

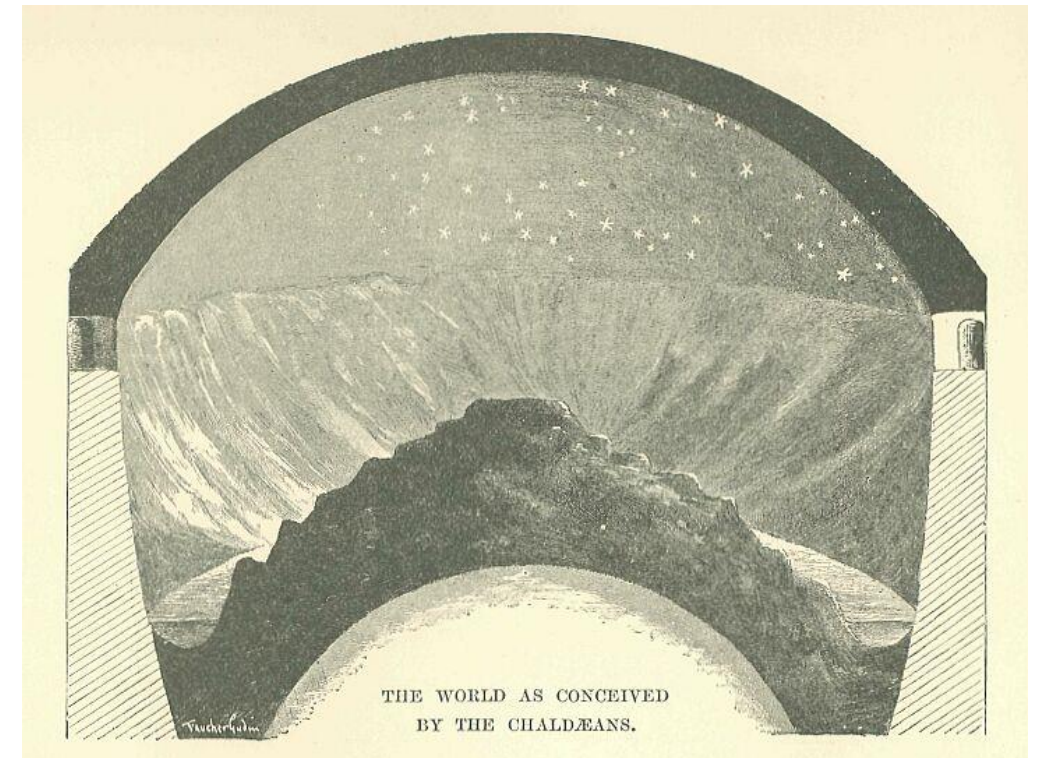
Conceptions de l'Univers dans l'antiquité grecque



Stéfane Carlier

Les temps anciens

- Les Babyloniens, les Égyptiens, les Hébreux et les Grecs avaient des conceptions différentes de l'Univers, mais elles partageaient certaines caractéristiques.
- Ils imaginaient l'Univers comme une coquille ou une boîte aux dimensions limitées, entièrement fermée.
- Le cosmos était gouverné par des divinités. On ne les croyait pas très lointaines, elles commandaient à la vie et à la mort, aux moissons et aux pluies.
- En dépit de la vie tumultueuse des dieux, les astres maintenaient des mouvements et des apparitions parfaitement sûrs et prévisibles. Ils ramenaient en cycles réguliers le jour et la nuit, les saisons et la pluie, le temps des semailles et celui des moissons.



Vers un univers gouverné par des lois naturelles

- Le rôle des divinités dans l'organisation de l'Univers a commencé à être remis en question par les philosophes de l'école de Milet à partir du VI^e siècle avant J.-C.
- Pour eux, derrière la diversité et le changement apparent du monde physique, il existe une unité sous-jacente, un principe premier, une substance originelle dont tout est fait et vers laquelle tout retourne.
- Ils conçoivent le monde comme un **cosmos** (un tout ordonné et intelligible) et non un **chaos** soumis aux caprices des dieux.
- Les principaux penseurs de l'école de Milet sont Thalès de Milet (v. 625 – v. 545 av. J.-C.), Anaximandre (v. 610 – v. 546 av. J.-C.) et Anaximène (v. 585 – v. 528 av. J.-C.)

Anaximandre de Milet



Un système de pensée global

- En Grèce antique, la science, la philosophie, la morale et la politique ne sont pas des disciplines séparées comme elles le sont aujourd'hui.
- Elles forment les pièces d'un seul et même puzzle : la quête du « **Cosmos** » (qui signifie à la fois « univers », « ordre » et « beauté »).
- Les premiers philosophes observent une régularité mathématique et géométrique dans le ciel et la nature : les saisons reviennent, les astres suivent des trajectoires prévisibles. Ils en déduisent que l'univers est régi par le « **Logos** » (la raison).
- Pour les penseurs grecs, comprendre les lois de la nature est indispensable pour savoir comment mener sa propre vie (morale) et comment organiser la société (politique).
- Si l'univers est ordonné, harmonieux et rationnel, l'être humain doit utiliser sa propre raison pour s'aligner sur cet ordre.

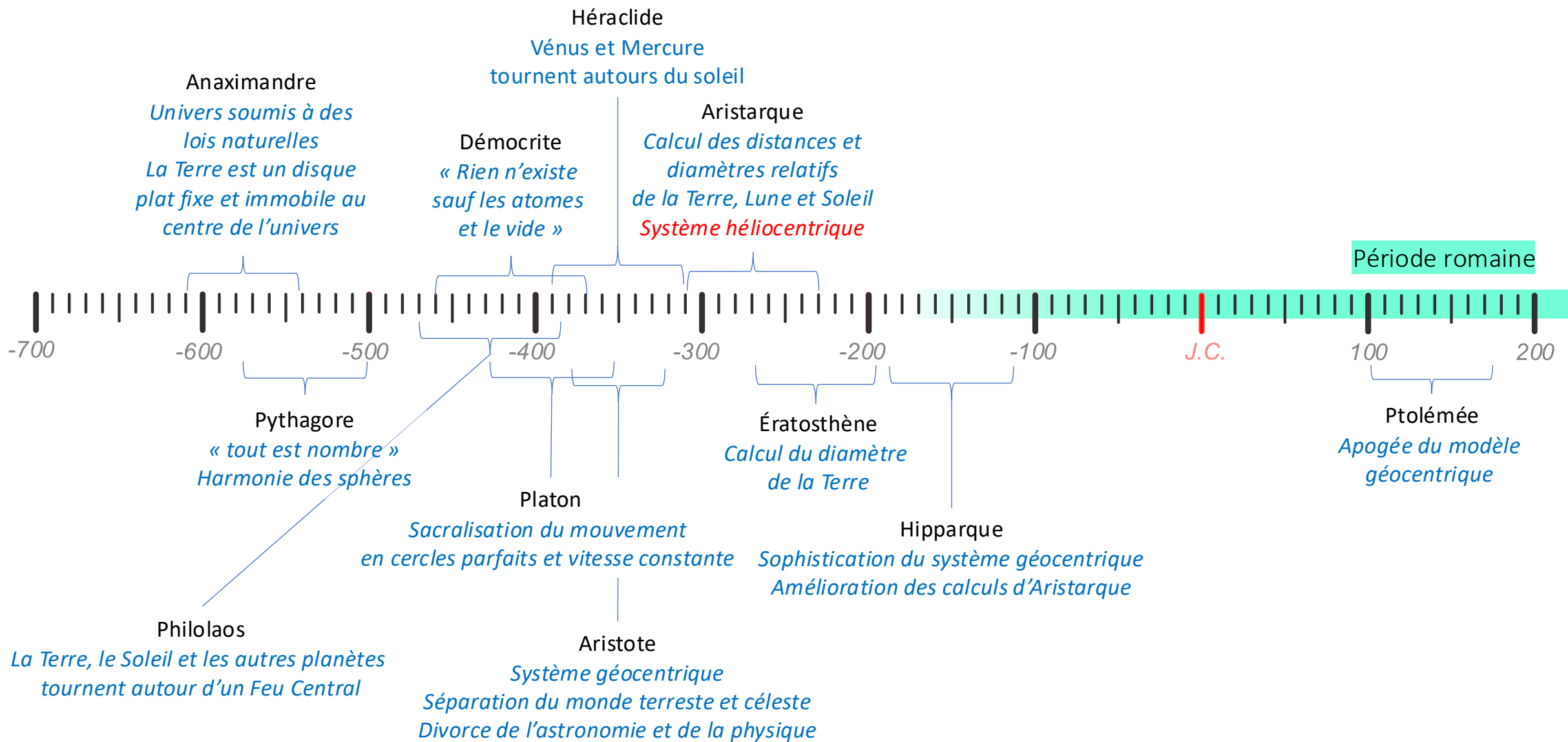
- Les conceptions de l'univers de la plupart des savants grecs vont garder certaines notions clés des récits mythiques :
 - **Un univers fermé** : chaque lieu a une position fixe et bien définie
 - **Un univers équilibré et bien organisé**, considéré comme un exemple à suivre sur le plan moral, politique et artistique
 - **Un univers ordonné** où chaque objet ou être a sa propre place
 - **Un univers orienté vers un but** : les choses tendent vers un lieu naturel qu'elles cherchent à rejoindre.

Une exception, les atomistes

- Les atomistes (Ve - IIIe siècle av. J.-C.) vont développer une vision du monde radicalement différente de la conception majoritaire.
- Les idées essentielles :
 - **La matière est constituée de particules invisibles : les atomes.** Les atomes sont indivisibles, éternels et indestructibles.
 - **Les atomes se déplacent dans le vide.** Pour que les atomes puissent se déplacer, s'assembler et se séparer, il faut nécessairement qu'il y ait des espaces vides entre eux.
 - **Tout ce qui existe est le résultat de collisions mécaniques d'atomes dans le vide.**
- Puisque le vide existe, rien ne peut lui assigner de limite. **L'espace est donc infini**, et le nombre d'atomes qui s'y déplacent l'est aussi.
- Cette vision atomiste d'un univers infini et sans centre a été totalement rejetée et éclipsée pendant près de deux millénaires par le modèle d'Aristote décrivant un cosmos fini, clos, ordonné et centré sur la Terre.

Démocrite (v. 460 – v. 370 av. J.-C.) :
« Rien n'existe sauf les atomes et le vide »





Les philosophes de l'école de Milet (VI^e siècle av. J.-C.)

- Anaximandre de Milet (v. 611- v. 546 av. J.-C.) compte parmi les premiers philosophes grecs à suggérer que les phénomènes célestes s'expliquent par des lois naturelles, plutôt que par des interventions divines.
- Le cosmos devient une mécanique parfaite qui obéit à des lois géométriques et mathématiques immuables. Le divin n'intervient plus au jour le jour pour modifier la course des planètes.
- Selon Anaximandre, la Terre était un disque plat fixe et immobile au centre.
- Le Soleil, la Lune et les étoiles étaient fixés à des sphères cristallines en rotation centrées sur la Terre.

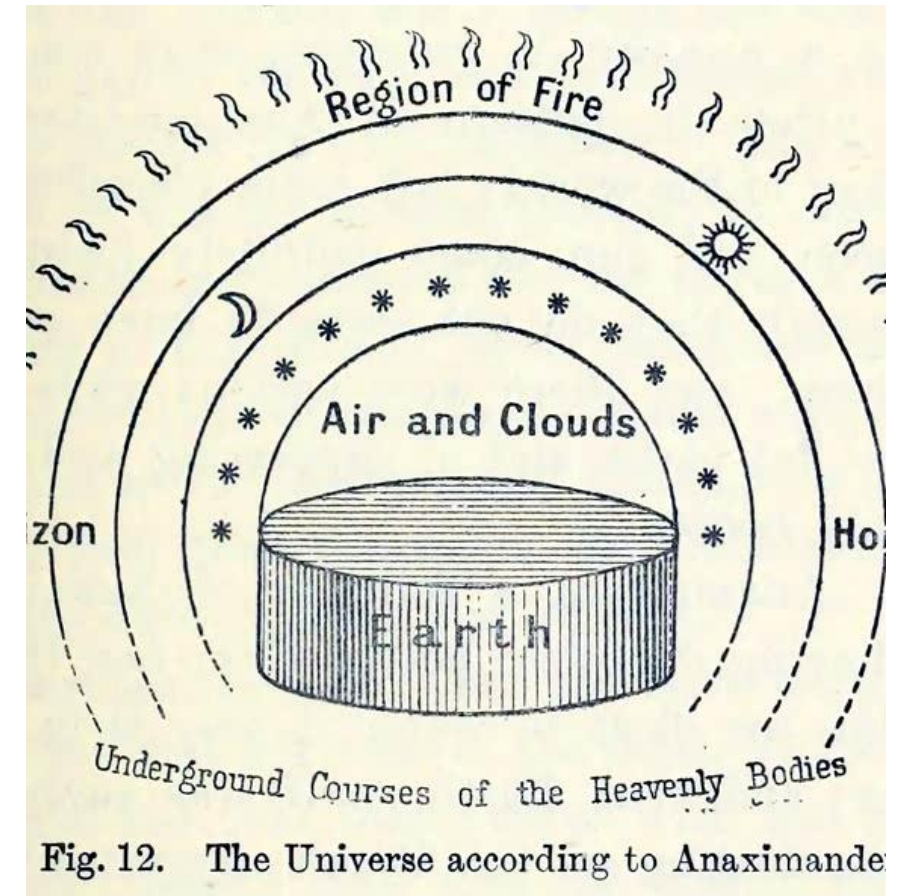


Fig. 12. The Universe according to Anaximander

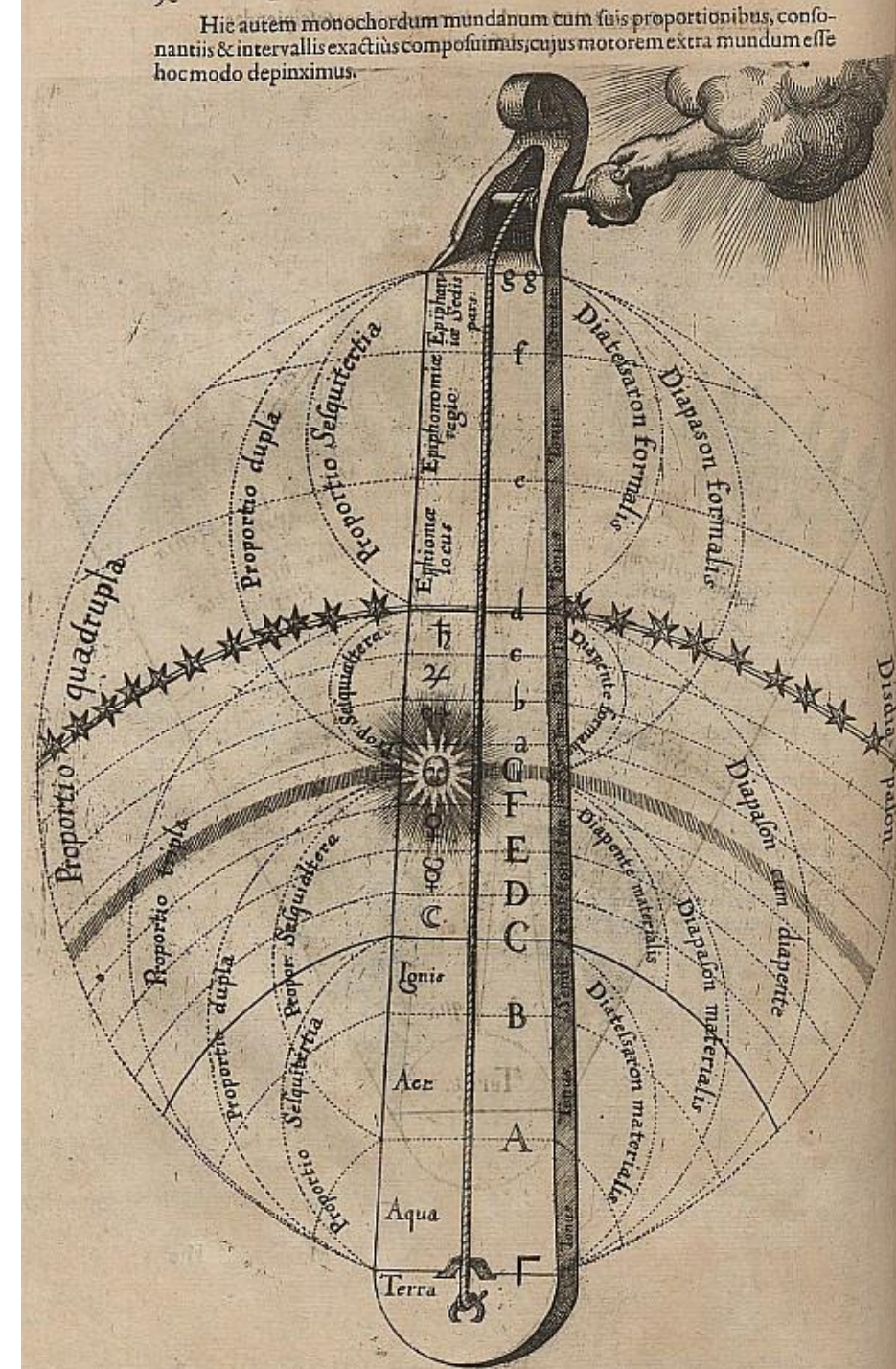
Gravure, début 20^e siècle

Les Pythagoriciens

- Pythagore de Samos (v. 580 – v. 495 av. J.-C.) était le fondateur d'une philosophie religieuse et est reconnu comme un précurseur de la science, au sens moderne du terme.
- Les pythagoriciens ont découvert de nombreuses relations entre les nombres et la géométrie, mais surtout, ils ont établi les lois de l'harmonie, qui sont devenues un élément principal de leur philosophie.
 - la hauteur d'une note dépend de la longueur de la corde qui la produit,
 - les intervalles consonants de la gamme proviennent de rapports numériques simples (octave 2 : 1, quinte 3 : 2, quarte 4 : 3, etc.),
- Pour la première fois on mesurait une sensation subjective (la musique).
- Les nombres deviennent un moyen d'appréhender la vérité.
- Pour les Pythagoriciens, la forme la plus élevée de la philosophie résidait dans les nombres, car « tout est nombre ». Les nombres leur étaient sacrés, ils y voyaient les idées les plus pures.

L'harmonie des sphères

- Selon les Pythagoriciens, la Terre est une sphère, car c'est la forme la plus parfaite.
- Cette idée repose sur des considérations purement philosophiques. Aristote, deux cents ans plus tard, sera le premier à prouver de manière formelle que la Terre est bien une sphère.
- Autour de cette sphère, le Soleil, la Lune et les planètes tournent en cercles concentriques, chacun attaché à une sphère cristalline, leur position étant déterminée par des rapports harmoniques.
- Les intervalles de distance séparant les orbites des planètes correspondaient aux proportions mathématiques nécessaires pour créer des accords musicaux parfaits (les consonances).



Un premier modèle non géocentrique

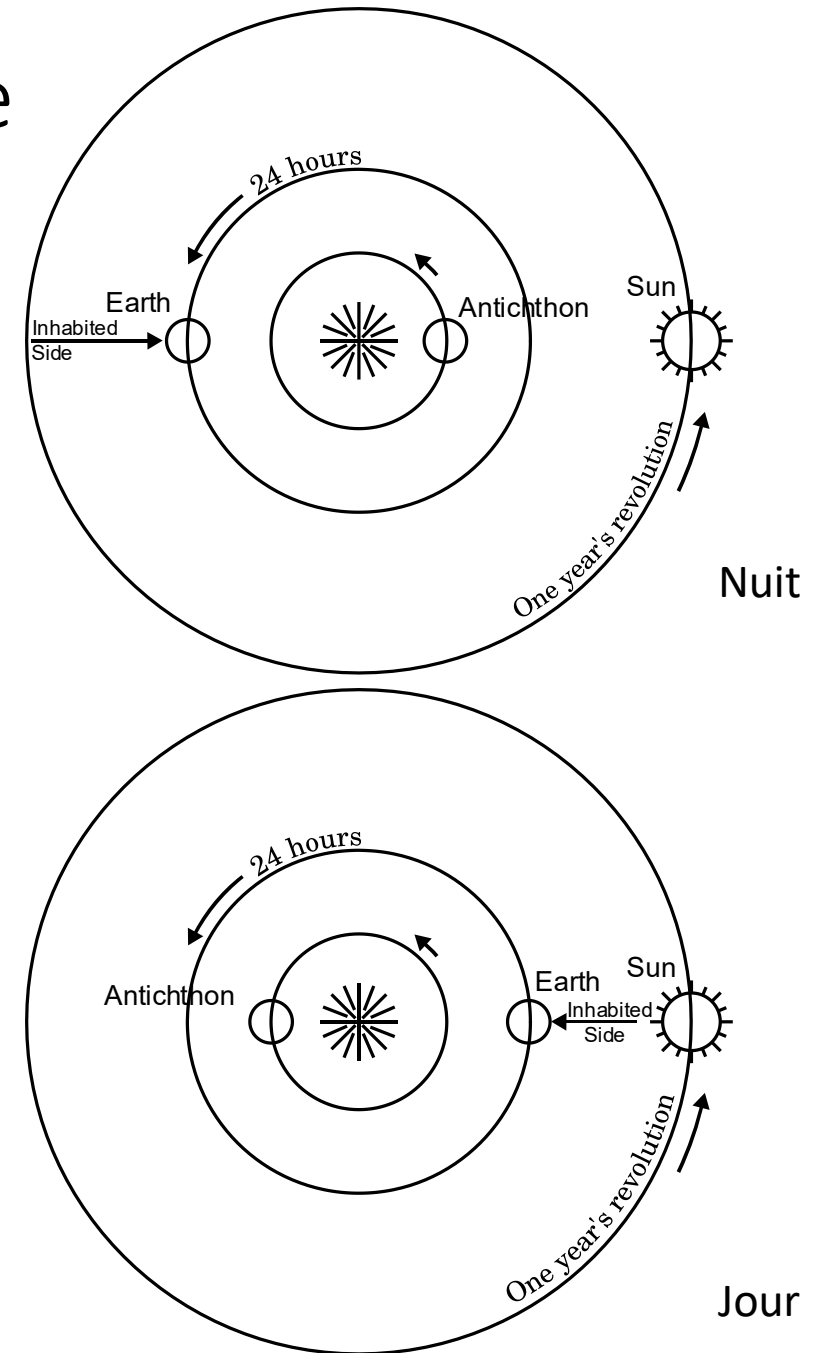
Philolaos de Crotone (v. 470 – v. 385 av. J.-C.), philosophe pythagoricien, développa une théorie pyrocentrique où la Terre, le Soleil et les autres planètes tournaient autour d'un Feu Central.

La terre faisait un tour du feu central par jour.

Une planète appelée « Anti-Terre » (Antichthon) était en orbite autour du Feu Central de l'autre côté.

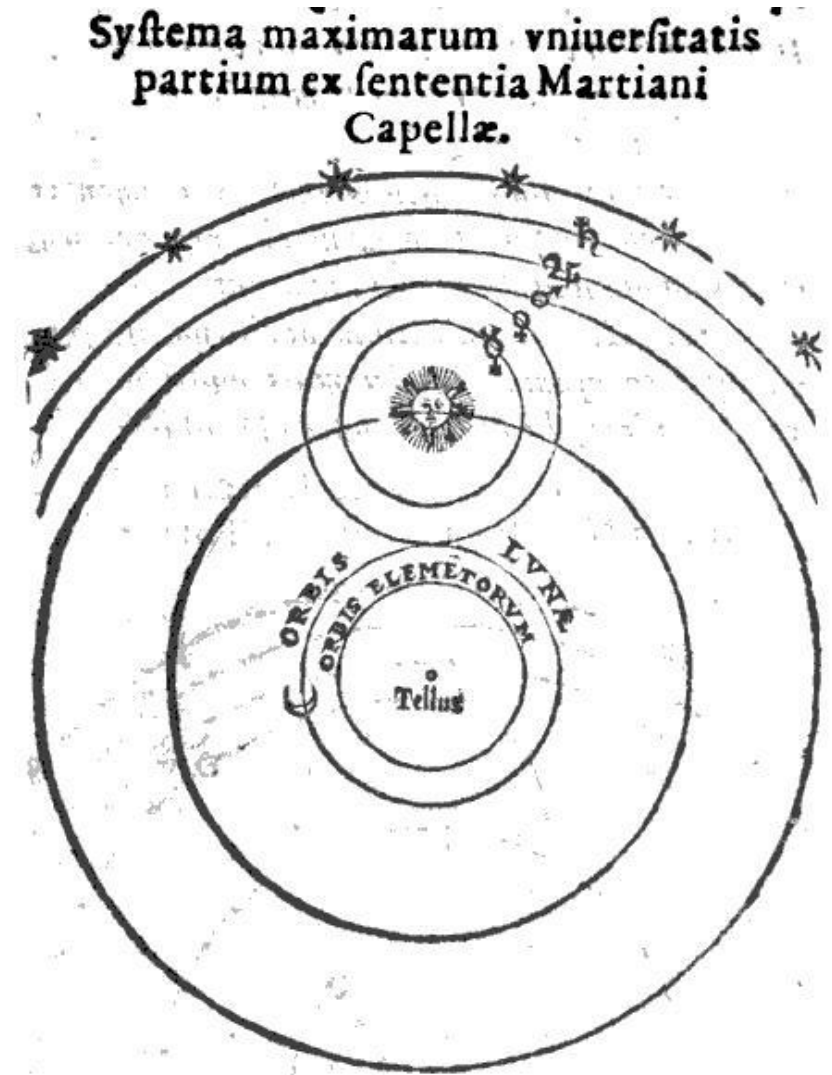
Le Feu Central et l'Anti-Terre n'étaient pas visibles depuis la partie habitée de la Terre.

Il est probable que l'Anti-Terre ait été imaginée pour que le nombre d'astres soit égal à dix, un nombre sacré chez les pythagoriciens.



Héraclide du Pont

- Héraclide du Pont (v. 390 - v. 339 av. J.-C.) était disciple de Platon et influencé par les pythagoriciens
- Il propose un modèle respectant le géocentrisme avec orbites circulaires et vitesses constantes, mais introduit deux exceptions majeures :
 - **La Terre tourne sur elle-même** au centre du monde (remettant en question son immobilité).
 - **Venus et Mercure orbitent autour du Soleil.** Cela permettait d'expliquer pourquoi ces planètes précédaient ou suivaient le Soleil, ainsi que les changements d'éclat de Vénus, révélateurs du fait qu'elle se rapprochait ou s'éloignait de la Terre.



Aristarque de Samos

Aristarque (v. 310 - v. 230 av. J.-C.) fut l'auteur de deux avancées importantes en astronomie.

- Dans le seul traité qui nous soit parvenu de lui, « *Sur les grandeurs et les distances du Soleil et de la Lune* », Aristarque calcule, à partir d'un raisonnement géométrique rigoureux (mais avec des données de départ souvent erronées), les tailles et les distances relatives du Soleil et de la Lune.
- Une des principales déductions est que le Soleil est beaucoup plus éloigné et beaucoup plus grand que ce que l'on imaginait à l'époque (même s'il le sous-estime d'un facteur 16 !)
- Nous aborderons ce sujet lors d'une prochaine présentation.

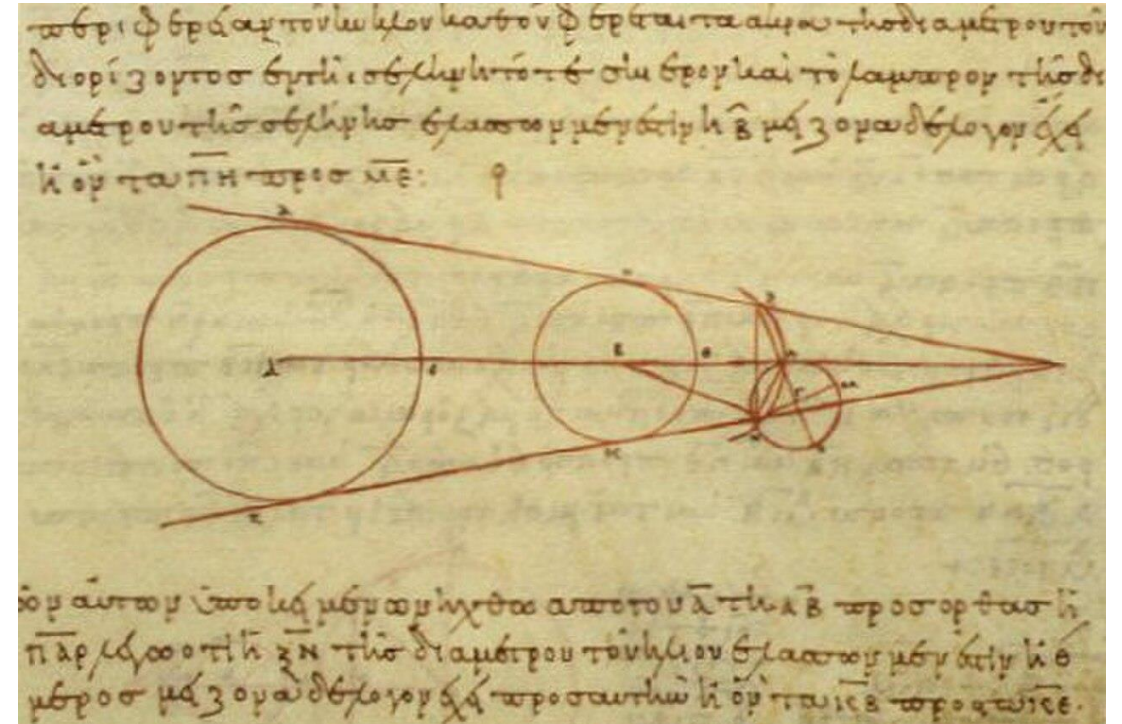


Diagramme géométrique d'Aristarque d'après un manuscrit grec du Xe siècle.

Aristarque et le système héliocentrique

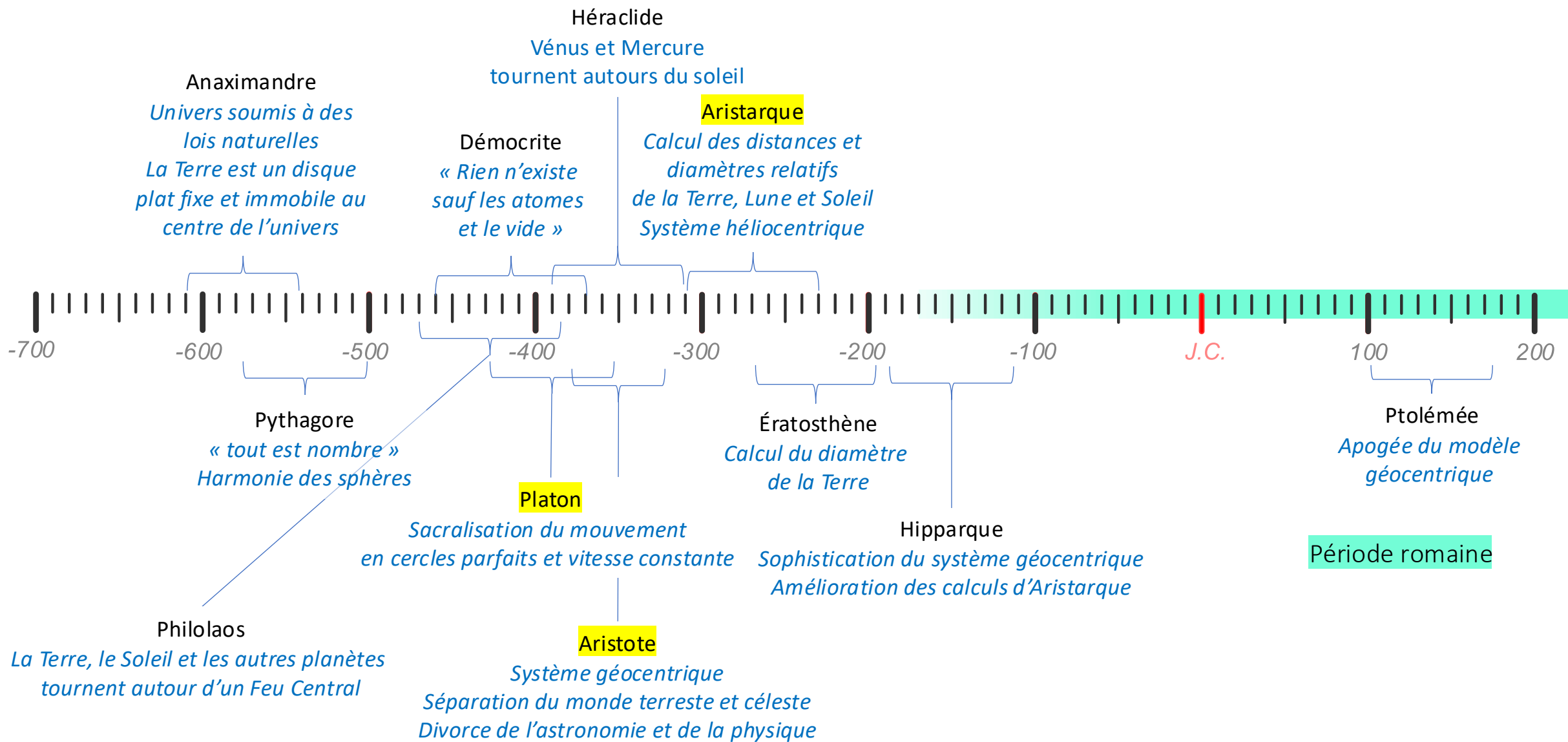
- Aristarque fut également le premier à proposer un système héliocentrique.
- Ce fut également hélas le dernier avant Copernic près de 18 siècles plus tard !
- Le traité qui décrit le système héliocentrique a été perdu mais il est cité par Archimède (v. 287 av. J.-C.- v. 212 av. J.-C). dans son traité «l' Arénaire ».
« Vous n'êtes pas sans savoir que par l'Univers, la plupart des Astronomes signifient une sphère ayant son centre au centre de la Terre (...). Toutefois, Aristarque de Samos a publié des écrits sur les hypothèses astronomiques. Les présuppositions qu'on trouve dans ses écrits suggèrent un univers beaucoup plus grand que celui mentionné plus haut. Il commence en fait avec l'hypothèse que les étoiles fixes et le Soleil sont immobiles. Quant à la Terre, elle se déplace autour du Soleil sur la circonférence d'un cercle ayant son centre dans le Soleil. »

Aristarque et le système Héliocentrique

- Il est probable qu'ayant démontré que le Soleil était beaucoup plus grand que la Terre, Aristarque ait pensé qu'il était logique de le placer au centre de l'univers.
- D'après Archimède, Aristarque aurait également déduit que les étoiles étaient beaucoup plus éloignées qu'on ne le supposait à l'époque, car il n'était pas possible d'observer de parallaxe stellaire avec les moyens de l'époque.
Même en considérant comme les grecs que toutes les étoiles sont collées sur une même sphère, la forme et la position des constellations devraient se déformer au cours de l'année. Une constellation située "sur le côté" devrait paraître plus large lorsque la Terre s'en rapproche, et plus resserrée lorsqu'elle s'en éloigne.
- Les détracteurs d'Aristarque considéreront au contraire l'absence de parallaxe comme une preuve de l'immobilité de la Terre.

Mais l'opposition principale au système héliocentrique sera d'ordre philosophique et culturel.

Pour le comprendre, il faut remonter plus d'un siècle en arrière, à l'époque de Platon et d'Aristote.



L'École d'Athènes

Raphaël
Musées du Vatican,



Platon

Socrate

Pythagore

Anaximandre

Aristote

Hipparque

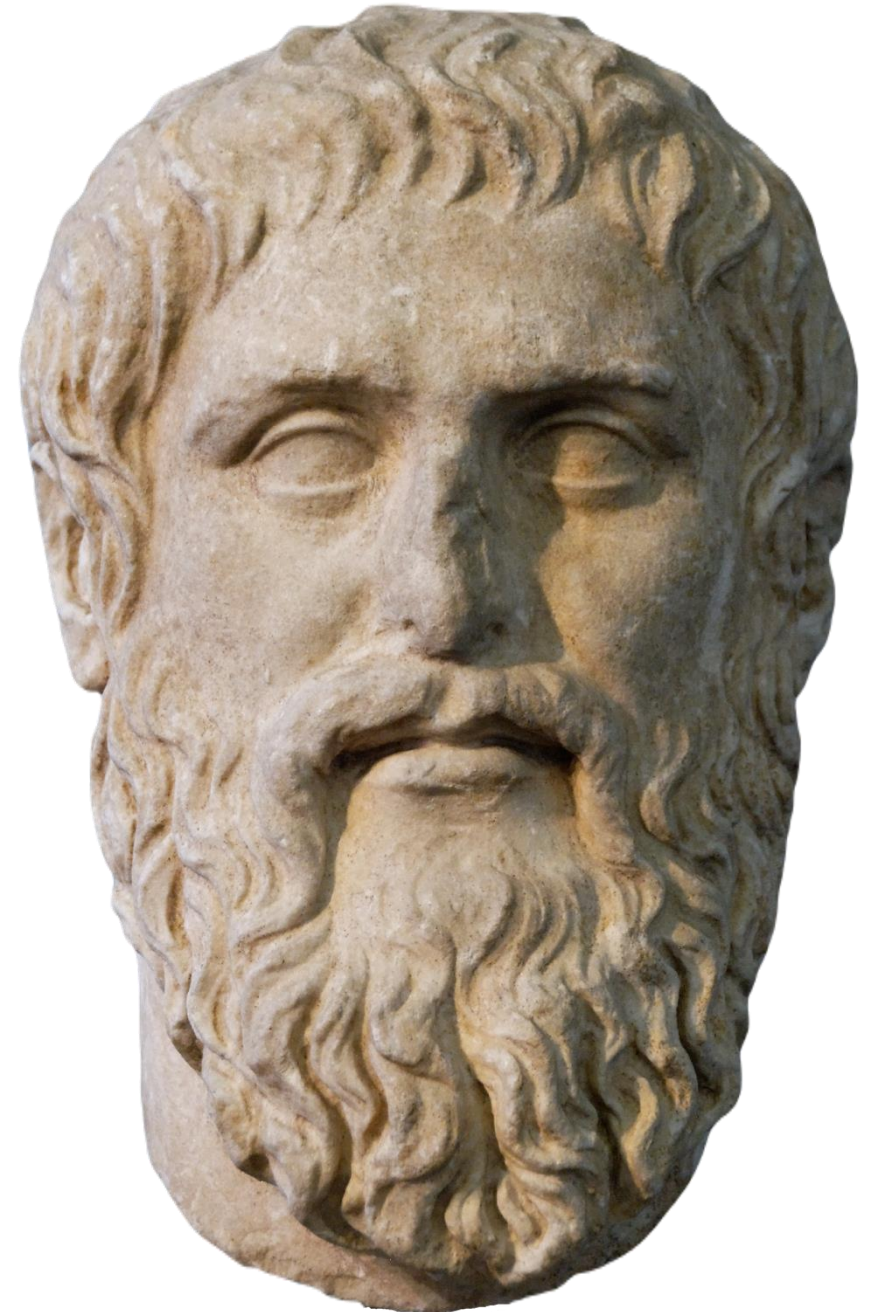
Ptolémée

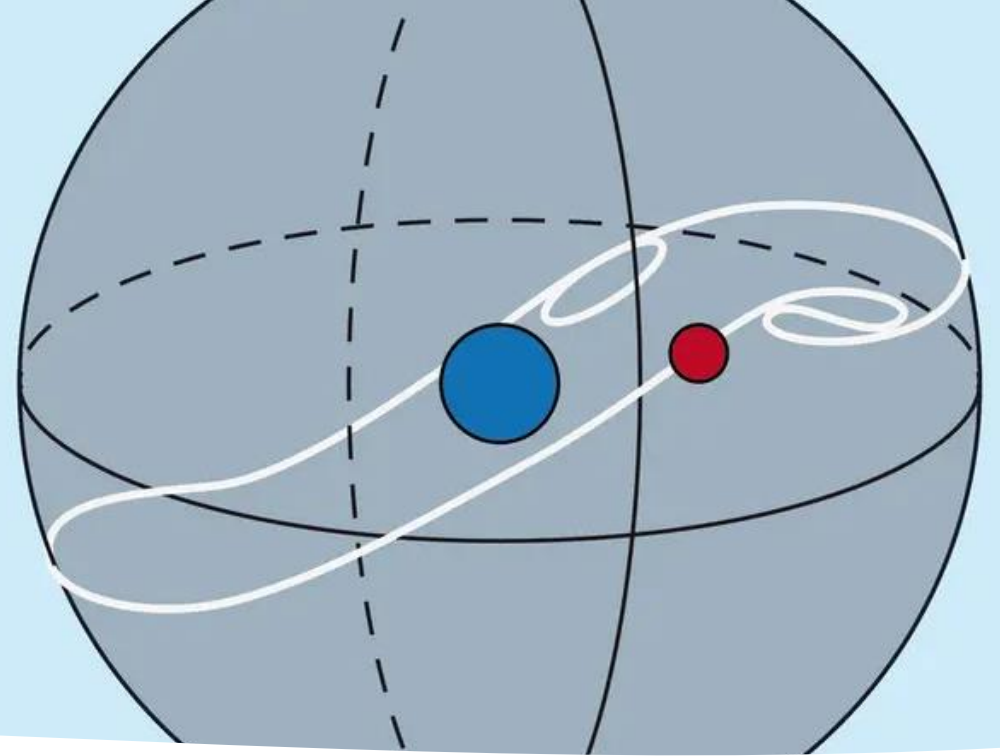
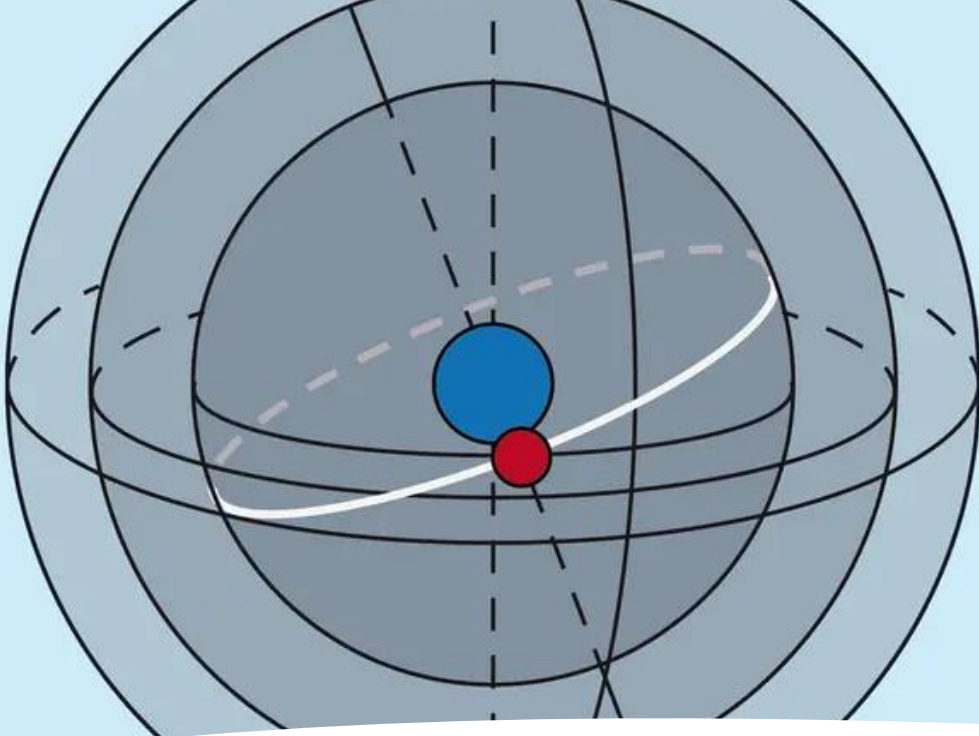
Archimède
ou Euclide

Platon

- D'après Platon (v. 428 - v. 348 av. J.-C.), le monde sensible dans lequel nous vivons n'est qu'un reflet imparfait, une illusion. La vraie réalité, le Bien, le Beau et le Vrai, se trouve dans le monde intelligible, invisible et céleste.
- Il serait donc vain de chercher à décrire avec exactitude notre perception du mouvement des corps célestes.
- *«Concentrons-nous sur les problèmes abstraits, en astronomie comme en géométrie, et négligeons les corps célestes, si nous voulons vraiment pénétrer l'Astronomie.»* La République, livre VII.
- Par un raisonnement métaphysique a priori, il a déduit que la forme du monde devait être une sphère parfaite et que tout mouvement devait se dérouler en **cercles parfaits** à une **vitesse constante**.

Ces considérations sans base scientifique auront des répercussions majeures sur l'évolution future de l'astronomie pour près de deux millénaires !





Eudoxe de Cnide (v. 408 – v. 355 av. J.-C.)

Élève de Platon, Eudoxe a élaboré un modèle géocentrique intégrant l'idéal platonicien du mouvement circulaire uniforme.

Système de 27 sphères cristallines concentriques en mouvement circulaire :

- 1 pour les étoiles fixes
- 3 pour le Soleil et 3 pour la Lune
- 4 pour chacune des 5 planètes
 - L'une était alignée avec les pôles célestes, tournant une fois par jour pour produire le lever et le coucher.
 - La deuxième était inclinée de $23,5^\circ$, tournant lentement dans le sens opposé pour produire la dérive des planètes d'ouest en est par rapport aux étoiles fixes.
 - Les troisième et quatrième produisent les mouvements rétrogrades périodiques des planètes.



Aristote

Aristote (384-322 av. J.C.), disciple de Platon est considéré comme la plus grande autorité générale de l'Antiquité.

Aristote est un pragmatique, à l'inverse de Platon, pour qui notre monde physique n'était qu'une copie imparfaite du monde supérieur des Idées.

Pour Aristote, la réalité est sous nos yeux. C'est l'observation de la nature qui mène à la connaissance.

Aristote a écrit sur pratiquement tout ce qui était connu à son époque. Il est le père de la biologie.

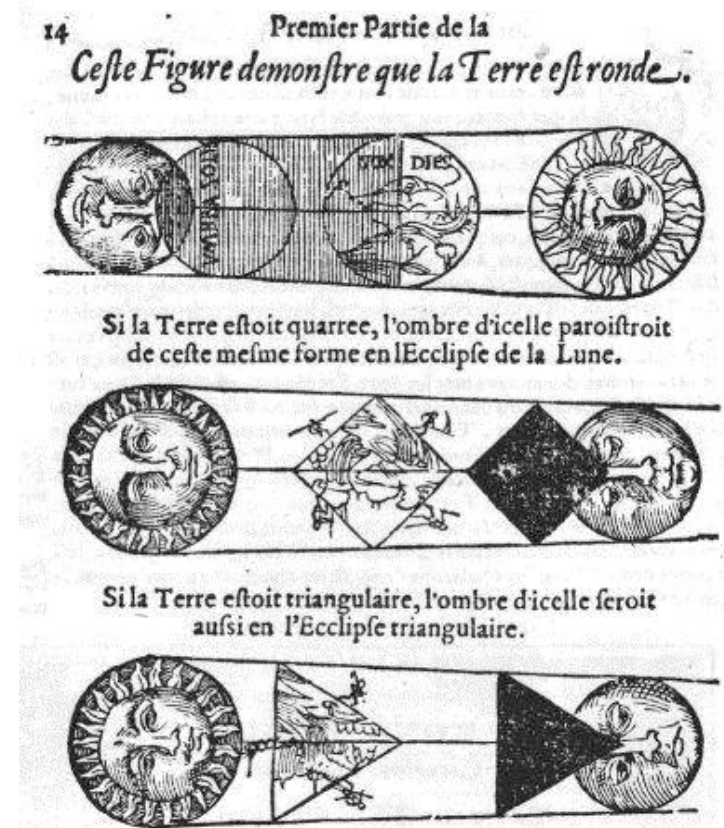
Malheureusement pour ce qui est du monde céleste, il restera fidèle aux principes platoniciens.

Aristote prouve la sphéricité de la Terre

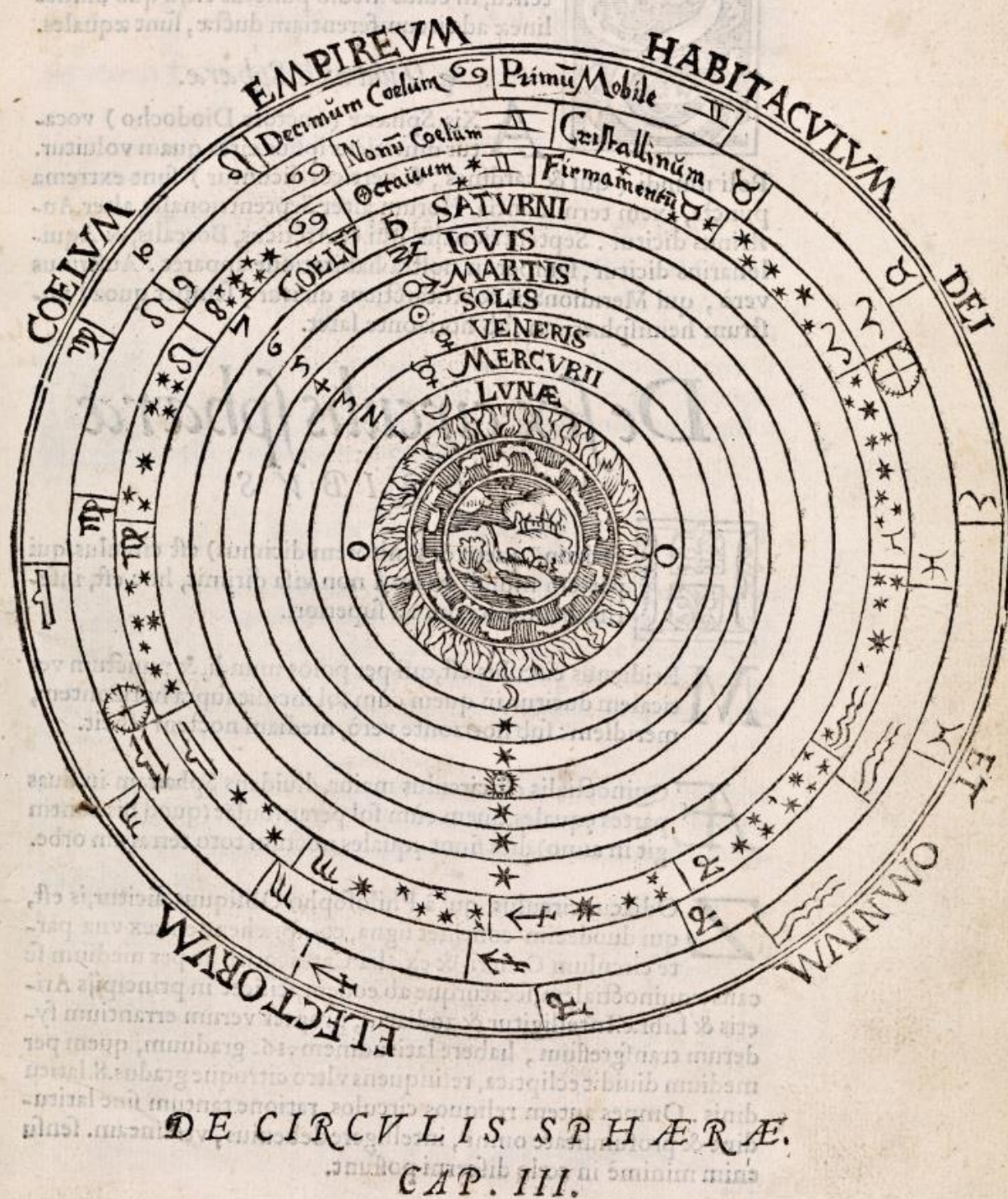
Aristote a été le premier à fournir des preuves rigoureuses de la sphéricité de la Terre

1. L'ombre portée de la Terre sur la surface lunaire lors des éclipses lunaires est toujours circulaire, que la Lune soit haute dans le ciel ou près de l'horizon. Le seul corps géométrique qui projette toujours une ombre circulaire, quelle que soit l'orientation de la source lumineuse, est une sphère.
2. Le changement de visibilité des étoiles : en voyageant vers le sud, on voit apparaître à l'horizon des étoiles et des constellations qui étaient invisibles depuis les régions plus au nord.
3. L'observation des navires à l'horizon : quand un navire s'éloigne de la côte, c'est d'abord sa coque qui disparaît sous la ligne d'horizon, tandis que les mâts et les voiles restent visibles en dernier.
4. Le comportement des objets qui tombent : selon la physique d'Aristote, les éléments sont en mouvement pour trouver leur « lieu naturel ». Les éléments lourds tendent naturellement vers le centre de l'Univers. En s'agglomérant de manière égale de tous les côtés, ils forment naturellement une sphère.

Remarque : seule la preuve 1 est irréfutable. Les preuves 2 et 3 démontrent simplement que la surface est courbe (la Terre pourrait être un disque bombé). La preuve 4 repose sur des principes physiques erronés mais pourrait être réinterprétée avec la gravité



© Bibliothèque de l'Observatoire de Paris



L'Univers selon Aristote

La conception de l'Univers d'Aristote est basée sur 3 dogmes fondamentaux :

1. La Terre est immobile au centre de l'Univers, le Soleil et les autres planètes gravitent autour d'elle.
2. Il y a séparation absolue entre le monde terrestre imparfait et changeant et le monde céleste parfait et perpétuellement identique à lui-même (la limite étant l'orbite de la Lune)
3. Les seuls mouvements célestes possibles sont les mouvements circulaires uniformes.

Deux mondes absolument séparés

Le monde terrestre

- La matière terrestre est éphémère et sujette à la décomposition
- Elle est composée de quatre éléments primordiaux la terre, l'eau, l'air et le feu.
- deux types de mouvements sont possibles :
 - Les mouvements naturels : les objets tendent à retourner à leur emplacement naturel (une pierre tombe, le feu monte, etc.)
 - Les mouvements contraints : un objet projeté peut s'éloigner de son lieu naturel.

Le monde céleste

- Constitué d'un cinquième élément appelé éther, immuable et éternel.
- L'état naturel est un mouvement circulaire, uniforme et incessant.
- C'est un monde parfait régi exclusivement par les mathématiques.
- L'objectif de l'astronomie se limite à la description des mouvements célestes à travers des modèles mathématiques respectant les principes philosophiques sans chercher la cause de ces mouvements.

**Cette vision du monde va conduire au divorce de l'astronomie et de la physique
qui perdurera pendant près de deux mille ans.**

Le modèle céleste d'Aristote

- Le modèle aristotélicien reprenait les 27 sphères célestes d'Eudoxe.
- Il y ajouta 27 sphères tampons entre les sphères célestes d'Eudoxe et une sphère la plus externe qui constituait le domaine de ce qu'il appelait le Premier Moteur.
- Le Premier Moteur faisait tourner cette sphère la plus externe à une vitesse angulaire constante, entraînant ainsi la rotation des autres sphères.
- Pour Aristote tout mouvement dans l'univers a une cause. La cause première qui fait bouger tout le reste sans bouger elle-même est le Premier Moteur.
- Cet univers étant purement mathématique, il n'y avait aucune raison d'essayer de comprendre comment cette machinerie pouvait fonctionner physiquement.

- Alors qu'il n'avait fallu que 300 ans pour passer des conceptions mythologiques de l'univers au système héliocentrique d'Aristarque, les théories erronées d'Aristote sur la physique et l'univers ont prévalu pendant près de deux mille ans.
- Il faudra attendre
 - Copernic pour redécouvrir le système héliocentrique d'Aristarque,
 - Kepler pour remettre en cause les orbites circulaires à vitesses constantes,
 - Galilée et Newton pour établir les lois du mouvement et contredire les théories des mouvements naturels et contraints d'Aristote.
- Comment se fait-il que ces conceptions erronées aient pu subsister aussi longtemps ?

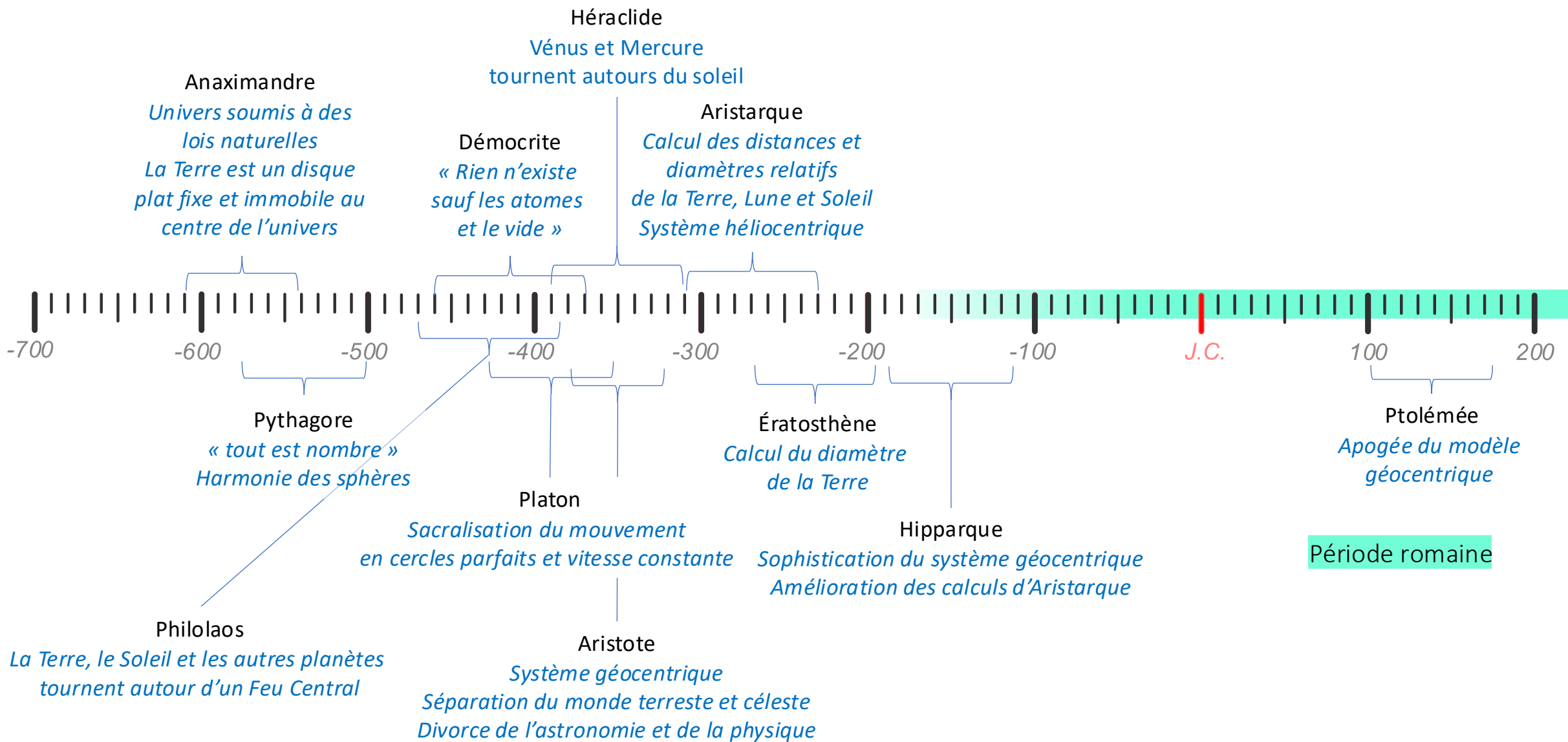
- **Platon et Aristote ont bâti des systèmes de pensée globaux.**
 - Ils expliquaient à la fois la création de l'univers, la nature de la matière, l'âme humaine, la morale et la politique.
 - Chaque pièce du puzzle soutenait les autres. Si l'on acceptait l'une, on devait accepter les autres.
- **Ces systèmes flattaient le « bon sens »**
 - La physique d'Aristote est une physique qualitative de l'observation immédiate
 - la Terre est immobile, car nous ne ressentons pas son mouvement
 - les objets lourds tombent et le feu monte car c'est leur place, ...
 - Or, les lois physiques défient souvent le « bon sens » :
 - Les objets tombent à la même vitesse quelle que soit leur masse (Galilée)
Une pierre tomberait à la même vitesse qu'une plume ?
 - Un objet en mouvement conserve sa vitesse et sa direction, sauf s'il est soumis à une force extérieure (Galilée et Newton).
Un voilier continuerait à avancer sans vent ?
 - ...

L'adoption par la chrétienté

- Les théologiens du Moyen Âge ont trouvé des affinités profondes entre la philosophie grecque et la spiritualité chrétienne.
- Le platonisme (via le néoplatonisme) s'est imposé du Ve au XIIe siècle. Platon était adapté à un christianisme contemplatif, mystique, axé sur le salut de l'âme et le détachement du monde terrestre.
- Le dualisme de Platon (le monde sensible imparfait face au monde des Idées parfait et éternel) s'adaptait parfaitement avec l'idée chrétienne du monde terrestre corrompu face au Royaume des Cieux.
- Aristote, redécouvert au XIIe siècle, a répondu au besoin de l'Église de défendre la foi par la raison et expliquer le monde physique créé par Dieu.
- À partir du XIIe siècle, l'œuvre d'Aristote est devenue la colonne vertébrale des premières universités européennes. On n'étudiait pas la science en observant la nature, mais en étudiant les textes d'Aristote. Contredire Aristote revenait à contredire l'Église.
- La redécouverte de Platon à la Renaissance a néanmoins contribué à ouvrir la voie à la révolution scientifique, en remettant à l'honneur la recherche de vérités universelles au-delà de la seule observation.

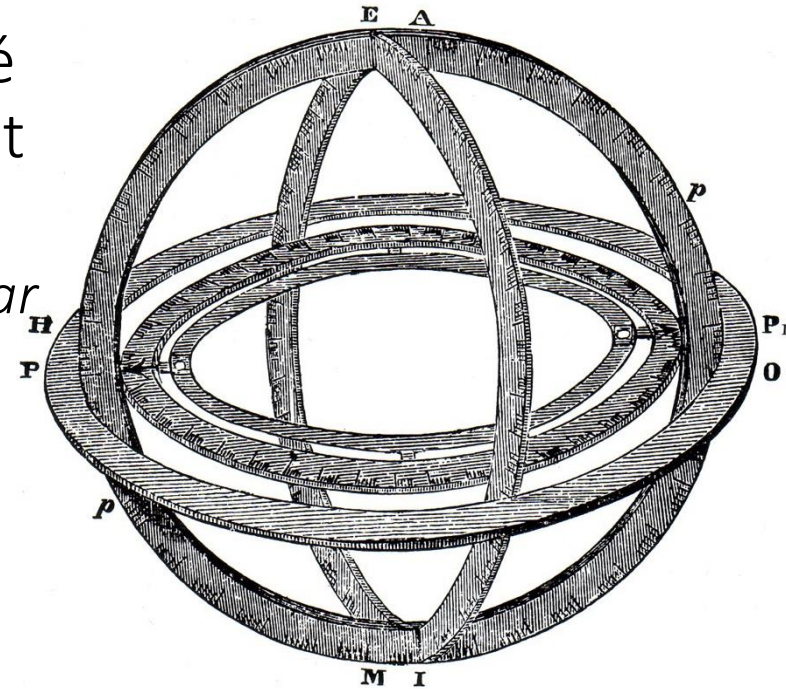
« Préserver les apparences »

- Après Aristote, les astronomes se sont principalement attachés à « préserver les apparences ».
- Les modèles seront
 - construits conformément aux idéaux philosophiques (géocentrisme, mouvements réguliers sur des cercles parfaits ,...).
 - adaptés pour fournir des prédictions précises des mouvements planétaires.
 - sans lien avec les causes physiques réelles de ces mouvements.



Hipparque de Nicée

- Hipparque de Nicée (v. 190 - v. 120 av. J.-C.) est considéré comme le plus grand astronome de l'antiquité. On lui doit en outre :
 - La découverte de la précession des équinoxes (« au moins 1° par siècle »).
 - Le premier catalogue stellaire avec définition des magnitudes stellaires comprenant environ 850 étoiles.
 - La mesure plus précise de l'année tropique (365j 5h 55min 12s par rapport à la vraie valeur égale à 365j 5h 48min 46s).
 - L'amélioration de la prédiction des éclipses
 - La fondation de la trigonométrie (tables de cordes)
 - L'amélioration sensible des calculs d'Aristarque.



Ci-dessus. La sphère armillaire utilisée par Hipparque. D'après la description de Ptolémée, il faut mettre le cercle E sur le plan de l'écliptique alors que la ligne rejoignant pp pointe vers le pôle. Le cercle ApMp passe donc par les

pôles de l'écliptique et de l'équateur. Les deux cercles internes en charnière sur l'axe PP1 sont pivotants et peuvent être munis de pinnules pointées vers l'objet. Sur les arcs on lit la latitude et la longitude écliptique de l'objet.

Malheureusement même s'il estime que le Soleil est « *l'astre auquel on rapporte tous les autres* » il maintiendra contre toute évidence le système géocentrique.

Amélioration du modèle d'Aristote

Si les planètes tournaient autour de la Terre en cercles parfaits à vitesse constante, leur éclat devrait toujours être le même et leur trajectoire dans le ciel devrait être une ligne droite continue. Or, les astronomes grecs observaient tout l'inverse :

- **Les variations d'éclat :**

Les planètes (surtout Vénus et Mars) brillent parfois très fort, et parfois beaucoup moins, ce qui prouve que leur distance par rapport à la Terre varie.

- **Le mouvement rétrograde :**

Par moments, une planète semble ralentir, s'arrêter, repartir en arrière pendant quelques semaines, avant de s'arrêter à nouveau et de reprendre sa course normale.



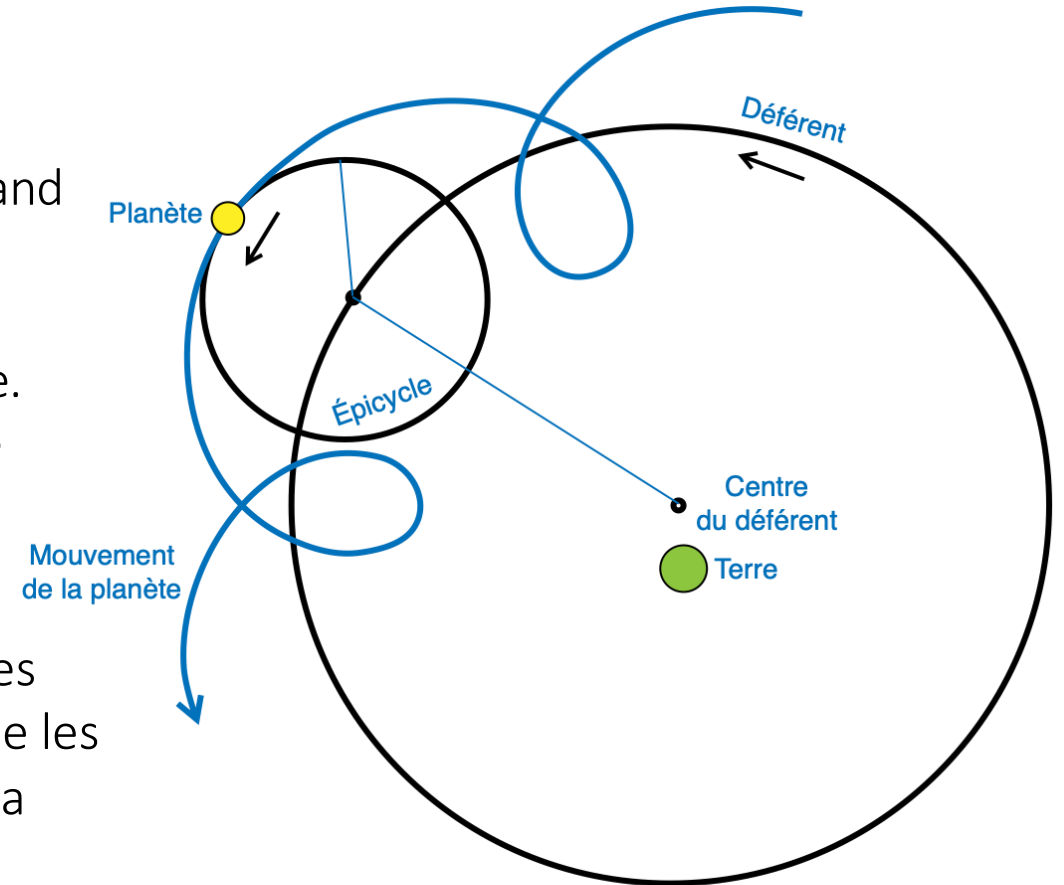
Mouvements rétrogrades de Mars et de Saturne – Décembre 2015
Image Credit Tunç Tezel

Invention de l'épicycle et de l'excentrique

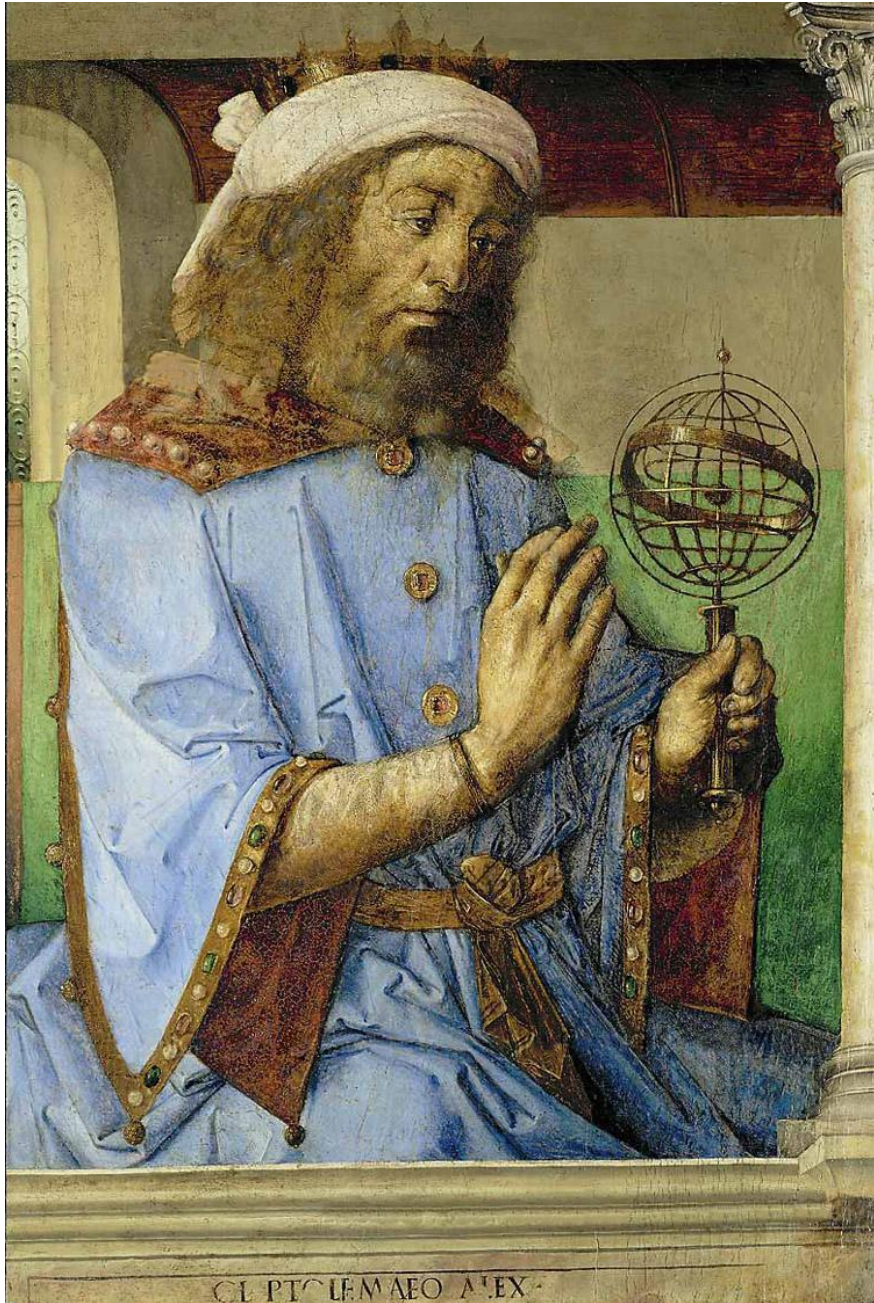
Afin de “sauver les apparences”, Hipparque a utilisé deux outils géométriques :

- **L'épicycle** : la planète tourne sur un petit cercle (l'épicycle), dont le centre tourne lui-même sur un grand cercle (le déférent) ce qui permet de reproduire un mouvement rétrograde.
- **L'excentrique** : le déférent n'est pas centré sur la Terre. La Terre ne se trouve donc plus vraiment au centre de l'univers

Les deux cercles tournent dans le sens inverse des aiguilles d'une montre à des vitesses différentes, ajustées pour que les mouvements apparents, tels qu'ils sont observés depuis la Terre, soient corrects.



- Même si Hipparque cherchait toujours à « préserver les apparences » son modèle se distingue de tous les modèles précédents par le fait qu'il était solidement ancré dans des données d'observation, dont il avait lui-même effectué une grande partie.
- Ce travail marque un tournant par rapport aux modèles précédents motivés principalement par l'esthétique philosophique.
- Le modèle d'Hipparque permettait de calculer, avec une précision remarquable pour l'époque, la position du Soleil, et rendait compte de l'inégale durée des saisons (par exemple, le printemps est plus long que l'automne).
- Pour la Lune, le modèle permettait d'expliquer les variations de sa distance et de sa vitesse.
- En revanche, Hipparque ne parvint pas à élaborer un modèle pleinement satisfaisant pour les cinq planètes alors connues : Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne.



Claude Ptolémée (c. 100 – c. 168)

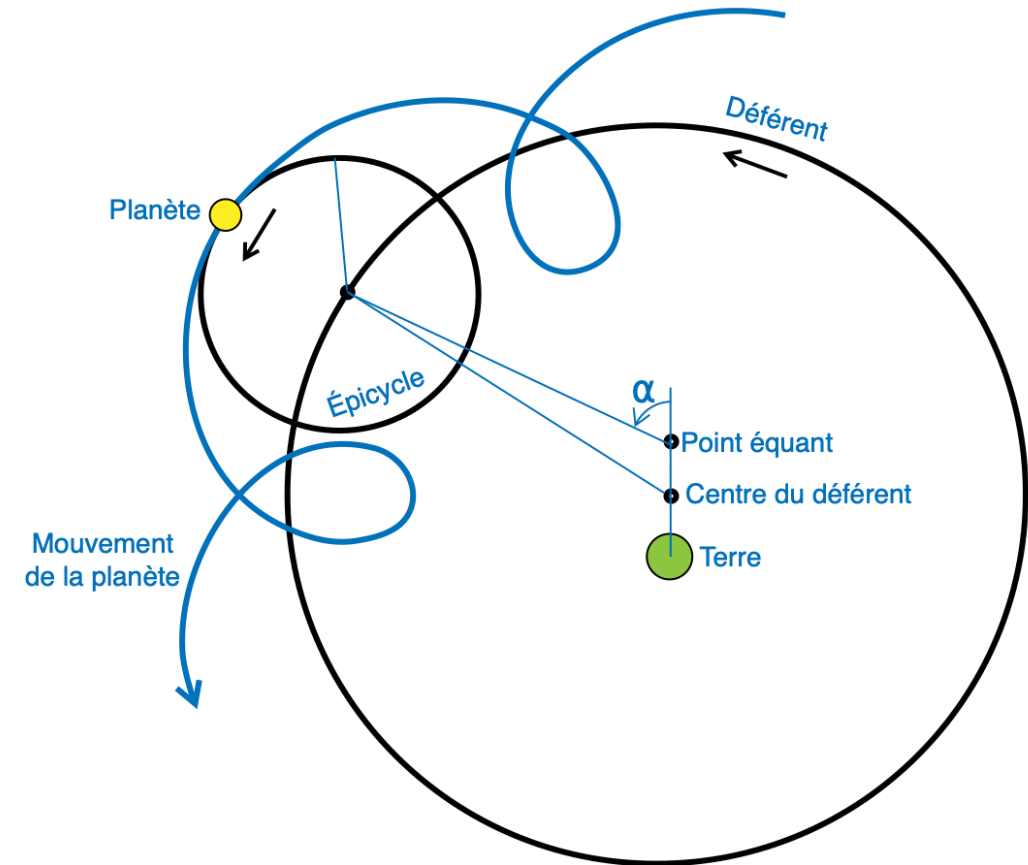
- Ptolémée est l'auteur de plusieurs traités scientifiques, dont deux ont exercé une grande influence sur les sciences occidentales et orientales.
- L'un est le traité d'astronomie, aujourd'hui connu sous le nom arabe d'*Almageste* (La Grande Composition). Il s'agit d'une sorte de manuel composé de 13 volumes qui reprennent ses propres théories et de nombreuses idées de penseurs antérieurs.
- L'autre est la *Géographie*, qui est une synthèse des connaissances géographiques du monde gréco-romain.

Épicycles de Ptolémée

Pour résoudre le problème des planètes sur lequel Hipparque avait buté, Ptolémée a introduit le point équant, un point imaginaire, symétrique de la Terre par rapport au centre du déférent.

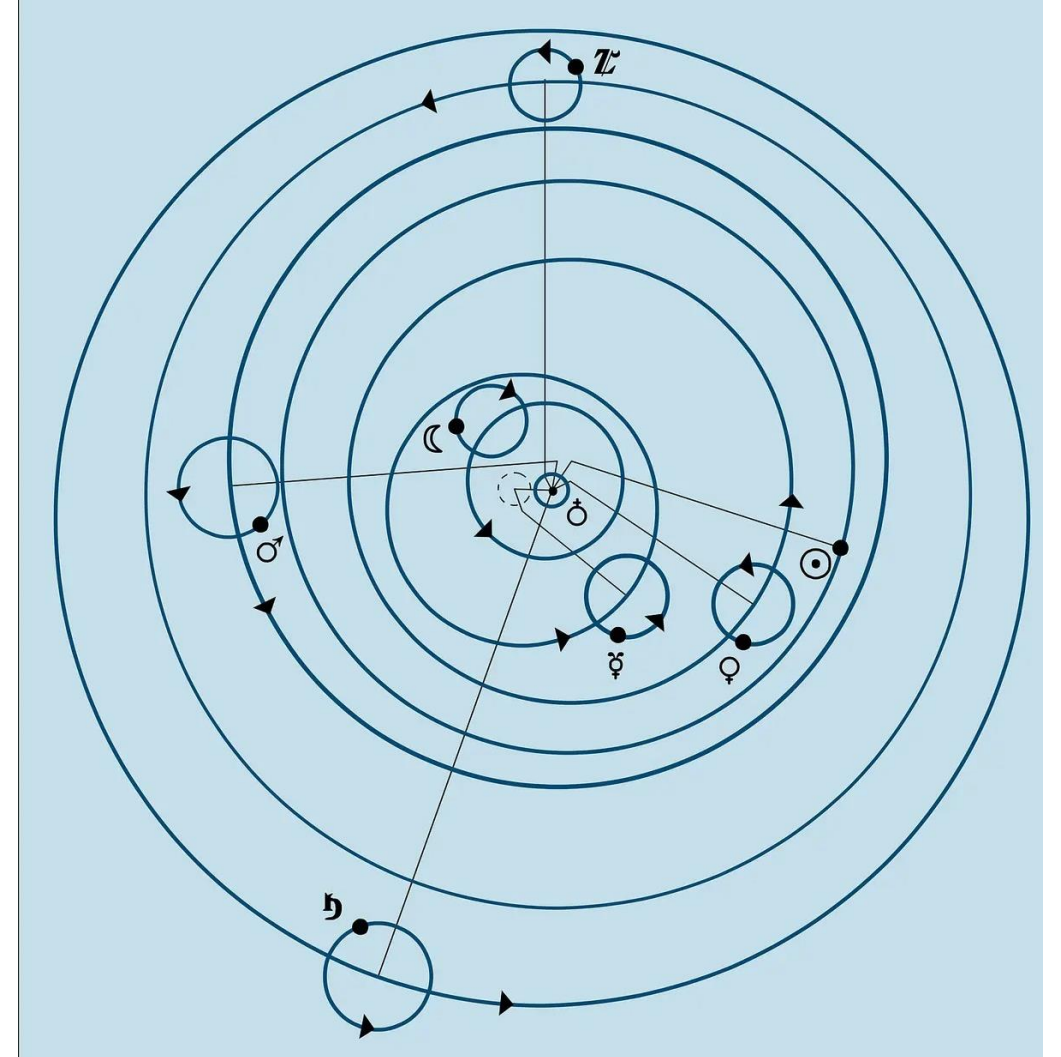
Depuis ce point, le centre de l'épicycle semble tourner à vitesse angulaire constante, même s'il ne tourne pas à vitesse constante par rapport au centre réel de son propre cercle.

Cela a permis à Ptolémée de prédire la position des planètes avec une exactitude inégalée pendant près de 1 500 ans.



Un chef-d'œuvre mathématique... mais une monstruosité physique

- Pour le modèle complet, aux déférents et épicycles, il faut encore ajouter la sphère des étoiles fixes (qui englobe le tout) ainsi que quelques cercles mineurs pour rendre compte de l'inclinaison des orbites et de la précession des équinoxes.
- Le système complet comporte ainsi environ 40 tressauts, excentriques et cercles.
- Ce modèle était un chef-d'œuvre mathématique, mais une monstruosité d'un point de vue physique.
- Comment expliquer physiquement qu'une planète orbite autour d'un point vide de l'espace (le centre de l'épicycle) tout en ajustant sa vitesse par rapport à un autre point imaginaire (l'équant) ?
- En essayant de « préserver les apparences » et de respecter les principes aristotéliens, ce modèle les transgresse tous.
- La Terre n'est plus au centre des sphères, les planètes ne suivent plus des trajectoires circulaires et leurs vitesses ne sont plus constantes.



« Préserver les apparences »

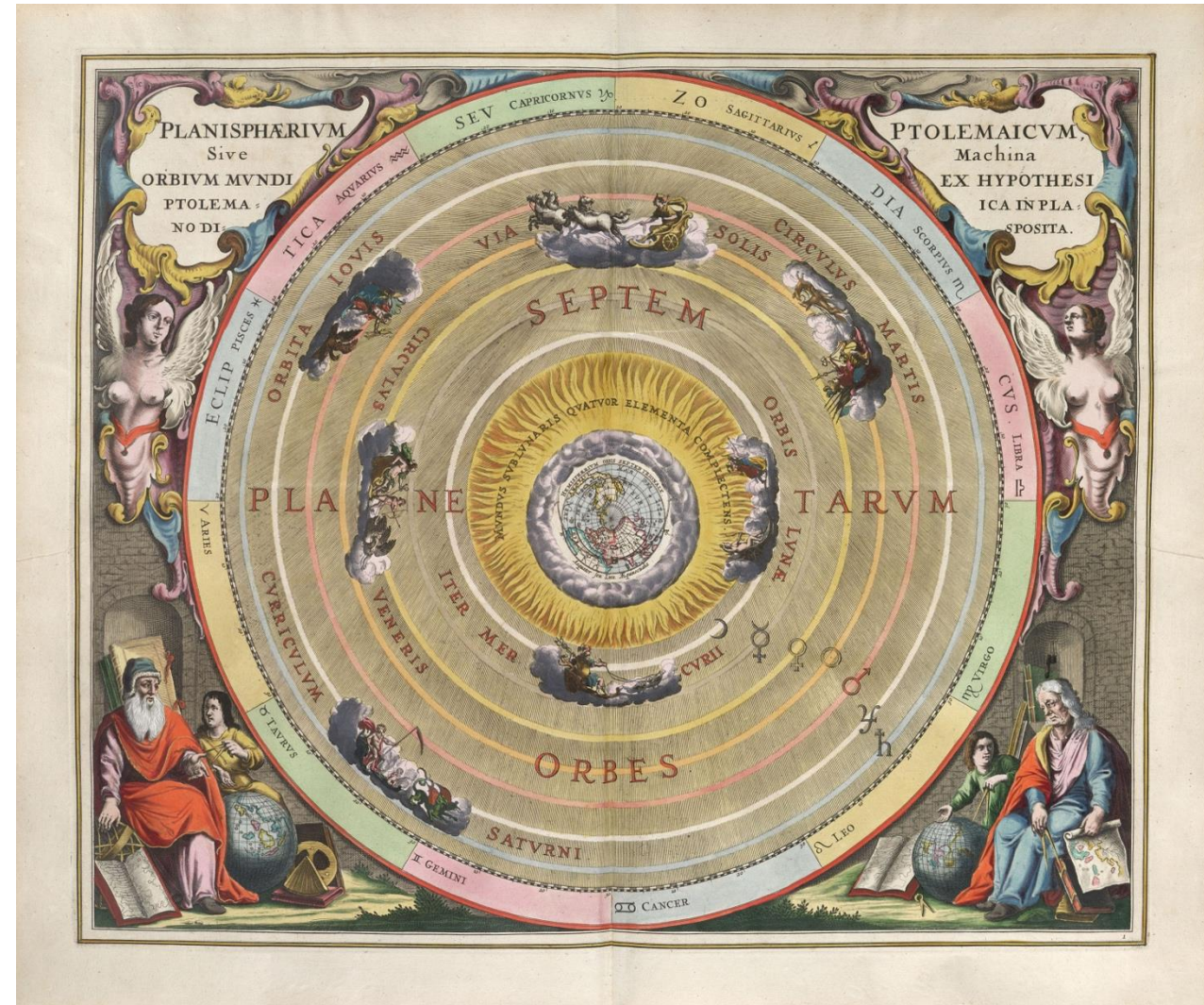


- « Nous croyons que le but que l'astronome doit s'efforcer d'atteindre est le suivant : démontrer que tous les phénomènes du ciel sont produits par des mouvements circulaires et uniformes... »
- « Nous étant fixé la tâche de prouver que les irrégularités apparentes des cinq planètes, du Soleil et de la Lune peuvent être toutes représentées au moyen de mouvements circulaires uniformes, parce que seuls ces mouvements sont appropriés à leur nature divine... nous sommes en droit de regarder l'accomplissement de cette tâche comme le but ultime de la science mathématique basée sur la philosophie »

Extraits de l' « *Almageste* »

Un système qui a perduré pendant 14 siècles !

- Le système de Ptolémée sera largement oublié en Europe occidentale durant le haut Moyen Âge (du V^e au X^e siècle), en raison de la perte des textes grecs originaux.
- Il reviendra en force à partir du XII^e siècle, grâce aux contacts avec le monde arabe qui l'avait préservé.
- Il deviendra alors la vérité scientifique incontestée des universités médiévales.
- Il faudra toute l'audace de Copernic, les observations de Galilée et les calculs de Kepler aux XVI^e et XVII^e siècles pour parvenir à le détrôner.



Andreas Cellarius - 1661

Une leçon pour notre époque ...

- Au cours des derniers siècles le progrès de la science a été continu, sans failles ; aussi sommes-nous tentés de prolonger la courbe dans le passé et d'imaginer que le savoir a toujours avancé en grandissant sans à-coups, des débuts de la civilisation jusqu'à notre époque.
- Ce n'est certes pas le cas. Au III^e siècle avant Jésus-Christ, Aristarque de Samos avait établi le système solaire héliocentrique.
- Ce système sera abandonné/banni sur des considérations philosophiques et plus tard religieuses. Ces considérations imposeront également d'autres contraintes qui nuiront considérablement à la compréhension de la mécanique céleste.
- Il faudra attendre 18 siècles pour Copernic redécouvrir le système héliocentrique et que les orbites circulaires à vitesse constante soient abandonnées par Kepler.
- Etrangement cela donne matière à réfléchir pour notre époque où la science est attaquée pour des raisons politiques ou de croyances.