

« Et pourtant elle bouge »



Avril 1633 : Galilée est condamné par le tribunal de l'Inquisition à partir de l'accusation de « mauvaise foi ». Il est reproché à Galilée de ne pas avoir respecté la sentence de 1616 qui lui interdisait « d'enseigner de quelque façon » les idées de Copernic.

La mention « enseigner de quelque façon que ce soit » est l'objet d'une controverse puisque certains pensent qu'elle a été ajoutée pour le procès de 1633, alors qu'elle ne figurait pas dans le certificat que le cardinal Bellarmine avait remis à Galilée.

Ce certificat mentionne surtout ce qui est reproché à Galilée : la théorie qu'il défend « touchant au mouvement de la terre autour du soleil est contraire aux Saintes Ecritures ».

Quelle que soit la réalité de la sentence, Galilée, après 1616, se sent sûr de son impunité et peut se permettre de publier son *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde en 1632*, un ouvrage encouragé par le pape urbain VIII, qui doit présenter le géocentrisme et l'héliocentrisme, sans toutefois prendre parti. Mais Galilée ne respecte pas la demande du pape et il montre sa préférence pour la théorie de Copernic en ridiculisant le personnage de Simplicio, le personnage défendant les thèses d'Aristote et de Ptolémée. Surtout le Pape se sent visé lorsque Simplicio donne la source de son argumentation : « ... une personne très savante et fort éminente, devant laquelle on ne peut que se taire » !
Fontaine-Simaan, op. cit. p. 163-169.

Au moment où les premières observations à la lunette montrent le mouvement des astres, celui de la terre est encore rejeté. Pourquoi ?

1. Contre le mouvement de la terre ...

Les Philosophes grecs : Platon

Platon, au IV^e s. av. J.-C., dans le *Timée*, présente la création et l'ordonnement du monde ainsi : « *C'est pourquoi le dieu a tourné le monde en forme de sphère, dont les extrémités sont partout à égale distance du centre, cette forme circulaire étant la plus parfaite de toutes et la plus semblable à elle-même, car il pensait que le semblable est infiniment plus beau que le dissemblable. (...) En conséquence, il le fit tourner uniformément sur lui-même à la même place et c'est le mouvement circulaire qu'il lui imposa ; pour les six autres mouvements (droite-gauche, haut-bas etc...), il les lui interdit et l'empêcha d'errer. Comme il n'était pas besoin de pieds pour cette rotation, il l'enfanta sans jambes et sans pieds. (...) Il forma de la sorte un ciel circulaire et qui se meut en cercle, unique et solitaire, mais capable, en raison de son excellence, de vivre seul avec lui-même, sans avoir besoin de personne autre, et, en fait de connaissances et d'amis, se suffisant à lui-même* ».

Il y établit les règles qui prévaudront dans tous les discours sur l'organisation du monde :

- le monde est une création divine, donc parfaite.
- la perfection est incarnée par la sphère et le cercle, celles de la Terre et de la sphère céleste ;
- les mouvements sont circulaires et uniformes, ceux de tous les astres dans le ciel. La terre étant immobile.
- le soleil et les planètes (du grec planêtês, errant) sont des vagabonds mais qu'en apparence. Il invite les observateurs du ciel à démontrer que les mouvements planétaires sont des combinaisons de mouvements circulaires uniformes.

Pour Platon, les mouvements ne peuvent être appréhendés que par la pensée et non par l'observation. Pour lui, l'activité intellectuelle est plus digne que celle de l'observation. Aussi, si « un homme de science cherche à décrire le monde tel qu'il est, Platon le philosophe cherche à démontrer que le monde se comporte comme lui le philosophe l'a décidé » (François Rothen, op. cit. p. 81). Car le philosophe ne se contente pas de décrire les apparences, il cherche à en établir les lois, les règles qui appartiennent au monde des idées.

Les hommes de sciences

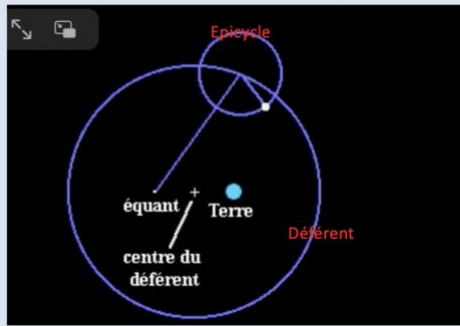
Pendant plusieurs siècles, les philosophes et hommes de sciences vont majoritairement suivre les convictions de Platon.

D'abord **Aristote** qui proposera un système de 55 sphères matérielles mais invisibles qui entraînent les corps célestes dans leur mouvement. Certaines sphères ne sont là que pour entraîner d'autres portant les planètes et justifier leurs différents mouvements. Surtout il définit un monde sublunaire, entre la Terre et la sphère de la Lune où se manifestent tous les changements visibles dans le ciel et un monde supralunaire immuable. Cette séparation étanche dans le ciel va devenir la règle acceptée par tous jusqu'au XVIIe s, soit près de 2000 ans !

C'est à **Ptolémée**, un astronome grec et égyptien du IIe s. ap. J.-C., qu'il revient de construire un système abouti faisant la synthèse de la pensée philosophique grecque et des connaissances astronomiques, dans son ouvrage, *la Grande Composition* ou *la Très Grande (Almageste* en arabe). Son système géocentrique va s'imposer jusqu'au XVIIe s. Dans ce système la Terre est fixe au centre de l'univers, la Lune, le Soleil et les planètes tournent autour d'elle avec une vitesse uniforme sur une orbite circulaire.

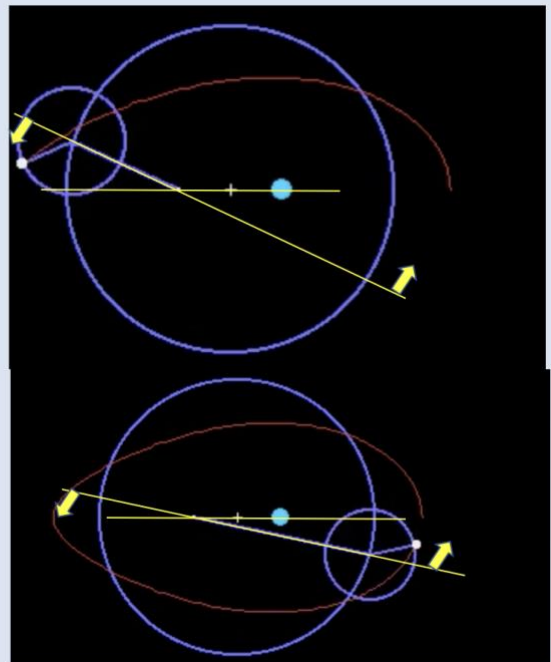
« Si la vie du système de Ptolémée a été si longue, c'est qu'il était solide ». (F. Rothen, p. 90). Il est un véritable plaidoyer en faveur d'une terre immobile au centre de l'univers. Ptolémée s'exprime ainsi dans l'Almageste : « si nous admettions que la Terre tourne, nous devrions reconnaître que la rotation de la Terre serait plus violente que tous les mouvements qu'on peut observer à sa surface, et elle aurait en un court instant un effet si marqué que tous les objets qui n'y sont pas fixés auraient tous un même mouvement, en sens inverse. Et nous n'observerions jamais un seul nuage, ou tout ce qui vole, (...) se diriger vers l'est parce que la terre les dépasserait dans son mouvement vers l'Est, si bien que tous ces objets (...) sembleraient se diriger vers l'Ouest ». Cette objection revient sans cesse jusqu'à Galilée pour justifier l'absence de mouvements de la terre.

Le système de Ptolémée est complexe, mais il parvient à expliquer les variations de vitesse et de luminosité des astres, le mouvement rétrograde des planètes. Pour parvenir à sa fin tout en conservant la théorie des sphères et des mouvements circulaires uniformes, il introduit des artifices qui s'avèrent très efficaces pour prévoir la position des astres : les déférents, les épicycles, l'excentrique et le point équant.



La terre n'est plus située au centre des déférents, elle est excentrée par rapport au centre du monde. En outre il introduit un artifice mathématique, le point équant, le point à partir duquel la vitesse angulaire du centre de l'épicycle est constante. La vitesse de l'astre observée depuis la terre n'est par contre pas constante.

http://benhur.telug.ca/ST/sciences/sci1021/animations/2_15.htm



A cause des épicycles et de l'excentricité de la Terre par rapport au centre du déférent, les planètes se déplacent sur des orbites circulaires très larges emboîtées les unes dans les autres car elles se transmettent les mouvements. Ainsi à la distance maximale d'une planète correspond la distance minimale de la suivante. Les distances à la Terre exprimées en rayons terrestres par Ptolémée dans le *Livre des Hypothèses*, un traité moins mathématique qui entend décrire le monde, sont toujours très inférieures à la réalité. L'Univers de Ptolémée et des astronomes arabes qui reprennent ses travaux est de taille réduite. En effet, la sphère des fixes (des étoiles) n'est distante que de 20 000 rayons terrestres, soit 130 000 000 km !

En Occident, le système géocentrique convient aux astrologues qui peuvent réaliser des horoscopes et des éphémérides fiables à partir de tables astronomiques, ainsi qu'à l'Église qui y voit un monde conforme à ce que décrit la Bible.

2. Pour le mouvement de la terre avant Copernic

Dès l'Antiquité avec Aristarque de Samos (IIIe s. av.-J.C.), un savant contemporain d'Archimède et connu grâce à sa mention dans un de ses ouvrages aurait défendu la thèse héliocentrique. Archimède s'exprime en ces termes : « vous n'ignorez pas que l'univers est le nom que la plupart des astronomes donnent à la sphère centrée au centre de la terre et s'étendant jusqu'au soleil (...). Or Aristarque de Samos a fait paraître un ouvrage d'où il ressort que l'univers est beaucoup plus grand. Il suppose que les étoiles fixes et le soleil sont immobiles et que la Terre décrit une trajectoire circulaire autour du soleil ».

Cet ouvrage s'appelle les *Hypothèses*. Dans l'hypothèse héliocentrique, le déplacement de la Terre lors de sa rotation orbitale annuelle doit laisser des traces observables. Dans un univers fini, par ce déplacement, la Terre se trouve à une distance variable des constellations dont la forme devrait changer. Or il n'en est rien. Sauf si ...

Aristarque sait que ce système peut fonctionner que si les distances séparant les astres sont très grandes et que le mouvement de la terre ne peut être détecté avec les moyens disponibles en observant les constellations et les étoiles. Il a donc cherché une méthode pour calculer les diamètres de la lune et du soleil et leurs distances à la terre. Il en conclut que l'univers est grand, que le soleil est plus gros que la terre, même s'il se trompe dans ses mesures. Il mesure le diamètre lunaire au 1/3 de celui de la Terre, estime la distance Terre-Lune à 30 diamètres lunaires (au lieu de 115) et la distance Terre-Soleil à 20x la distance Terre-Lune (au lieu de 384x) !

Malheureusement les écrits d'Aristarque sont perdus et il semble que son hypothèse soit rapidement tombée dans l'oubli. Ses détracteurs lui reprochent de mettre à mal la physique d'Aristote et de ne pas prouver le déplacement de la Terre par l'observation.

A la fin du moyen-Âge, deux courants intellectuels vont être à l'origine du renouveau des idées héliocentriques. L'un est scientifique, avec le souci de l'observation et de la mesure ; l'autre est philosophique, symbolique ou abstrait. Il est lié à la redécouverte des penseurs grecs, notamment la pensée de Platon, pour qui la spéculation et les idées doivent permettre d'expliquer le monde. Les néo-platoniciens vouent un culte au soleil, considéré comme l'émanation de Dieu lui-même. Dieu est aussi un mathématicien et les philosophes-astronomes sont chargés d'interpréter son oeuvre. A l'université de Bologne, Copernic se passionna pour la langue grecque et eut accès aux écrits des auteurs anciens tout comme ceux des auteurs néo-platoniciens...

3. Le système de Copernic : la terre en mouvement

On ne sait pas trop quand Copernic a eu l'idée de son système du monde : l'héliocentrisme. En 1512, il rédige le *commentariolus*, un texte court où il expose les grandes lignes de son système. Durant les trente années suivantes, il observe, fait des calculs qui lui permettent de rédiger les 6 parties de son livre, le *De revolutionibus*. Le nouveau système, publié peu avant sa mort en 1543, peut se résumer en quelques postulats.

- Le centre de l'univers n'est plus la terre mais, un point à proximité du soleil ; toutes les planètes tournent autour du soleil.

- Les mouvements de la terre, sur elle-même en 24h et sur son orbite en 1an, expliquent tous les mouvements apparents des planètes et du soleil.

- La sphère des étoiles est fixe.

Le modèle qu'il décrit n'est pas parfait et n'est pas beaucoup plus simple que celui de Ptolémée finalement. Sa faiblesse vient du fait qu'il conserve des orbites circulaires et des vitesses uniformes ; Copernic est lui aussi obligé d'introduire de petits épicycles pour rendre compte de la réalité observable.

Comment fut reçu le système de Copernic ? L'auteur de la préface et les éditeurs de l'œuvre de Copernic, qui craignaient les foudres de l'Eglise, le présentèrent comme une simple hypothèse reprenant la position de l'auteur dans sa lettre dédicace au pape Paul III : son système est le meilleur pour comprendre l'organisation du monde, sous-entendu que cela ne veut pas dire que le monde soit organisé ainsi ! En effet, il semblerait que ce soit la position choisie par de nombreux astronomes de la fin du XVIe s. et du début du XVIIe s. C'est aussi la position de l'Eglise : les thèses de Copernic sont rejetées par le Saint Office en 1616 ; mais une assemblée de Cardinaux, dès 1620, autorise de supposer le mouvement de la terre comme hypothèse ! Cette position ambiguë de l'Église oblige les astronomes à être prudents. Le mouvement de la terre reste un point d'achoppement essentiel entre les autorités ecclésiastiques et les astronomes, ou entre les scientifiques eux-mêmes...

4. Les controverses sur les mouvements de la terre au début du XVIIe s.

Les controverses sur les mouvements de la terre s'inscrivent dans une liste importante d'observations, de mesures et de nouvelles spéculations qui mettent à mal la conception aristotélicienne du monde :

Chez les observateurs du ciel :

- en 1572, Tycho Brahe observe une supernova dans le ciel et tente d'étudier son mouvement. Il en déduit, en l'absence de mouvement observable, qu'elle ne peut appartenir qu'à la sphère des fixes, un monde qu'Aristote considère comme immobile et immuable.

- en 1577, il observe une comète et étudie sa trajectoire. Elle appartient au monde supralunaire et sa trajectoire ne suit pas les sphères cristallines du modèle d'Aristote. Les sphères cristallines sur lesquelles orbitent les planètes n'existent donc pas.

- Surtout, les premières observations au télescope au début du XVIIe s. révèlent les phases de la planète de Vénus (prouvant sa rotation autour du soleil), le mouvement des

lunes de Jupiter, de nouvelles étoiles visibles au télescope dans la voie lactée dont les distances semblent très lointaines (infinies ?).

Chez les penseurs, les philosophes :

- L'univers est vaste, infini sans centre ; Dieu est cet univers infini pense G. Bruno.

Condamné par l'Eglise, Bruno doit abjurer 8 hérésies dont celle du mouvement de la terre.

Chez les physiciens et les mathématiciens :

- Dans le domaine du mouvement des corps, plusieurs scientifiques, dont Galilée dès 1589, avec son expérience de la Tour de Pise (expérience non avérée), montrent que la vitesse de la chute d'un corps ne dépend pas de sa masse, ce que les partisans d'Aristote soutiennent.

- En 1609, l'astronome Johannes Kepler, copernicien convaincu, fait paraître un ouvrage, L'Astronomie nouvelle, dans lequel il démontre par les mathématiques que les orbites des planètes sont elliptiques et que leur vitesse n'est pas uniforme. Comme tous les scientifiques de son temps, Kepler a du mal à abandonner la circularité des orbites. « Qui es-tu Kepler, s'écriera-t-il, pour bouleverser les croyances des astronomes depuis le début des temps ? Qui es-tu pour rejeter le mouvement circulaire des planètes ? » (Fontaine-Simaan, p. 127). L'Astronomie nouvelle fut pratiquement ignorée de ses contemporains, Galilée refusant la possibilité des orbites elliptiques...

En dépit de tous ces changements, les mouvements de la terre ne sont pas acquis au milieu du XVIIe s. Cela tient autant au contexte religieux et à la personnalité des opposants.

L'Eglise ne forme pas un tout monolithique, de nombreux clercs, notamment dans les jésuites, sont des astronomes et sont prêts à soutenir les thèses de Copernic. Mais on leur impose le silence. Finalement la thèse d'une « hypothèse mathématique » s'impose, elle permet de soutenir le fait que « toutes les apparences célestes s'expliquent mieux » tout en interdisant « que l'on interprétât l'Écriture dans un sens contraire à l'opinion courante des Pères » (Cardinal Bellarmine). Tous s'accordent pour attendre de véritables preuves :

« S'il y avait une véritable preuve que le soleil est au centre de l'Univers, que la Terre est le troisième ciel, et que le soleil ne tourne pas autour de la Terre, mais la Terre autour du soleil, alors il faudrait entreprendre avec une grande circonspection d'expliquer les passages de l'Écriture qui paraissent enseigner le contraire, et admettre que nous ne le comprenons pas, plutôt que de déclarer fautive une opinion qui est prouvée vraie. Mais pour mon compte je ne croirai pas qu'il y ait de telles preuves, tant qu'on ne m'en a pas présenté ». (Lettre de

Bellarmin, cité par Fontaine-Simaan, p. 157).

Les preuves qu'attend l'Église ce sont :

- la parallaxe qui devrait être observée pour les corps proches par rapport à la sphère céleste, si la Terre se déplace sur son orbite. En fait les instruments de l'époque ne permettent pas de la détecter ;
- un corps tombant ou lancé ne devrait pas toucher à la verticale de son point de départ puisque la terre tourne. Or ce n'est pas le cas...

La controverse est amplifiée par le fait que le principal protagoniste de l'opposition à l'Église, Galilée, n'est pas exempt de reproches portant sur son attitude et sur ses hypothèses scientifiques.

C'est pourtant lui qui souligne l'importance du référentiel et le principe d'inertie. Ainsi tout corps, pris dans son référentiel, non soumis à une force extérieure persévère dans « son état de repos ou de mouvement rectiligne en ligne droite ». Galilée avait prouvé qu'Aristote se trompait quand il disait que tout mouvement d'un corps est lié à une force constante sur celui-ci. Galilée explique pourquoi en l'absence d'influence extérieure, une pierre lâchée en haut d'un mât sur un navire en mouvement retombe au pied de se mât, pourquoi un corps descendu d'un plan incliné poursuit son mouvement à une vitesse constante (en l'absence de frottement). Ce qui valait pour les corps sur terre vaut aussi pour les astres...

Mais Galilée avec sa verve moqueuse, polémique et sarcastique, exprimée dans plusieurs ouvrages, comme il *Saggiatore* ou il *Dialogo*, s'en prend directement à l'Église en exposant des points de vue très critiquables. Deux affaires illustrent parfaitement la mentalité du scientifique : la théorie des marées et l'affaire des comètes. Dans la première, Galilée ne croit pas à la coïncidence qui est montrée entre les positions de la lune et du soleil dans le phénomène des marées. Il expose sa propre théorie qui s'avère totalement fautive puisqu'elle ne permet pas d'expliquer pourquoi il y a deux marées par jour à des heures variables (Fontaine-Simaan, p. 158). Concernant les comètes, Galilée ne croit pas à la possibilité d'une orbite elliptique des planètes en général et des comètes en particulier. Il nie donc tout simplement l'existence des comètes.

CCL. Il ne faut pas s'y tromper. Au moment du procès de Galilée, la thèse des mouvements de la Terre est quasiment acquise par tous ceux qui observent le ciel ou s'intéressent à l'astronomie. Si Galilée est condamné c'est d'abord pour son ton sarcastique et son goût pour la polémique au moment où l'Église a besoin de montrer son autorité face

à tous ceux qui la contestent.

La preuve du mouvement de la terre est donnée par un astronome anglais en 1728, James Bradley : l'aberration de la lumière ou aberration des fixes. Les étoiles qui semblent fixes dans le ciel sont en réalité animées d'un très léger déplacement de période annuelle, sur de petites orbites elliptiques d'environ 40'' d'arc. Bradley pensa d'abord qu'il avait mesuré la parallaxe si recherchée par les astronomes, mais sa technique ne permettait de l'estimer. Ce qu'il observe c'est un positionnement apparent décalé d'une étoile, lié au mouvement de la Terre sur son orbite (cf mini-conf Bradley et l'aberration de la lumière).

Guédon Jean-Jacques, Ciel d'Aunis.

guedon-jean.jacques@orange.fr

François Rothen, *Surprenante gravité, de la pomme à la Lune*, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2009.

Joëlle Fontaine et Arkan Simaan, *L'image du monde des Babyloniens à Newton*, Vuibert, 2010.