plus nette le système satellitaire appliqué aux planètes inférieures :

« Quant à Vénus et à Mercure, bien qu'elles manifestent chaque jour leur lever et leur coucher, elles ont pourtant des orbites qui n'entourent nullement la Terre, mais elles tracent autour du Soleil des cercles de plus grand périmètre »<sup>16</sup>,

si bien que, sur la première de couverture de la traduction de ce livre VIII, le traducteur avait même fièrement précisé : « Un précurseur de Copernic et Galilée »<sup>17</sup>, pas moins.

Il reste que ce passage témoigne de l'intégration, dans la *doxa* scientifique latine exprimée ici dans un texte non-scientifique, de l'hypothèse héliocentrique partielle. Pour autant, comme l'exemple de Claude Ptolémée le montre, des astronomes continuent à scruter le ciel, mais aucun ne va, dans ses calculs, au-delà du système ptoléméen, et ce, dans un continuum de l'Antiquité à la Renaissance. Il en est ainsi de Nicolas de Cues, par exemple, né à l'aube du XV<sup>e</sup> siècle, ou de Regiomontanus, invité, en 1475, à Rome par le pape pour mener à bien la réforme du calendrier, ou encore de Fracastoro, né en 1483 à Vérone, étudiant puis professeur de 1501 à 1508 à l'université de Padoue. Comme Copernic a étudié, lui-même, dans la même université pendant quelques années, à partir de 1501, il est très vraisemblable que les deux jeunes gens, intéressés par l'astronomie

<sup>15</sup> Voir le dessin du système de T. Brahé dans l'*Encyclopaedia Universalis*, <https://www.universalis.fr/media/PH994684/>, crédits Hulton Getty.

<sup>16</sup> *Noces de Philologie et de Mercure* VIII, § 857.

<sup>17</sup> Martianus Capella, *Astronomie*, trad. comm. A. Le Bœuffe, Vannes, Burillier, 1988.



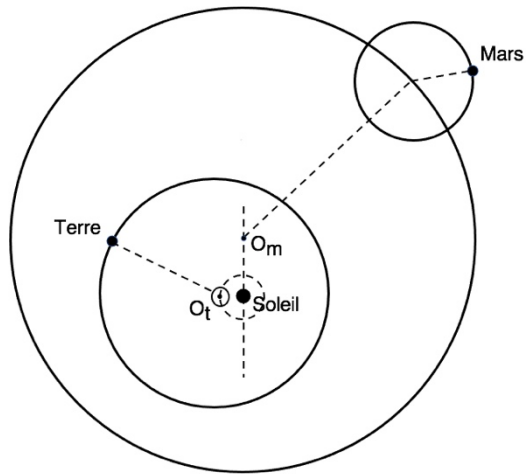
et la médecine, se soient connus et aient discuté entre eux des difficultés du système de Ptolémée<sup>18</sup>.

Venons-en à la « révolution » copernicienne, dans un grand bond qui nous mène en 1543 et loin des côtes méditerranéennes, quand, au moment où le chanoine Nicolas Copernic se meurt d'une hémorragie cérébrale, le 24 mai 1543, le premier exemplaire de son livre, *Sur les révolutions des orbes célestes*, dont il avait retardé la publication pendant 30 ans, arrive chez l'imprimeur. Contrairement à ce qu'a écrit Thomas Kuhn, il n'y a pas de « changement de paradigme particulièrement célèbre »<sup>19</sup>, puisqu'on est toujours sous le diktat du cercle imposé par Platon ; il y a seulement changement de perspective par le passage du géocentrisme à l'héliocentrisme, déjà vu avec Aristarque de Samos. Les hypothèses d'Hipparque à propos du mouvement du Soleil s'appliquent, dorénavant, à la Terre. Et le modèle géométrique reste celui de Ptolémée, avec l'excentrique mobile ou équant de la planète Mars, à cela près que c'est, dorénavant, autour du Soleil que tournent les planètes (figure 5) :

Figure 5 : Excentrique mobile de la planète Mars

La planète Mars se déplace sur un épicycle : celui-ci à son tour tourne sur un déferent dont le centre ( $O_m$ ) est excentré par rapport au Soleil. En revanche la Terre se meut sur un cercle dont le centre ( $O_t$ ) se déplace sur un cercle concentrique au Soleil.

© Th. André



En fait, comme le remarque avec justesse Thomas Kuhn, « la théorie de Copernic n'était pas plus exacte que celle de Ptolémée et ne conduisit directement à aucune amélioration du calendrier », mais pas seulement du calendrier, car elle n'expliquait pas mieux les mouvements erratiques des planètes.

Le texte de Copernic était précédé d'une préface anonyme, dont on ne connaîtra jamais l'auteur, et selon laquelle « il n'y avait pas lieu de regarder le contenu de l'ouvrage comme vrai, ou même comme probable »<sup>20</sup>. Pourquoi tant de précautions ? Cela tient au fait que, si l'astronome reprenait tout le système épicyclique et excentrique des Anciens, il était dorénavant centré non plus sur la Terre, mais sur le Soleil. Et la prudence extrême du chanoine (ou de son éditeur ? ou de l'auteur de la préface ?) est due à ce décentrage qui contrevient aux enseignements de l'Église : l'homme n'est plus, dans ces conditions, au centre de la Création. Copernic pouvait donc redouter pour lui le traitement que l'Église réservera plus tard, en 1633, à Galilée.

<sup>18</sup> Voir J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, Dover Publications, Inc, 1953, p. 296, et, pour ce paragraphe l'ensemble du chapitre XII, « The Revival of Astronomy in Europe » (p. 281-304).

<sup>19</sup> *La structure des révolutions scientifiques*, p. 102.

<sup>20</sup> A. Koestler, *Les somnambules*, p. 133.

D'aucuns<sup>21</sup> pensent que le passage de Copernic du géocentrisme à l'héliocentrisme constitue la vraie révolution par rapport à l'enseignement de l'Église, et la théorie copernicienne constituerait un authentique progrès « sociétal ». En réalité, il est douteux que les écrits du chanoine se soient répandus au-delà du cercle des lecteurs amis à qui il avait confié son œuvre. Ce qui pourrait poser question est l'absence de réaction du pape, Paul III, à qui Copernic dédicace son œuvre. Certes, ce dernier avait déjà témoigné de sa singularité, en 1514, en déclinant l'invitation de Paul de Middelbourg (évêque de Fossombrone) à donner son avis sur la réforme du calendrier qui devait être débattue lors d'un concile, réuni à Latran<sup>22</sup>. Il se peut également que, le livre ayant paru à la mort de son auteur, il ait été difficile de condamner un mort. Mais, la clé de cette énigme repose plus vraisemblablement sur la personnalité du pape et sur les circonstances historiques qui ont pesé sur son action : Alessandro Farnèse, comme il s'appelait avant son accession à la curie, qui était d'une grande érudition dans toutes les disciplines littéraires et scientifiques de son temps, pouvait être intéressé par l'ouvrage de Copernic, mais ses charges pastorales lui ont-elles permis de lire un texte aussi aride que le *De revolutionibus orbium caelestium* ? S'il s'est en revanche contenté de n'en lire que la préface, remarquable de prudence, il n'y a peut-être rien décelé de dangereux. Toujours est-il que Paul III, en 1543, est très occupé : il s'agit pour lui de s'opposer et de réduire le parti de la Réforme, en dépit de l'opposition, paralysante, entre François I<sup>er</sup> et Charles Quint. Il réunit, à cet effet, plusieurs conciles au cours desquels les Pères formulent la doctrine catholique sur les Écritures, le péché originel, la justification et les sacrements<sup>23</sup>.

Il n'empêche que l'œuvre de Copernic finit par être rattrapée, au début du XVII<sup>e</sup> siècle, par la censure papale, quand les membres de l'Inquisition à Rome, le 24 février 1616, déclarent que la doctrine du mouvement de la Terre est hérétique. Quelques jours plus tard, le 5 mars, la « Congrégation sacrée » suspend solennellement le livre de Copernic, « jusqu'à ce qu'il soit corrigé » (*donec corrigatur*). En 1620, enfin, était édité un *Monitum Sacrae Congregationis ad Nicolai Copernici lectorem* (« Avertissement de la Compagnie sacrée au lecteur de Nicolas Copernic »), dans lequel des instructions sont données sur les modifications à faire dans le texte du *De revolutionibus* avant toute réimpression<sup>24</sup>. Or, en 1620, Galilée, dont les instruments et les observations lui ont permis la découverte d'objets célestes jamais observés jusque-là, comme les anneaux de Saturne, avait publié, depuis dix ans, son *Sidereus nuncius* (« Messager céleste »), dédié à Cosme II de Médicis, grand-duc de Toscane, mais ce n'est que quand il publie en italien, en 1632, le *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* – celui de Ptolémée et celui de Copernic – qu'il s'attire les foudres du pape Urbain VIII : l'année suivante, le savant est assigné à résidence dans sa villa d'Arcetri, près de Florence<sup>25</sup>.

En réalité, l'astronomie restait toujours dans un état de crise ; pour reprendre les termes de Thomas Kuhn, « la crise signifie qu'on se trouve devant l'obligation de renouveler les outils »<sup>26</sup> et cette vraie révolution est accomplie par Johannes Kepler, bien avant les condamnations par les autorités religieuses de Copernic et Galilée. Né en 1571 au sein d'une famille protestante luthérienne installée dans la ville de Weill dans le Wurtemberg, dans une ville libre sous l'autorité immédiate de l'Empire, Kepler, refusant d'abjurer sa foi, se réfugie à Prague auprès de Tycho Brahé dont il devient l'assistant. Se

<sup>21</sup> Comme mon confrère J.-P. Nougier.

<sup>22</sup> Voir J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, p. 309-311.

<sup>23</sup> Sur le pape Paul III, voir l'*Encyclopédie Universalis*

(<https://www.universalis.fr/encyclopedie/alessandro-paul-iii/>).

<sup>24</sup> J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, p. 417-418.

<sup>25</sup> Voir <https://www.universalis.fr/encyclopedie/galilee-reperes-chronologiques/>.

<sup>26</sup> Th. Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, p. 113.

fondant sur les observations de son protecteur, il réussit à changer de paradigme géométrique, prégnant depuis plus de mille ans, en substituant au cercle le modèle de l'ellipse. Kepler découvre les trois relations mathématiques qui régissent les mouvements planétaires : les deux premières sont publiées, dès 1609, dans l'*Astronomia Nova* (« Nouvelle Astronomie »), et c'est en 1618 que l'astronome fait connaître la troisième :

1. Les planètes décrivent des ellipses dont le Soleil occupe un foyer.
2. Le rayon vecteur planète-Soleil balaie des aires proportionnelles au temps mis pour les balayer.
3. Le carré de la durée de révolution est proportionnel au cube du grand axe de l'orbite.

D'emblée, ce seul changement simplifie considérablement les explications des mouvements célestes. Nul besoin, désormais, des multiples cercles aux mouvements différents, nul besoin des calculs compliqués de Ptolémée. On a tous les outils qui permettent de rendre compte de la manière la plus simple de mouvements planétaires complexes, et qui continuent, encore aujourd'hui, à faire autorité. On le voit, bien avant la condamnation de Copernic et de Galilée, Kepler avait déjà découvert les principes des mouvements planétaires qui ont révolutionné l'astronomie.

On ne peut pas refaire l'histoire de l'astronomie, mais on pourrait tout de même se demander ce qui se serait passé si l'un des astronomes grecs avait osé changer de paradigme, de modèle géométrique ! J'espère seulement avoir montré que, même si c'est difficile, il faut avoir une vision un peu large du domaine étudié pour éviter les contre-vérités historiques et évoquer à tort des révolutions, car les vrais révolutionnaires, dans le cas qui nous occupent, ne sont pas ceux que l'on croit. C'est la révolution keplérienne, complétée par les lois de Newton, qui a fondamentalement changé l'aspect du cosmos et du mouvement des astres.

Pour autant, s'il a fallu attendre si longtemps – l'aube du XVII<sup>e</sup> siècle –, c'est que, comme le dit Alexandre Koyré, « la philosophie avait dominé la science, et que c'est justement à cela que la science antique et médiévale doit sa stérilité »<sup>27</sup>, moins d'ailleurs la philosophie aristotélicienne, comme le répètent à l'envi les historiens des sciences, que la philosophie platonicienne, comme cela été précisé dès le début. Pourtant la « substructure philosophique », dont parle A. Koyré, n'est pas la seule à avoir freiné les progrès de la science : on a vu qu'il en est de même de la théologie.

En 2009, notre confrère André Gounelle, dans sa conférence sur « Science et christianisme »<sup>28</sup>, s'est interrogé sur les moyens de dépasser le conflit entre science et religion – qu'il s'agisse de la religion chrétienne, ou bien, auparavant, de la puissance du verbe platonicien ou de la condamnation d'un philosophe stoïcien. À la question fondamentale « Comment mettre en relation connaissances scientifiques et affirmations religieuses ? », notre confrère propose trois réponses : unifier ou séparer ou connecter.

La première réponse, l'unification, peut se faire de trois façons : privilégier la religion au détriment de la science, ou l'inverse, ou la « troisième attitude », celle du consensus, qui a été adoptée par les Grecs et a abouti, on l'a vu, à une impasse. C'est, en revanche, à la troisième réponse – celle de la « connexion » – que correspond la posture des astronomes de l'époque Moderne, dans leur refus de s'inféoder à quelque dogme que ce soit, car, selon André Gounelle, « La science n'a évidemment pas à prendre en compte

<sup>27</sup> A. Koyré, « De l'influence des conceptions philosophiques sur l'évolution des théories scientifiques », dans *Études d'histoire de la pensée philosophique*, Paris, Gallimard, « NRF », 1971, p. 253-269 [p. 254].

<sup>28</sup> A. Gounelle, « Science et christianisme », *Bulletin de l'Académie des Sciences et Lettres de Montpellier* 40, 2009, p. 331-340 [p. 331].

la théologie ; méthodologiquement elle est ‘a-thée’, non au sens d’une négation mais en celui d’une absence de Dieu dans sa démarche »<sup>29</sup> (p. 8).

En conclusion, les historiens des sciences à l’époque moderne ignorent trop souvent l’héritage grec et cette amnésie culturelle ne permet pas d’apprécier, à leur vraie valeur, les apports respectifs des astronomes de l’époque moderne qui ont marqué leur temps. Chemin faisant, nous avons appris la part des Romains (non-spécialistes, d’ailleurs) comme chaîne de transmission d’un savoir qui aurait été irrémédiablement perdu dans le monde occidental. Je donne, à ce propos, le dernier mot à Stéphane Van Damme qui, dans sa rubrique « Carte blanche » du *Monde*, posait, en mai 2021, la question qui fâche : « Des sciences romaines, un oxymore ? », pour conclure de façon plus nuancée, s’agissant de Rome et, d’ailleurs aussi, de l’histoire des sciences :

« Ce détour par Rome est donc fécond parce qu’il brise une vision trop moderniste et linéaire de la genèse des sciences, soulignant que cette culture savante, loin de disparaître avec l’Empire, resurgira avec force à la Renaissance. Le débat permet de revisiter les fondements de la rationalité scientifique tout en sortant d’une quête des origines ».

Au terme des différentes révolutions, on arrive à la modélisation du cosmos que nous connaissons, avec les planètes inconnues des anciens – Uranus, Neptune et Pluton<sup>30</sup>, et qui est la seule exacte « à tout jamais, jusqu’à la fin des temps... jusqu’à preuve du contraire » pour reprendre les mots par lesquels Nicolas Martin clôture son émission « La méthode scientifique ».

<sup>29</sup> A. Gounelle, « Science et christianisme », p. 338.

<sup>30</sup> Voir

[https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=BdCu%2fdpD&id=F8D32C4AF385700B361B02B1351BF98B12AAC0B9&thid=OIP.BdCu\\_dpDSGX117w7jioXHgHaEo&me\\_diaurl=https%3a%2f%2fedn.futura-sciences.com%2fbuildsv6%2fimages%2fwide1920%2f1%2f8%2f7%2f187e1abca4\\_118365\\_système-solaire-nasa-01.jpg&cdnurl=https%3a%2f%2fth.bing.com%2fth%2fid%2fR.05d0aefdda434865f597bc3b8e2a171e%3frik%3ducCqEov5GzWxAg%26pid%3dImgRaw%26r%3d0&expw=1197&expw=1915&q=Image+du+Système+solaire&simid=608036733825323662&FORM=IRPRST&ck=05E3FAD23A8C06E83397A859748225E4&selectedIndex=0&idpp=overlayview&ajaxhist=0&ajaxserp=0](https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=BdCu%2fdpD&id=F8D32C4AF385700B361B02B1351BF98B12AAC0B9&thid=OIP.BdCu_dpDSGX117w7jioXHgHaEo&me_diaurl=https%3a%2f%2fedn.futura-sciences.com%2fbuildsv6%2fimages%2fwide1920%2f1%2f8%2f7%2f187e1abca4_118365_système-solaire-nasa-01.jpg&cdnurl=https%3a%2f%2fth.bing.com%2fth%2fid%2fR.05d0aefdda434865f597bc3b8e2a171e%3frik%3ducCqEov5GzWxAg%26pid%3dImgRaw%26r%3d0&expw=1197&expw=1915&q=Image+du+Système+solaire&simid=608036733825323662&FORM=IRPRST&ck=05E3FAD23A8C06E83397A859748225E4&selectedIndex=0&idpp=overlayview&ajaxhist=0&ajaxserp=0)