

# 2023~2024

## Petite histoire de l'Astronomie



## 2 - L' ANTIQUITÉ

- **Hélio ou Géo centrisme: le choix des grecs**

# Héliocentrisme ou Géocentrisme



?

Je vous propose tout d'abord  
de revenir dans le monde  
grecque antique et de  
décrypter les questions qu'ils  
se sont posées....



L'énorme apport des grecs à l'Astronomie fut d'élaborer un système scientifique entièrement fondé sur la logique.

Ayant achevé une phase initiale de mesures, les astronomes de la Grèce antique étaient maintenant prêts à étudier les mouvements du Soleil, la Lune, les planètes.

Ils allaient créer un modèle dynamique de l'Univers en tentant de discerner les interactions entre les différents corps célestes.

Chaque jour, ils regardaient le Soleil traverser le ciel et chaque nuit ils contemplaient la procession d'étoiles qui apparaissaient dans son sillage.

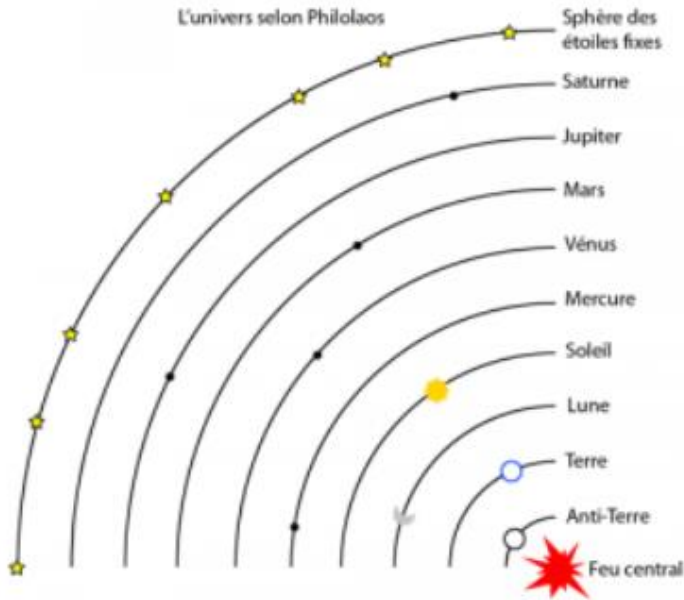


Comme la Terre sur laquelle ils se tenaient était ferme et fixe, il était naturel pour eux de supposer que c'était ces corps célestes qui se déplaçaient au-dessus de leurs têtes.

Ils élaborèrent donc un modèle du monde dans lequel la Terre était un globe sphérique statique central, autour duquel tournait l'univers.

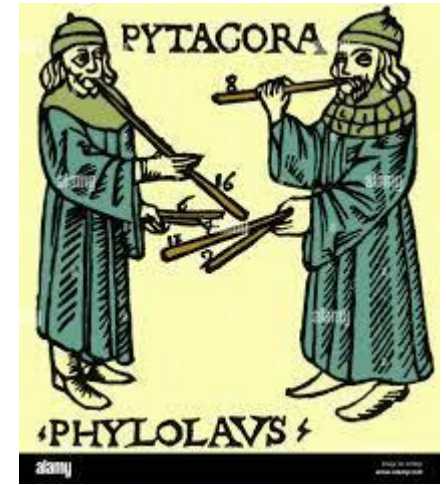


Personne n'envisagea la possibilité de la Terre tournant autour du Soleil avant que Philolaüs de Crotone ne se joigne au débat.



L'univers de Philolaos de Crotone

Élève de l'école pythagoricienne (V<sup>e</sup> siècle avant JC), il fut le 1<sup>er</sup> à suggérer que la Terre tournait autour du Soleil et non le contraire.



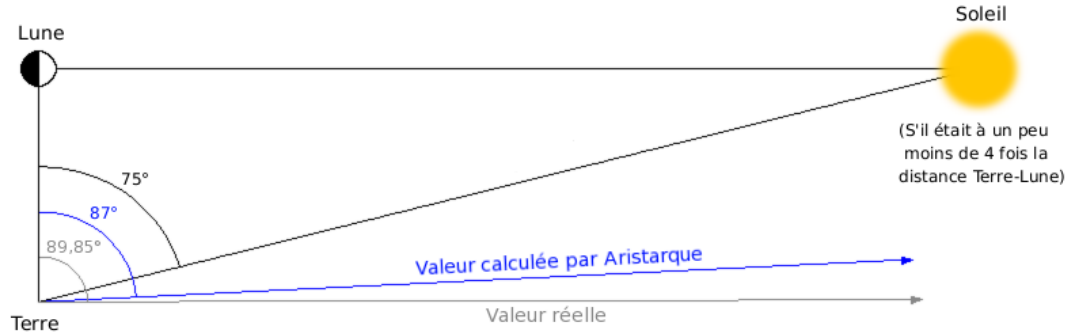
**Exister, c'est être limité :  
penser le monde avec Philolaos de Crotone**

« La nature dans l'univers fut mise en harmonie aussi bien par des illimités que par des limitants – à la fois l'univers en son entier et chaque chose en son sein. »

Au siècle suivant, Héraclide de Pont développa les idées de Philolaüs, malgré ses amis qui le prenaient pour un fou et qui l'ont même surnommé le « paradoxologue ».

Les touches finales à cette vision « spéciale » de l'Univers furent apportées par **Aristarque de Samos (-310~-230)\***

Il mesura les rapports des distances Terre Lune et Terre Soleil en utilisant la géométrie et la trigonométrie \*\*

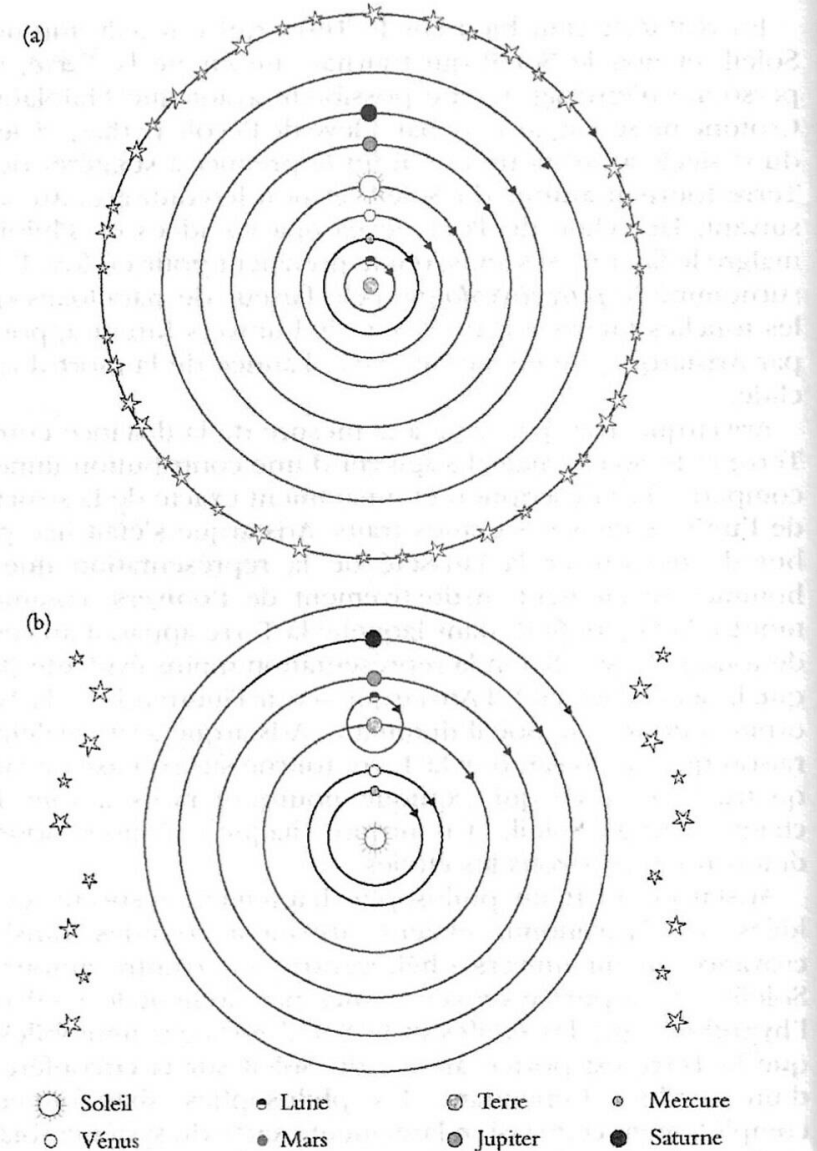


Il s'était fixé pour but de démontrer la fausseté de la représentation de l'Univers admise dans laquelle la Terre est au centre de toute chose.

**Selon Aristarque, la Terre orbite autour du soleil dominant et tourne sur son axe en 24 heures.**

*\* Ne pas confondre avec Aristarque de Samothrace (-217~-144) philosophe qui dirigea la bibliothèque d'Alexandrie.*

*\*\* Rappelez vous: la distance Terre-Soleil sera mesurée plus tard par Eratosthène (-276~-194)*



**Figure 6** Le diagramme (a) représente le fameux modèle *géocentrique* qui, de façon erronée, plaçait la Terre au centre de l'univers, et dans lequel la Lune, le Soleil et les autres planètes tournaient autour de notre planète. Même les milliers d'étoiles gravitaient autour de la Terre. Le diagramme (b) illustre la conception de l'univers *héliocentrique* d'Aristarque, où seule la Lune orbitait autour de la Terre, et où les étoiles formaient une toile de fond statique.

Aristarque, philosophe très respecté et ses idées sur l'astronomie étaient largement diffusées et connues.

Archimède dit de lui : « il émit l'hypothèse que les étoiles et le Soleil restaient immobiles et que la Terre est portée autour du Soleil sur la circonférence d'un cercle ». D'ailleurs en son temps Archimède utilisait les 2 théories.



Cependant les philosophes abandonnèrent cette vision et l'idée disparut pendant 15 siècle ( 15 siècles de marasme, ou presque).

Oui? Mais pourquoi ??



## Quelques bonnes raisons ( pour l'époque !! ) :

❶ Le système héliocentrique paraissait ridicule. Il était évident que le Soleil tournait autour de la Terre statique.

L'héliocentrisme allait à l'encontre du « bon sens ».

*Le bon-sens: tout bon scientifique sait ou devrait savoir que celui-ci n'a parfois rien à voir avec la réalité.*

*A. Einstein n'y voyait «qu'un ramassis de préjugés acquis avant l'âge de 18 ans».*



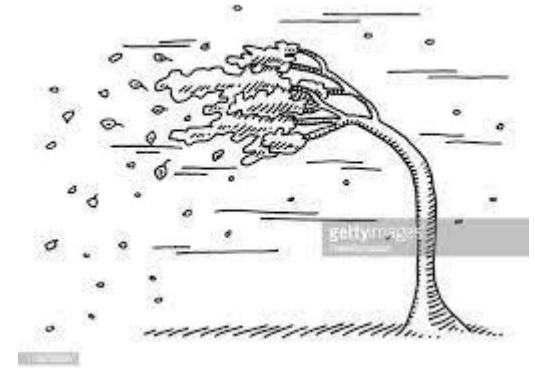
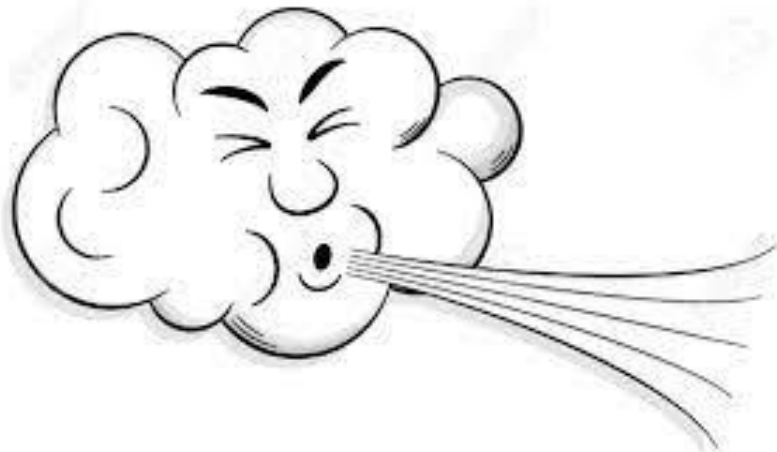


## ② Le système héliocentrique ne résistait pas à l'examen scientifique.

### La validité du modèle n'apparaissait pas avec clarté

3 grands défauts : N° 1

- La Terre bougeait : les Grecs s'attendaient à sentir un vent souffler en permanence contre eux, au point de perdre l'équilibre. Comme ce n'était pas le cas, que le sol restait fixe ... Ils en conclurent que la Terre était fixe.



*Bien sûr, la Terre bouge, mais tout bouge avec elle, nous, l'atmosphère, le sol, .. Il faudra attendre Galilée pour balayer ce concept.*

## ② Le système héliocentrique ne résistait pas à l'examen scientifique.

### La validité du modèle n'apparaissait pas avec clarté

3 grands défauts : N° 2

- La Terre en mouvement était incompatible avec la façon dont les Grecs envisageaient la gravité.

Selon eux, tous les objets tendaient à se déplacer vers le centre de l'Univers, mais comme la Terre était déjà au centre, elle ne pouvait bouger.

Si le Soleil était au centre, pourquoi les objets tombaient-ils vers la Terre ? Les pommes, loin de tomber des arbres, devraient être aspirées vers le Soleil.

*L'explication moderne de la gravité dépassait l'entendement scientifique limité des Grecs.*

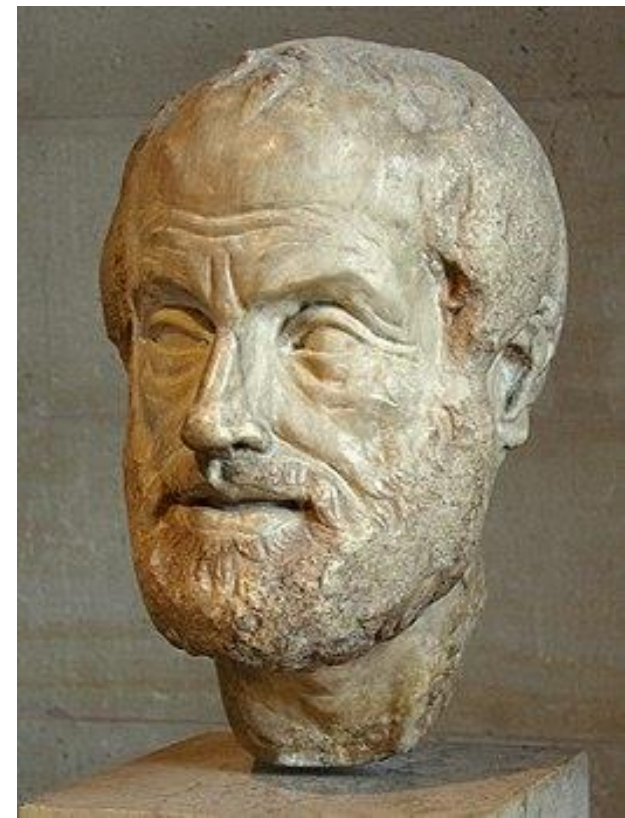
Le grand Aristote en avait établi une théorie.  
Et on ne remettra pas de sitôt en question les grands philosophes grecs

Pour Aristote(-384 à -382), un corps lourd rejoint son « lieu naturel » qui est le centre de la Terre.

Il existait, dans la pensée aristotélicienne, une conception selon laquelle les lois de la physique qui régissaient les phénomènes sur terre n'étaient pas les mêmes que celles qui régissaient les manifestations que l'on pouvait observer dans le ciel.

Avec la Terre en son centre, l'univers se divisait alors en deux : les mondes *sublunaire* et *supralunaire*.

Selon cette vision des choses, la gravité faisait partie des lois qui gouvernaient le monde *sublunaire* et ne semblait avoir aucune conséquence sur le comportement des corps célestes.



*Le mot « grave » veut dire lourd, pesant, en grec.*

## ② Le système héliocentrique ne résistait pas à l'examen scientifique.

### La validité du modèle n'apparaissait pas avec clarté

3 grands défauts : N° 3

- Les étoiles étaient fixes dans le ciel

La Terre parcourant d'immenses distances (les grecs avaient évalué la distance Terre-Soleil), on devrait voir l'Univers depuis des positions différentes tout au long de l'année.

Le changement de notre angle de vision devrait se traduire par un changement de perspective et les étoiles devraient bouger les unes par rapport aux autres : c'est la ***parallaxe stellaire*** ;

Si la Terre tournait effectivement autour du Soleil, après 6 mois, elle se trouverait très loin ( 300 M de km) de sa position initiale.

*Mais les Grecs ne parvinrent pas à détecter le moindre changement de position des étoiles, ... donc la Terre était immobile.*

*La parallaxe existe bien sûr, mais était indétectable par les Grecs à cause de l'extrême éloignement des étoiles : les Grecs les croyaient beaucoup plus proche.*

**On ne prendra vraiment conscience de la distance nous séparant des étoiles qu'au 20<sup>e</sup> siècle.**

## La Parallaxe : qu'est ce que c'est ?

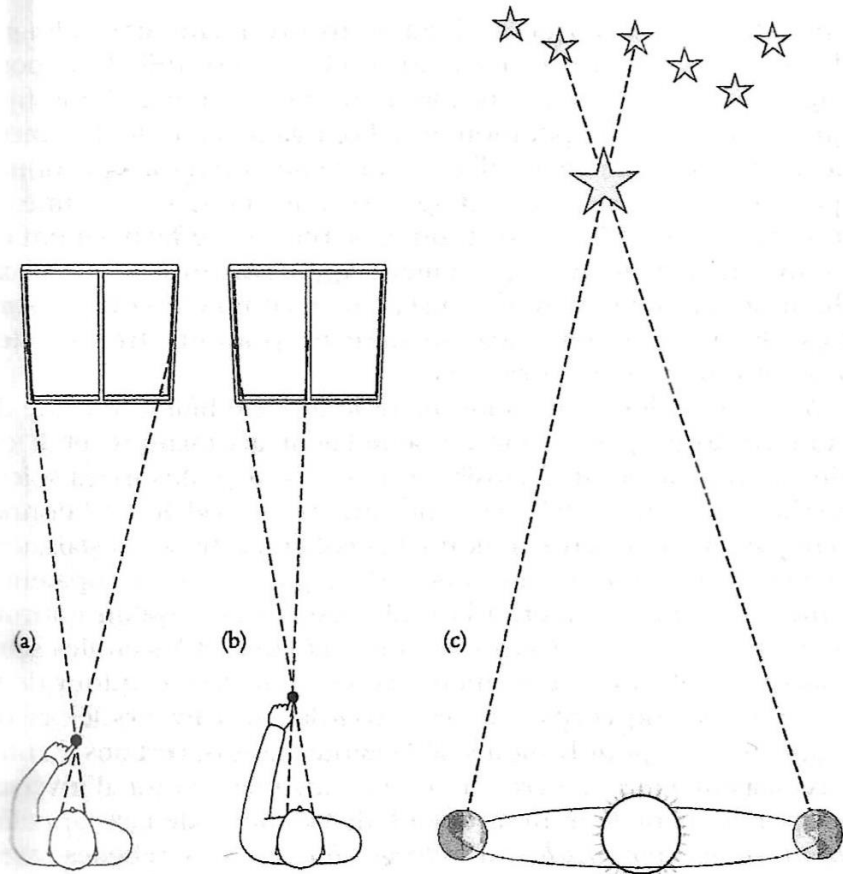
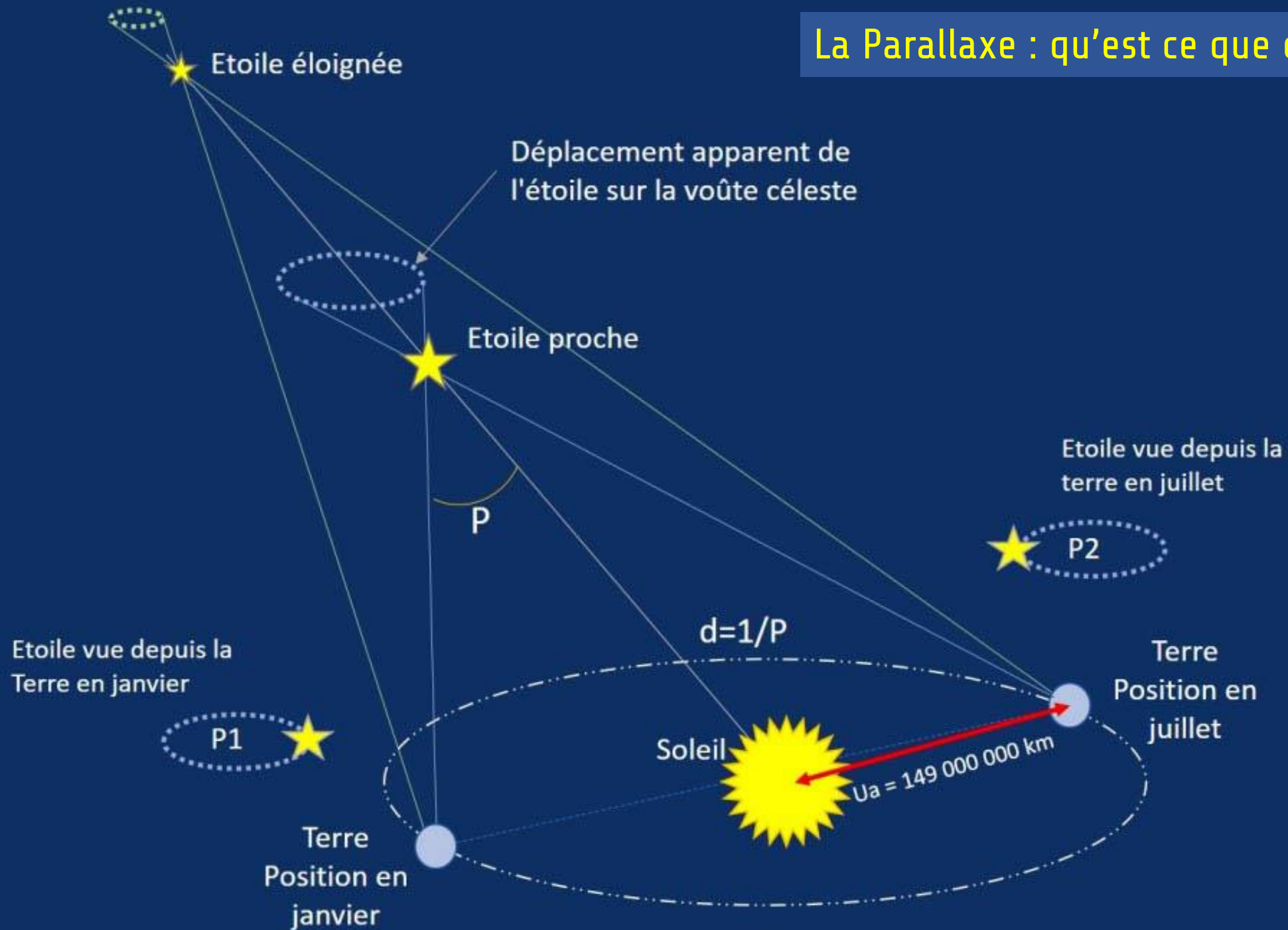


Figure 7 La parallaxe est le déplacement apparent d'un objet dû à un changement de position de l'observateur. Le diagramme (a) montre comment un doigt-repère s'aligne sur le bord gauche d'une fenêtre quand il est observé à l'aide de l'œil droit, mais se déplace quand il est regardé avec l'autre œil. Le diagramme (b) montre que la parallaxe provoquée par le changement d'œil se réduit sensiblement si le doigt-repère est plus éloigné. Parce que la Terre tourne autour du Soleil, notre position change, et de ce fait, si une étoile est utilisée comme repère, elle se déplacera par rapport à des étoiles plus éloignées au cours d'une année. Le diagramme (c) montre comment l'étoile-repère s'aligne sur deux étoiles différentes en arrière-plan selon la position de la Terre. Cependant, si le diagramme (c) était dessiné à la bonne échelle, les étoiles devraient se trouver à plus d'1 km au-dessus du haut de la page ! La parallaxe stellaire est donc infime, et l'on comprend pourquoi elle était imperceptible pour les Grecs de l'Antiquité. Croyant que les étoiles étaient beaucoup plus proches, ces derniers avaient déduit de l'absence de parallaxe que la Terre était statique.

# La Parallaxe : qu'est ce que c'est ?



③ A l'époque, les preuves infirmant le modèle héliocentrique étaient accablantes et le modèle traditionnel était parfaitement sensé, rationnel et cohérent.

Ils se satisfaisaient de leur conception de l'Univers et de leur place dans ce dernier.

## Mais un énorme problème demeure !!

Le Soleil, la Lune et les étoiles semblaient évoluer de manière parfaitement réglée, **mais 5 corps célestes musardaient à travers les cieux de manière déroutante.** Parfois, certains d'entre eux semblaient reculer dans le ciel dans une volte face appelée « mouvement rétrograde » ou « rétrogradation ». **C'était les 5 planètes\* : Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne.**

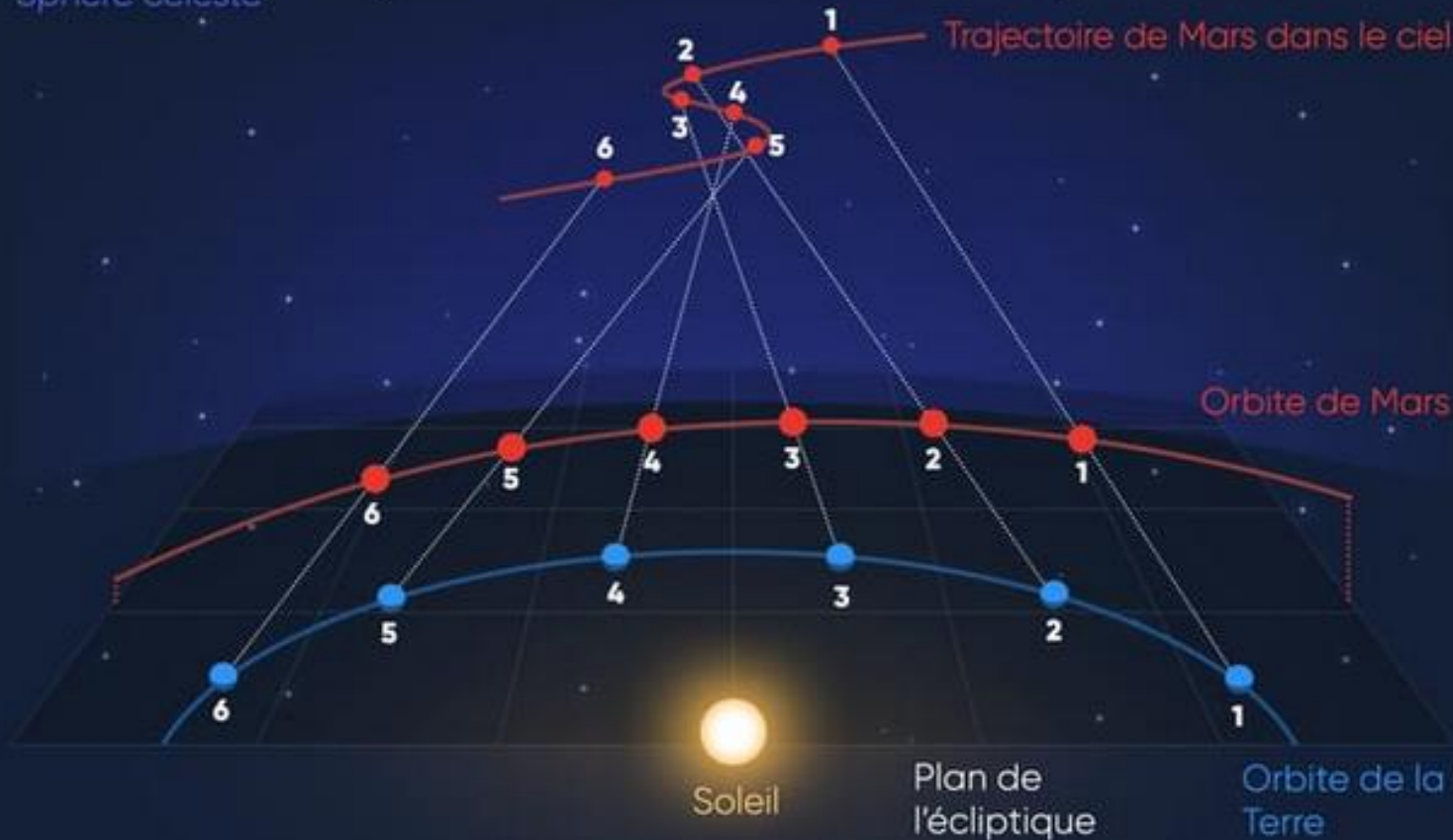
*\* Le mot « planète » vient du grec « planétés » ( errant).*

*à Babylone: Bibbu (mouton sauvage)*

*En Egypte : mars se nomme « sekded-ef em khetkhet ( celui qui voyage à rebours)*

Les **planètes extérieures** se déplacent plus lentement que la Terre dans leurs orbites. Lorsque nous les dépassons, elles semblent inverser leur trajectoire dans notre ciel.

Sphère céleste

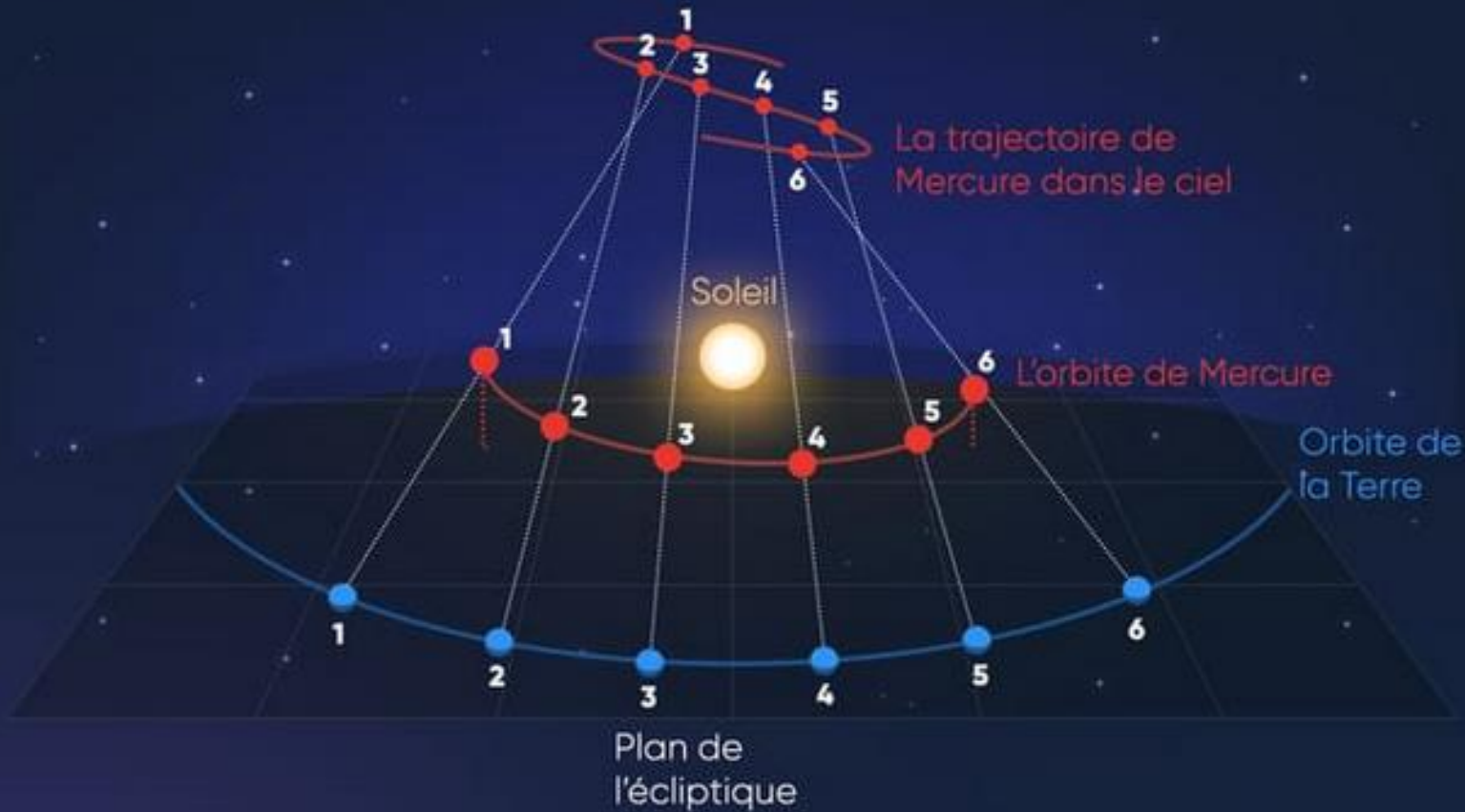


Nous, nous savons que les planètes tournent autour du Soleil de façon régulière, mais nous les observons depuis une Terre en mouvement.



Les **planètes intérieures** se déplacent plus rapidement que nous, et semblent également inverser leur direction. Leur mouvement rétrograde est difficile à voir car elles sont floutées par l'éblouissement du Soleil.

Sphère céleste



Nous, nous savons que les planètes tournent autour du Soleil de façon régulière, mais nous les observons depuis une Terre en mouvement.

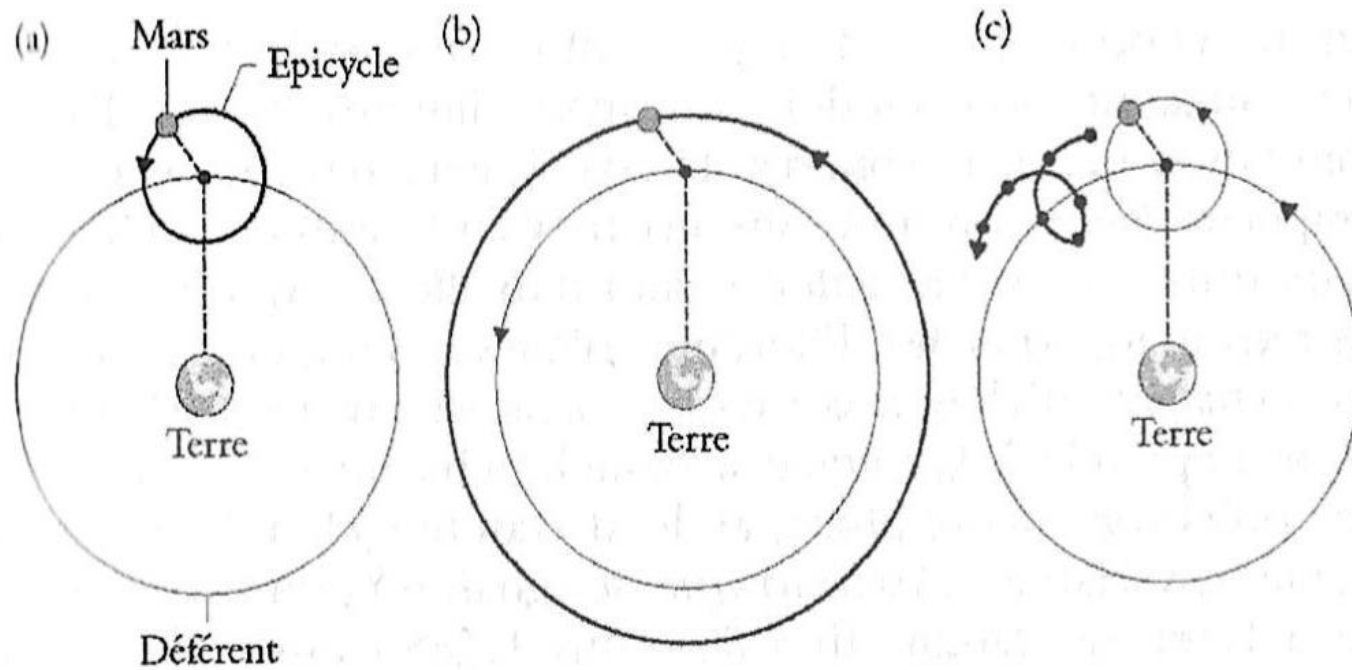
Ces orbites planétaires incongrues et capricieuses étaient très problématiques pour les grecs de l'Antiquité, car toutes les orbites sont censés être circulaires selon Platon et son disciple Aristote.

Ces derniers avaient déclaré que le cercle, de par sa simplicité, sa beauté et son absence de commencement et de terme, constituait la forme parfaite et, les cieux étant le royaume de la perfection, les corps célestes devaient décrire des cercles.

Plusieurs astronomes et mathématiciens s'étaient penchés sur le problème à travers les siècles et avaient imaginé une solutions astucieuse,

-- une façon de décrire des orbites planétaires en boucles  
en termes de combinaisons de cercles--

solution conforme au postulat de Platon et Aristote relatif à la perfection du cercle. Cette solution est restée attachée au nom d'un seul astronome, Claudius Ptolemaeus, dit **Ptolémée** (+90 ~ +168) qui au 2<sup>o</sup> siècle après JC va rédiger la somme des connaissances astronomiques des Grecs.



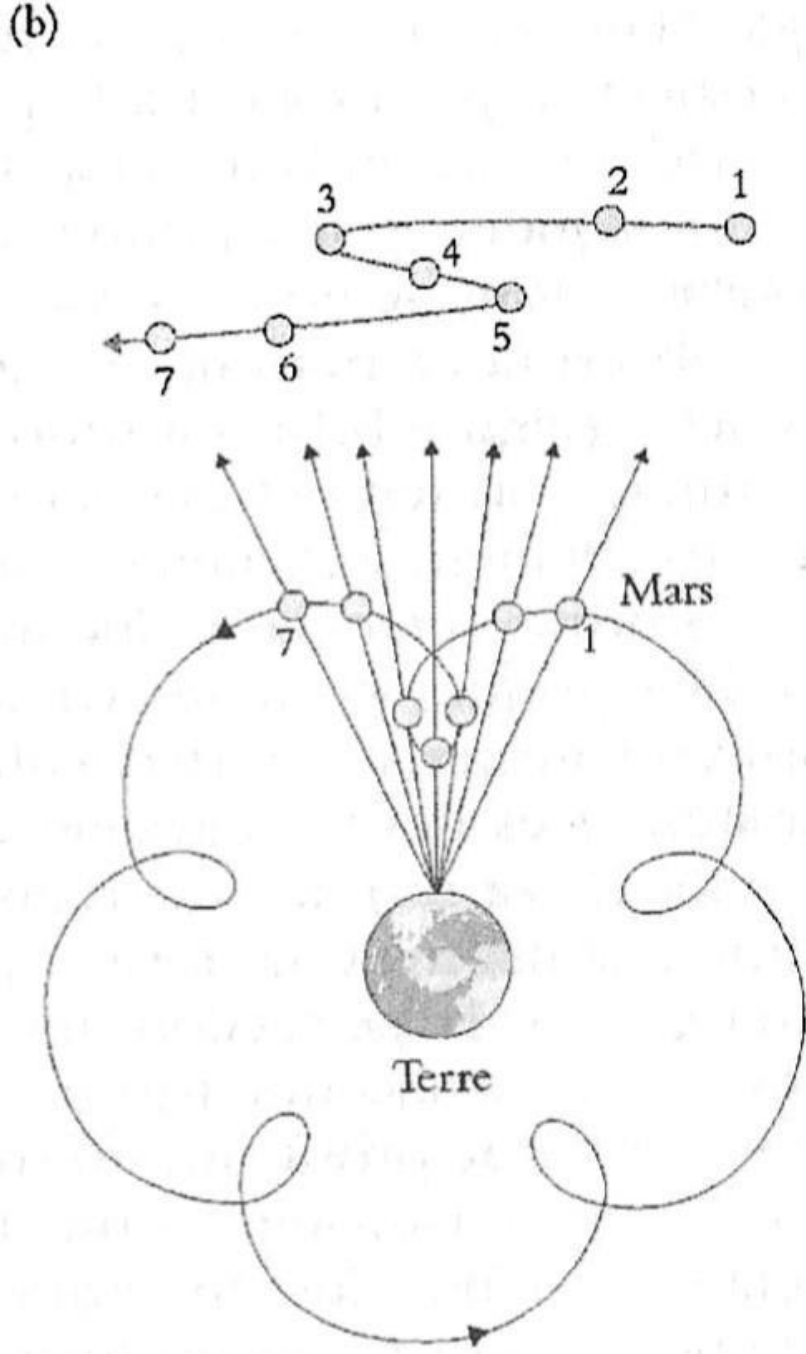
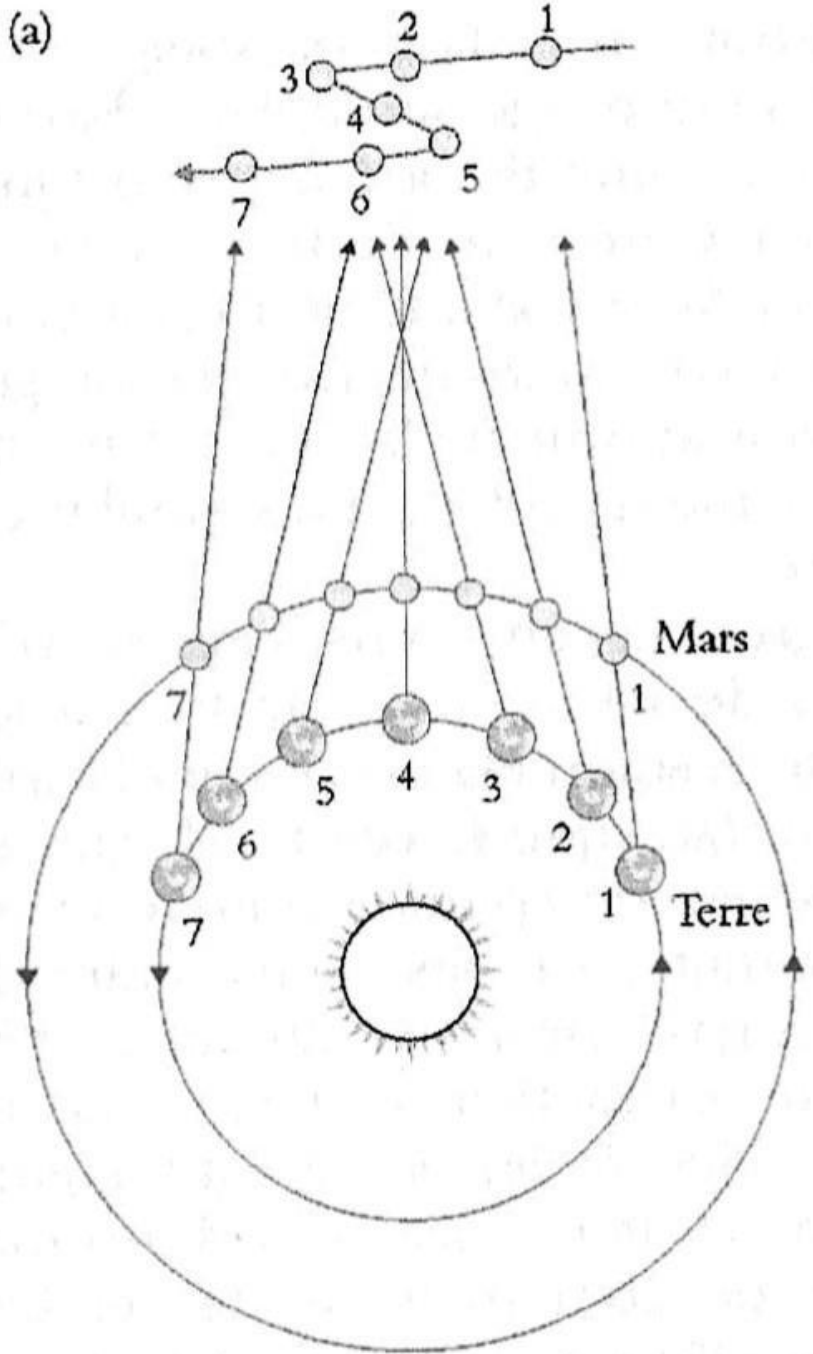
**Figure 9** Le modèle ptoléméen de l'univers expliquait les orbites erratiques de planètes telles que Mars en recourant à des combinaisons de cercles. Le diagramme (a) représente le cercle principal, appelé déférent, et un « rayon vecteur », reliant le centre (situé sur le déférent) d'un cercle secondaire (l'« épicycle ») à une planète, située à son extrémité. Le déférent ne tourne pas, mais le rayon vecteur tourne : la planète décrit alors une trajectoire circulaire tracée par l'extrémité du rayon, qui s'identifie avec l'épicycle.

Le diagramme (b) montre ce qui se produit quand le rayon vecteur reste fixe, tandis que le déférent tourne. La planète suit un cercle de grand rayon.

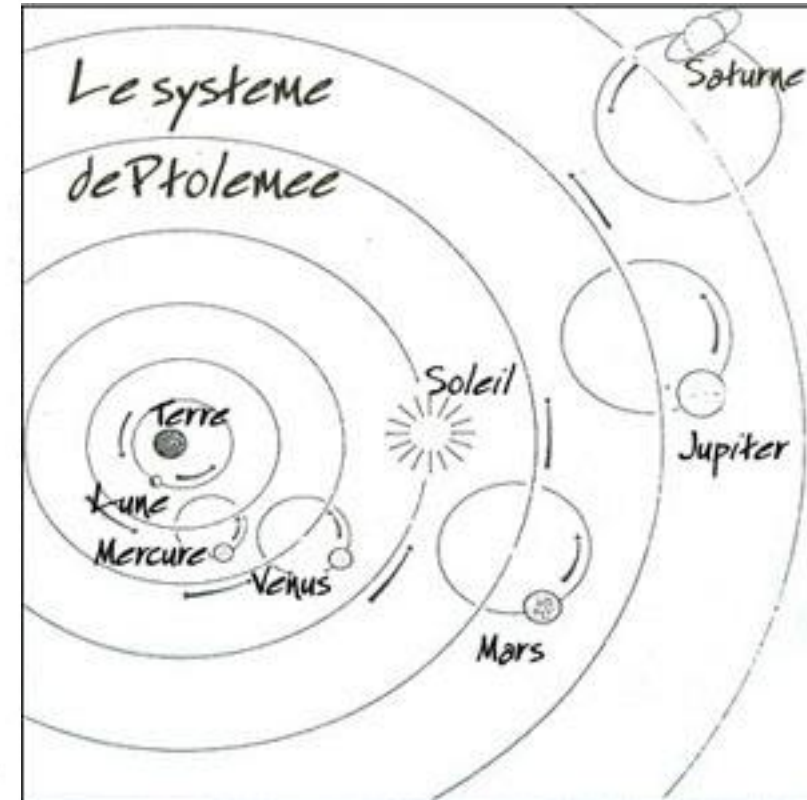
Le diagramme (c) montre ce qui arrive quand simultanément, le rayon vecteur tourne autour de son pivot, et le pivot tourne avec le déférent. Cette fois l'épicycle est superposé au déférent, et l'orbite de la planète est la combinaison de deux trajectoires circulaires, dont le résultat est l'orbite rétrograde erratique associée à une planète telle que Mars. Les valeurs numériques des rayons du déférent et de l'épicycle et les deux vitesses de rotation peuvent être ajustées pour reproduire la trajectoire de n'importe quelle planète.

Le monde  
selon  
Ptolémée

la Terre est le  
centre de  
l'Univers



# Le système Héliocentrique et la représentation de Ptolémée



Si ce système schématisé à base de cercles et de pivots restitue l'idée centrale du modèle de Ptolémée, ce dernier était en fait beaucoup plus complexe:

- Tout d'abord, il l'a fait en 3 dimensions (avec des boules de cristal).
- Il a dû adapter les vitesses de rotation de chaque élément.
- Pour plus de précision, il a dû introduire 2 autres éléments variables:
  - \* l'excentrique, un point à côté de la Terre qui faisait office de centre
  - \* l'équant, un autre point près de la Terre qui influait sur la vitesse variable de la Planète.

Difficile à imaginer, mais il ne s'agissait que de cercles ajoutés à d'autres cercles imbriqués à l'intérieur d'autres cercles.

Cela a produit un modèle extrêmement complexe, mais il prédisait la position et le mouvement des planètes avec un plus haut degré d'exactitude qu'aucun autre modèle.

*Celui d'Aristarque, qui lui, est fondamentalement exact ne pouvait prédire le mouvement des planètes avec une telle précision.*

Critère	Modèle géocentrique	Validi	Modèle héliocentrique	Validité
1. Bon sens	Tous les objets célestes tournent autour de la Terre, c'est une évidence	✓	Il faut beaucoup d'imagination – et renoncer à toute logique – pour se convaincre que la Terre fait le tour du Soleil	x
2. Conscience du mouvement de la Terre	Aucun mouvement n'étant décelé, la Terre ne peut pas être mobile	✓	Aucun mouvement n'est décelé, ce qui est difficile à expliquer si la Terre est mobile	x
3. Chute des objets	La position centrale de la Terre explique pourquoi les objets tombent vers le bas (en d'autres termes, ils sont attirés vers le centre de l'univers)	✓	Il n'y a pas d'explication évidente à la chute des objets vers le sol dans un modèle où la Terre n'occupe pas une position centrale	x
4. Parallaxe stellaire	Aucune parallaxe stellaire n'est décelée, absence compatible avec une Terre statique et un observateur stationnaire	✓	La Terre étant en mouvement, l'absence apparente de parallaxe stellaire doit être due aux énormes distances stellaires ; la parallaxe aurait pu être détectée avec de meilleurs instruments	?
5. Prédiction des positions planétaires	Correcte, la meilleure pour l'époque	✓	Correcte, mais pas aussi sûre qu'avec le modèle géocentrique	?
6. Rétrogradations des planètes	Expliquées au moyen des épicycles et des déférents	✓	Une conséquence naturelle du mouvement de la Terre et de notre changement de position	✓
7. Simplicité	Modèle très compliqué, faisant appel à des épicycles, déférents, équants et excentriques pour chaque planète	x	Très simple, toutes les planètes décrivant des cercles	✓

Le modèle Héliocentrique de Ptolémée est exposé dans son *Hèmegalé Syntaxis* (La Grande Syntaxe (mathématique)), compilée vers l'an 150 après JC, ouvrage qui devait faire autorité en matière d'astronomie pendant les siècles à venir.

La *Syntaxis* connut une audience encore plus vaste quand elle fut traduite en arabe en 827, et qu'un nouveau titre l'*Almageste* (al-Majesti, le Plus Grand) lui fut donné.

Les idées de Ptolémée furent étudiées et préservées par les grands savants musulmans (*notre prochaine séance*), qui inventèrent de nombreux instruments, effectuèrent des observations scientifiques de première importance, firent construire de grands observatoires, ...

**mais ne remirent jamais en question l'univers géocentrique de Ptolémée, avec ses orbites planétaires définies par des combinaisons de cercles.**

**Parlons un peu de l'Almageste !!**

La plus ancienne version de l'Almageste qui nous soit parvenue est celle de [Al-Hajjāj ibn Yūsuf ibn Matar](#) rédigée en 827 avec l'aide du byzantin Sergius fils d'Elias.

La meilleure a quant à elle été produite entre 879 et 890 par [Ishāq ibn Hunayn](#), savant qui traduisit aussi les œuvres d'[Euclide](#), d'[Archimède](#) et de [Ménélas](#).

De celle-ci nous est parvenue la version corrigée par [Thābit ibn Qurra<sup>tée</sup>](#). Par la suite, [Muhammad Abu Al-Wāfā'](#) s'applique à affiner les valeurs trouvées par Ptolémée, et publie ainsi une nouvelle *Almageste* à la fin du IX<sup>e</sup> siècle.



Page de l'édition de Bâle (1538), exemplaire de la bibliothèque Diderot de Lyon ayant appartenu à Jacques Mathon de la Cour. Figure des ascensions obliques du cercle du zodiaque pour deux arcs égaux de part et d'autre d'un équinoxe (II.7).



# L'œuvre est constituée de treize livres.

Les deux premiers concernent les relations entre la Terre et le Ciel ; les livres III à VI traitent du Soleil, de la Lune et de leurs relations ; les livres VII et VIII listent les astres fixes ; et les livres IX à XIII portent sur les mouvements des cinq planètes.

Voici leurs contenus de façon un peu plus détaillée :

- **Livre I.** Situation de la Terre dans le Ciel et mouvements principaux des astres...
- **Livre II.** Situation du [monde habité](#) ...
- **Livre III.** Définition de l'année solaire et détermination de sa durée exacte à partir de mesures d'équinoxes .
- **Livre IV.** Périodes lunaires, détermination des mouvements lunaires moyens ; l'anomalie et les nœuds ; Tables.
- **Livre V.** Seconde anomalie ou prosneuse (évection). Corrections de [parallaxes](#) pour le Soleil et la Lune ; Tables.
- **Livre VI.** Diamètres apparents du Soleil et de la Lune ; Calcul des [éclipses](#) ; Tables.
- **Livre VII.** [Précession des équinoxes](#) ; Catalogue des étoiles [boréales](#).
- **Livre VIII.** Catalogue de 1 022 [étoiles](#) et 48 [constellations](#) ; Levers et couchers des fixes.
- **Livre IX.** Préliminaires de la théorie des planètes ; Mercure.
- **Livre X.** Théorie de Vénus et de Mars.
- **Livre XI.** Théorie de Jupiter et de Saturne.
- **Livre XII.** Calcul des rétrogradations, stations et digressions maximées.
- **Livre XIII.** Mouvement des planètes en latitude ; prévision de leurs phases d'apparition et de disparition

*[Pour plus de détails: internet \(https://www.cosmovisions.com/textAlmageste.htm par exemple ou wikipédia\).](https://www.cosmovisions.com/textAlmageste.htm)*

Version grecque de l'Almageste (IX<sup>ème</sup> siècle)

Diagram illustrating a celestial model with a central point and several concentric or intersecting circles, likely representing planetary orbits or the Earth's position relative to the stars.

Traduction arabe montrant le système géocentrique

والارض في مركز دوائر لانها لا يكون دائرة حقيقية وبان ذلك ان  
 التدوير ينزل عند ربع الاوج نصف الخط الذي يمتد عليه وهو  
 بقدر ما بين المشرقين وبقدر ما بين المغربين من مركز التدوير  
 بحيث بقدر نصف ما بين المشرقين من خط الابعدة الاقرب  
 وكان من الواجب ان يكون ما بين المشرقين والاقرب الى مركز  
 التدوير ذلك القدر حتى يكون المدار دائرة فالذي المدار المذكور

Diagram illustrating the geocentric system (Earth-centered model) with the Earth at the center and several concentric circles representing the orbits of the planets. The diagram is annotated with various lines and points, and includes a large handwritten signature at the bottom right.

Version grecque de l'Almageste (IX<sup>ème</sup> siècle)

Traduction arabe montrant le système géocentrique

Après Aristarque de Samos et Ptolémée, il faudra attendre le XVI<sup>e</sup> siècle pour que le modèle de Ptolémée (et donc des Grecs de l'Antiquité) soit remis en question par un clerc polonais (Nicolas Copernic 1473~1543) et que l'Héliocentrisme re-face « timidement d'abord » son apparition.

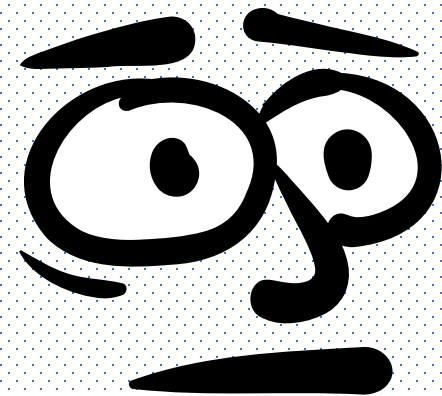


*Nicolas Copernic*

**Ce sera la Révolution copernicienne et nous en reparlerons.**



Pour finir,  
une image célèbre !!



Roue  
d'Ezechiel



Gravure sur bois  
dite du Pèlerin  
Camille Flammarion  
du XIX<sup>e</sup> siècle ( ou  
xvi) s.).

Un Pèlerin (?) passe  
la tête à travers la  
voûte céleste, là où  
la Terre rencontre le  
ciel, pour voir le  
mécanisme de  
fonctionnement du  
monde.



**Merci pour  
votre attention**