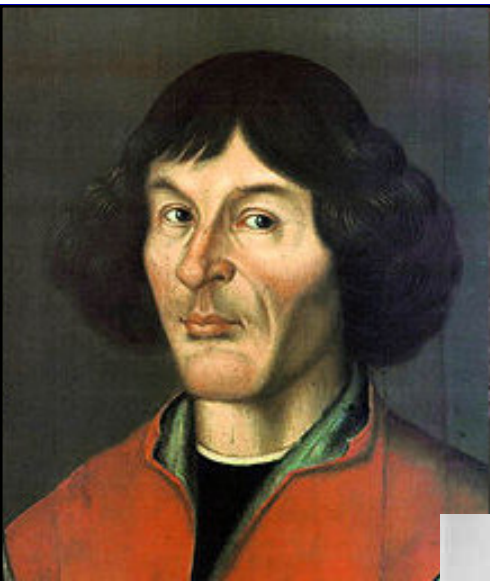


SEULES COMPTENT LES INVENTIONS ET DECOUVERTES QUI  
REVOLUTIONNENT LE MONDE :

- XV<sup>e</sup> - XVI<sup>e</sup> siècle : **EXPLORATIONS**
- XVII<sup>e</sup> - XVIII<sup>e</sup> siècle : **REVOLUTION SCIENTIFIQUE**
- XVIII<sup>e</sup> - XIX<sup>e</sup> siècle : **REVOLUTION INDUSTRIELLE**



Copernic

T. Brahe



J. Kepler

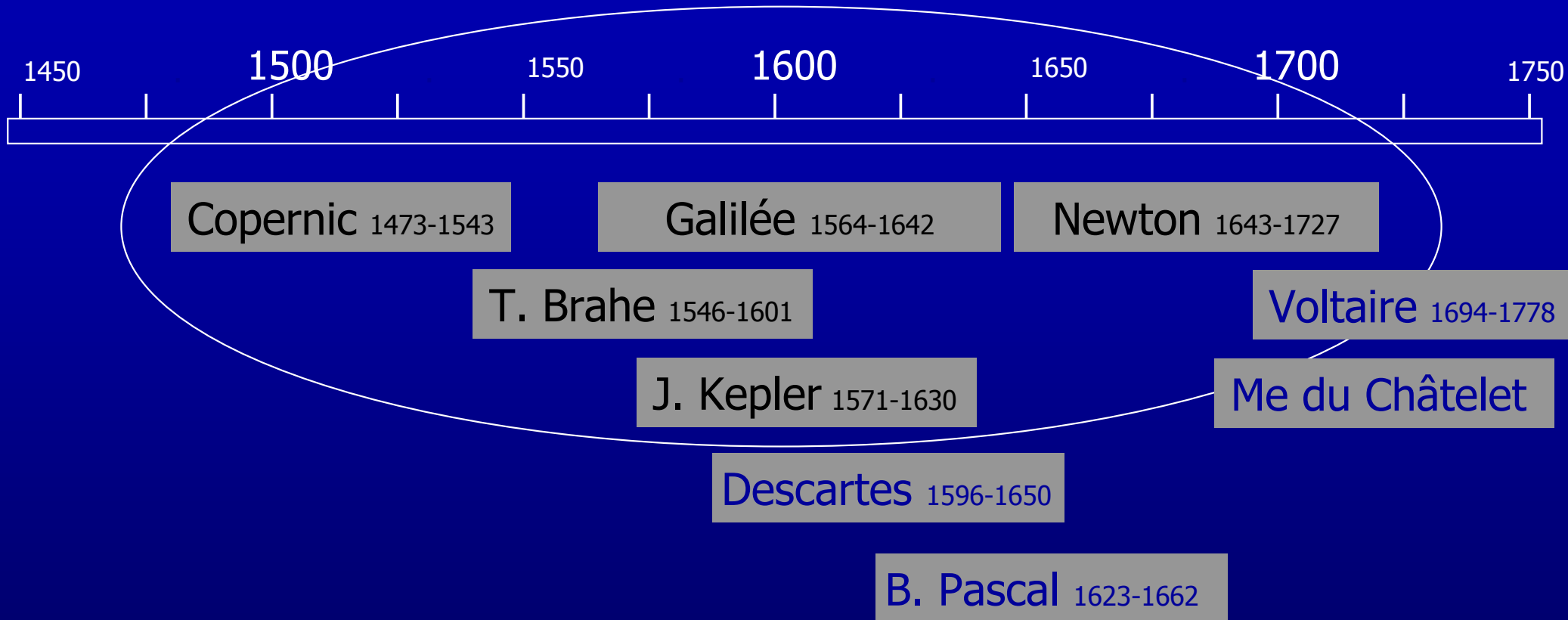


Galilée

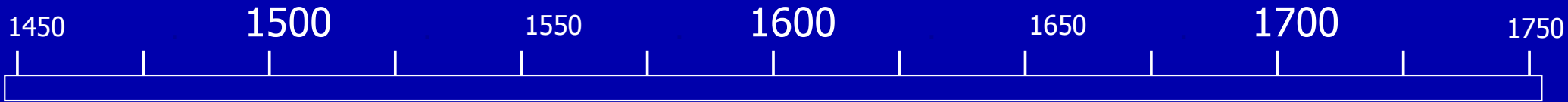


Art Resource, NY/Erich Lessing

# Les débuts de l'astronomie moderne



# Évènements politiques



**Copernic** 1473-1543

**Galilée** 1564-1642

**T. Brahe** 1546-1601

**J. Kepler** 1571-1630

1453 Byzance

1457 Imprim.

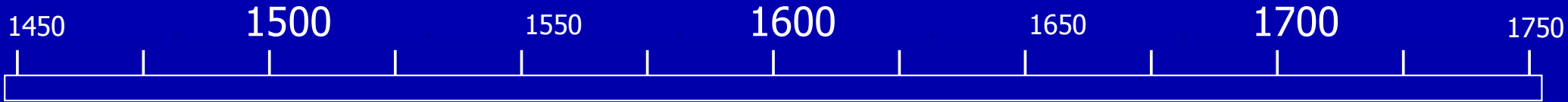
1488 B. Diaz

1492 C. Colon

1492 Grenada

Publication de  
**Ptolémée**

# Évènements politiques



**Copernic** 1473-1543

**Galilée** 1564-1642

**T. Brahe** 1546-1601

**J. Kepler** 1571-1630

1453 Byzance

1457 Imprim.

1488 B. Diaz

1492 C. Colon

1492 Grenada

Publication de  
Ptolémée

1517 **Luther**

Conc. de Trento  
1542-1563

**Inquisition-Index**

Paix d'Augsbourg

1583 Réforme du  
calendrier

Guerre des  
30 ans,  
1618-1648

Mesure dist.  
Terre-Mars 1672  
(Cassini-Richer)

Newton *Principia*  
1687

# Nicolas Copernic

1473 – 1543

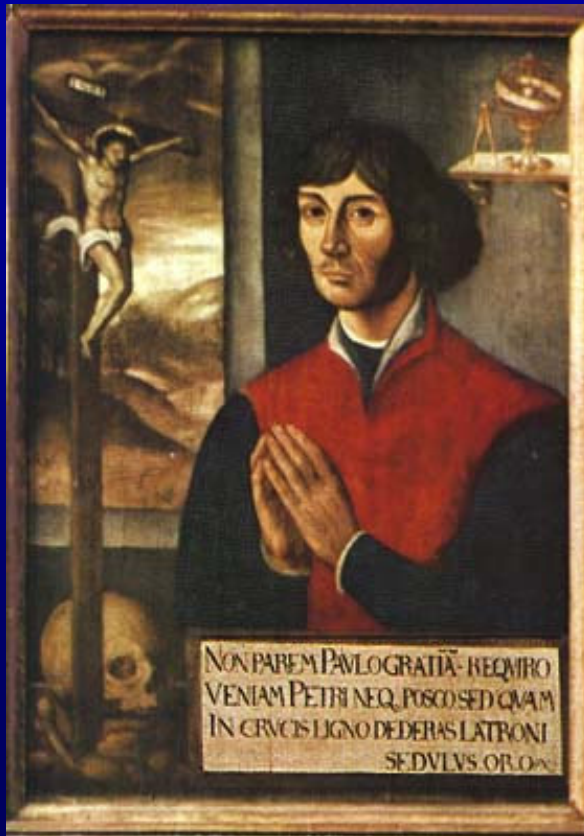
un jeune homme bien sage



Né à Torun (Pologne), il grandit chez son oncle Lucas. Son oncle évêque lui obtient une charge de **chanoine à Frombork**.

Il fréquente les universités de Cracovie (4 ans), de Bologne (5 ans), de Padoue (2 ans), et il se diplôme à Ferrara.

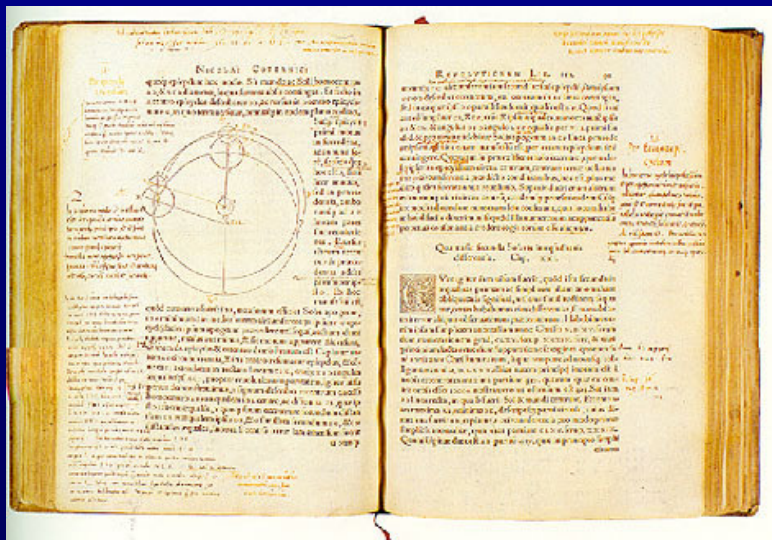
De retour en Pologne, il se consacre à ses études. Son seul écrit scientifique est une lettre de six pages à un ami (*Commentariolus*) où il explique les idées qu'il cultive.



# Copernic, 1543

En 1539 (il a 66 ans) il reçoit la visite de Georg J. Rethicus, un jeune mathématicien allemand.

Après quelques mois, Rheticus publie *Narratio Prima*, un avant-goût de la théorie héliocentrique.

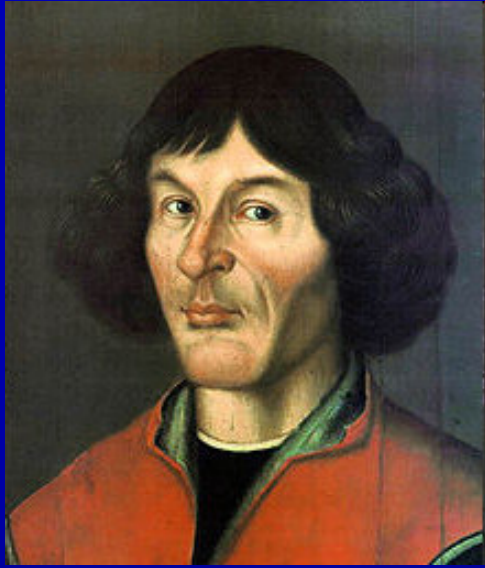


Copernic, pressé par ses amis, rédige enfin

## De Revolutionibus Orbium Coelestium

juste avant de mourir, en 1543.

Publié à Nuremberg par les soins de Rheticus.



## Nicolas Copernic (1473-1543), mais encore ?

- Que savait-on avant Copernic ?  
Et par quel biais ?
- • Que s'est-il passé après la mort de Copernic ?  
Y a-t-il eu une '**Révolution Copernicienne**' ?
- • Une réaction négative de l'Église de Rome ?



# Antiquité :

Un ciel qui tourne...

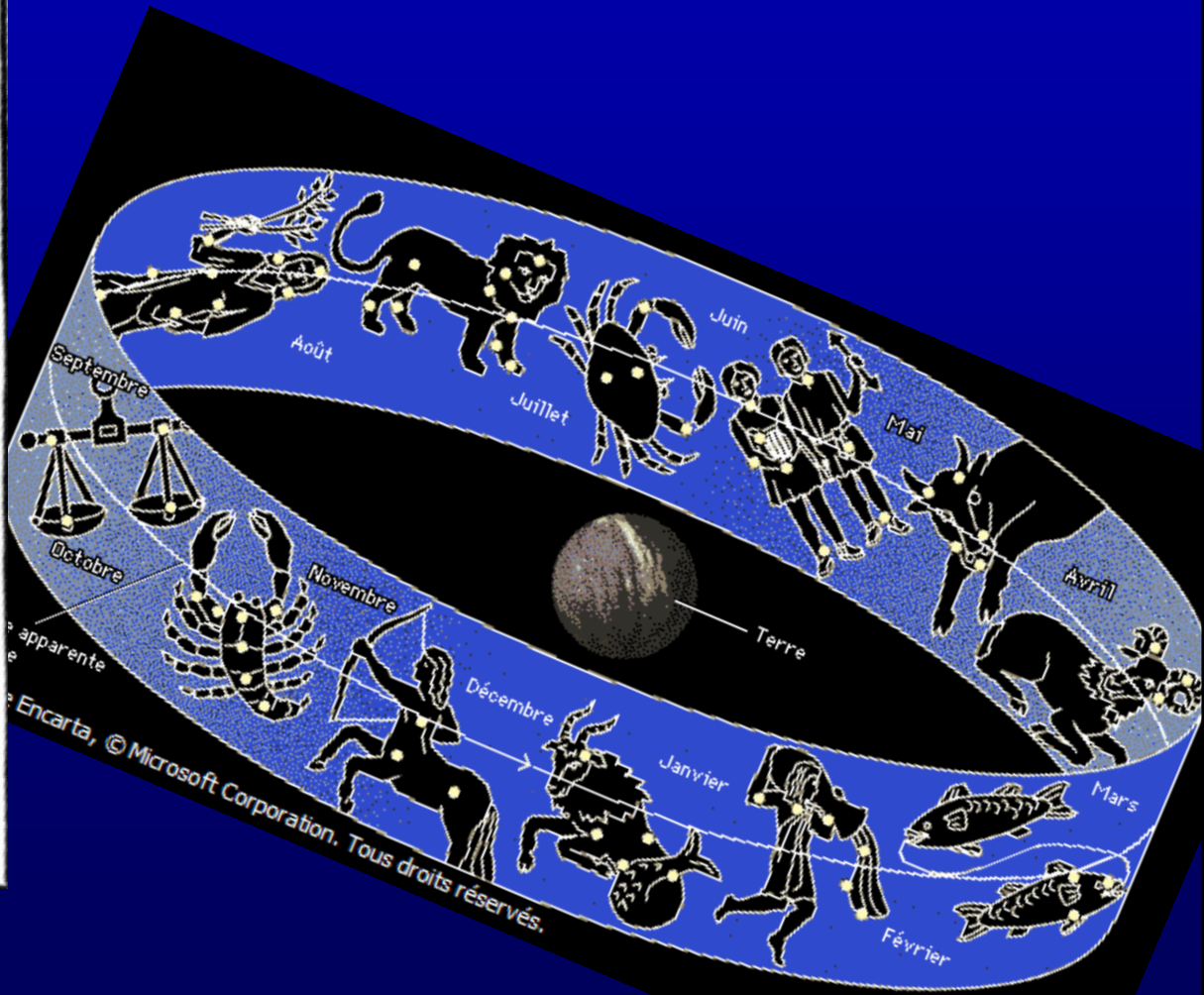
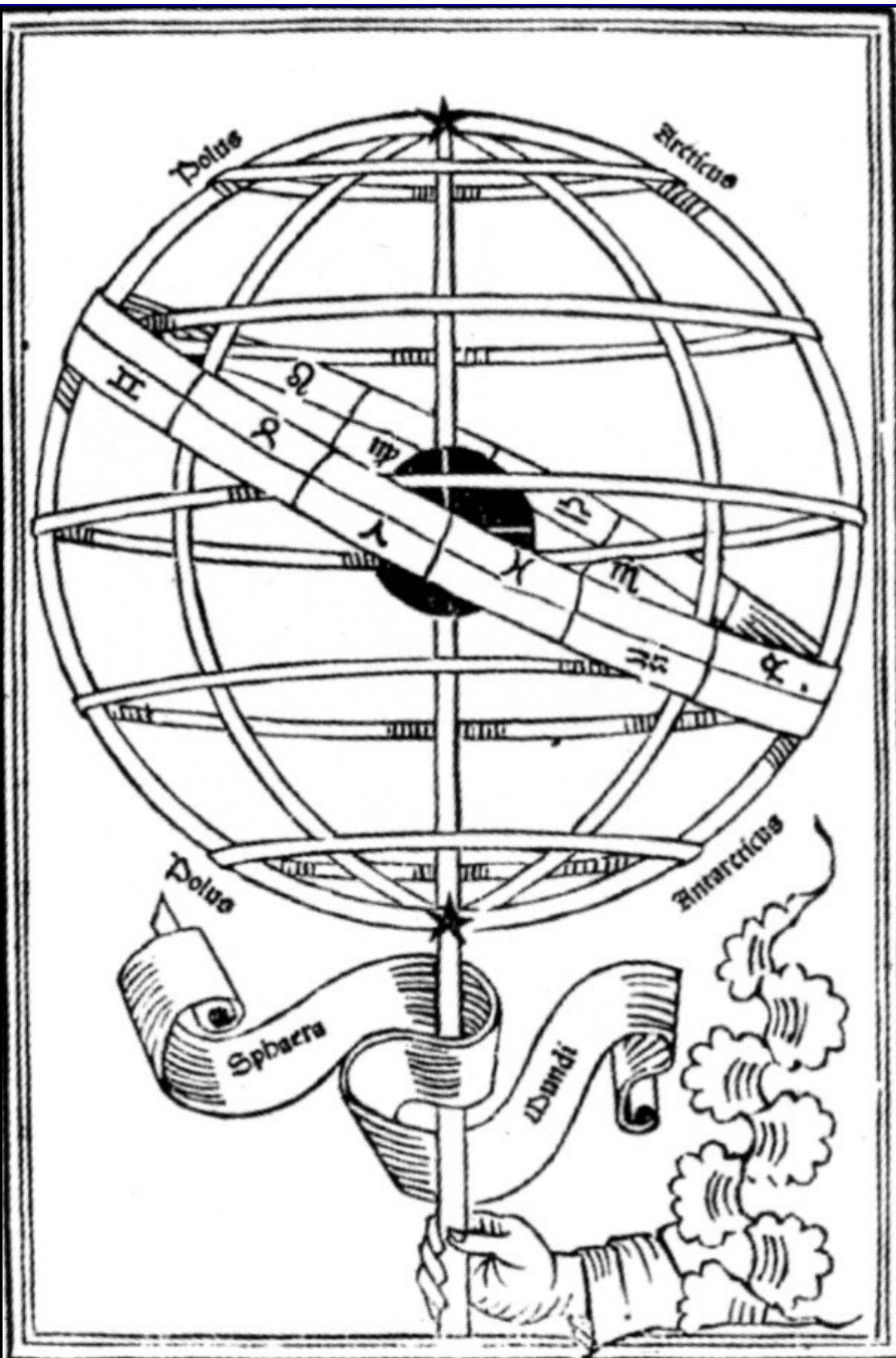
= une sphère avec des étoiles fixes (sur elle).



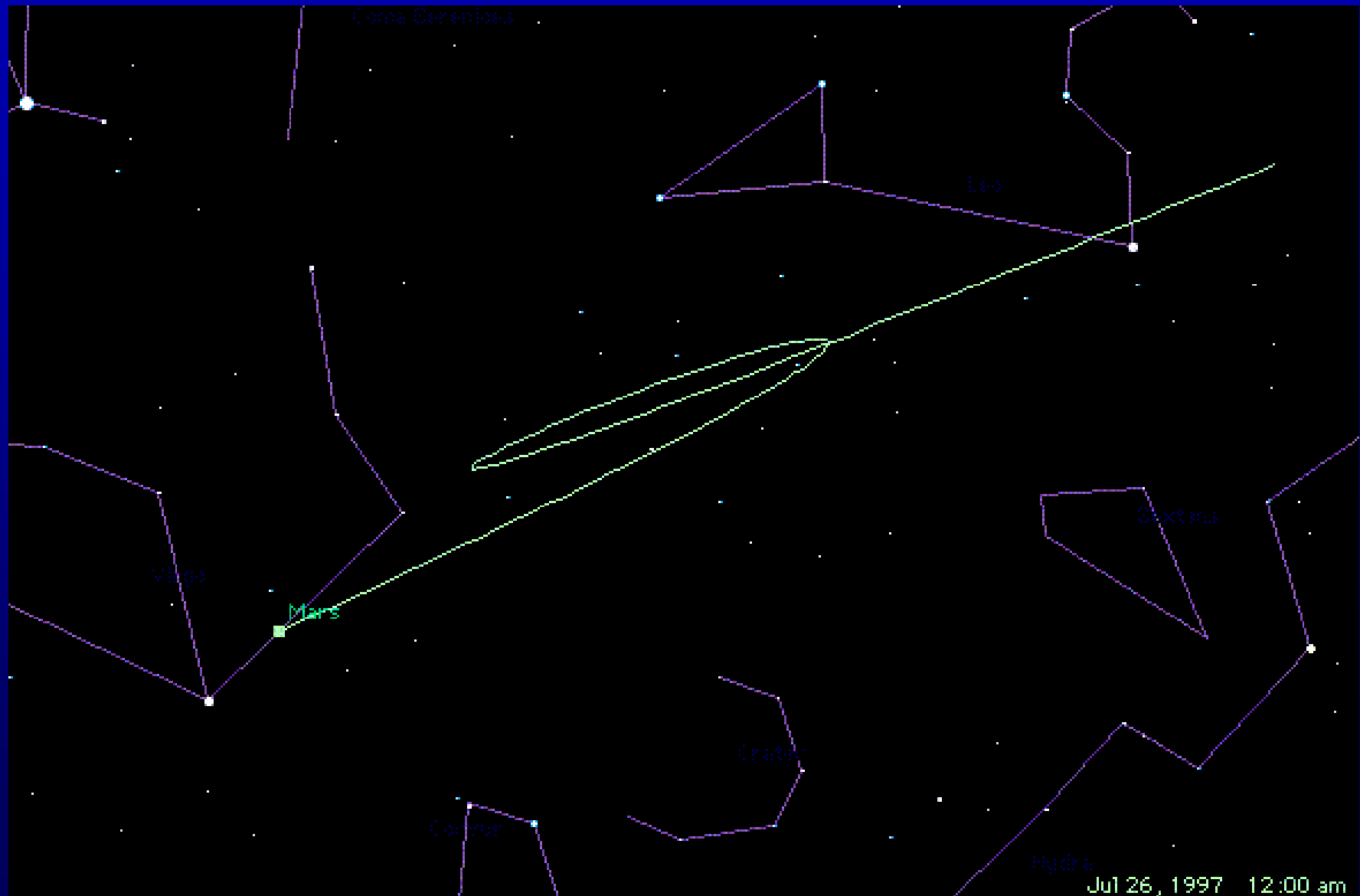
**Un mouvement circulaire, uniforme,  
immuable, éternel : "parfait"**



# Mais... il y a les planètes et le Zodiaque



# La valse des planètes : mouvement de Mars dans le ciel



# Athènes, début IV<sup>e</sup> siècle



A Athènes, **Platon** se passionne à la physique en âge avancé. Il pose ce problème aux mathématiciens :

... quels sont les mouvements (**circulaires et uniformes**) qu'il convient de prendre pour hypothèse afin de **sauver les apparences** que les astres errants\*\* nous présentent ?

\*\* la Lune

le Soleil

Mercure

Venus

Mars

Jupiter

Saturne

Les **étoiles** sont dites "**fixes**", parce qu'on les pense fixées à une sphère externe aux autres (d'où le nom "firmament").

# Aristote (384-322 av. J.-C.)



**Eudoxe de Cnide** propose un système de **27 sphères** emboîtées, avec le même centre, mais des axes et des vitesses de rotation différents.

Callippe parfait ce système en y ajoutant 7 sphères.

---

Enfin, **Aristote le "classificateur"** s'attelle à une théorie du monde qui explique ... tout.

Il s'empare des idées courantes sur la matière, les phénomènes naturels et le cosmos, et construit **un système unitaire**, pas forcément vrai mais bien ficelé, et garanti par une logique imparable.

**Personne ne saura changer ce système sans le reformuler totalement, avant le XVII<sup>e</sup> siècle.**

# Le Cosmos d'Aristote - 1



L'univers est clos, et relativement petit.

Le domaine céleste compris entre la sphère des fixes et celle de la Lune est composé d'un cinquième élément, l'éther.

Dans ce domaine, les mouvements "naturels" sont circulaires et uniformes;

les corps incorruptibles qu'y sont logés, les étoiles et les planètes, ne peuvent que tourner éternellement autour du centre de l'univers.

Les orbes emboîtés ont une réalité physique concrète.

Le nombre de sphères homocentriques passe à 55 (pour désaccoupler les mouvements).

# Le Cosmos d'Aristote - 2

La sphère la plus externe est entraînée par un "moteur premier" (**Dieu!** dira l'Église), et entraîne les autres dans sa rotation diurne de 24 heures.

\*\*\*

La **Terre et la région sub-lunaire** sont composées des 4 éléments d'Empédocle : terre, eau, air, feu.

C'est **le domaine** de la génération et **de la corruption**, de l'impur et de la pesanteur; bref, du **changement**.



# La physique d'Aristote

Quelques propositions:

- Le vide n'existe pas
- La Terre et la région sub-lunaire sont composées des 4 éléments d'Empédocle. Les mouvements "naturels" de ces éléments sont
  - vers le haut l'air et le feu
  - vers le bas la terre et l'eau.
- Les corps plus lourds tombent plus vite que les corps légers.
- Tout autre mouvement implique une force appliquée - La vitesse est proportionnelle à la force (et sans force, pas de vitesse).

→ Église → Galilée !

# L'hellénisme (III<sup>e</sup>-II<sup>e</sup> s. av. J.-C.)

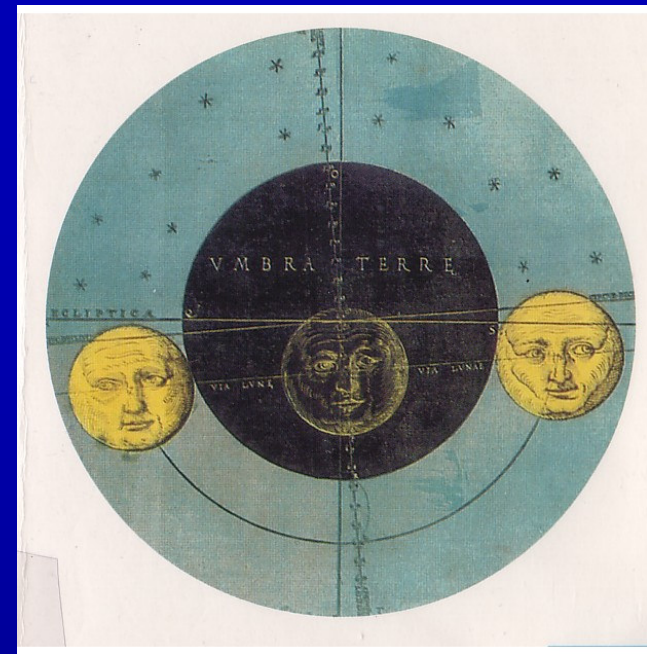
À l'époque hellénistique - III<sup>e</sup> et II<sup>e</sup> siècle av. J.-C. - dans les grands royaumes issus de l'empire d'Alexandre le Grand :

- la science se sépare de la philosophie
- on jette Aristote aux orties
- la science explose...

Aristarque, Euclide, Archimède, Séleucos, Ératosthène, Apollonios, ...

font des grandes découvertes mathématiques :

- l'héliocentrisme,
- les dimensions de la Terre et de la Lune,
- la distance Terre-Lune, et Terre-Soleil
- la précession des équinoxes,
- l'idée de gravité,
- la théorie des marées



Mesure du diamètre de la Lune

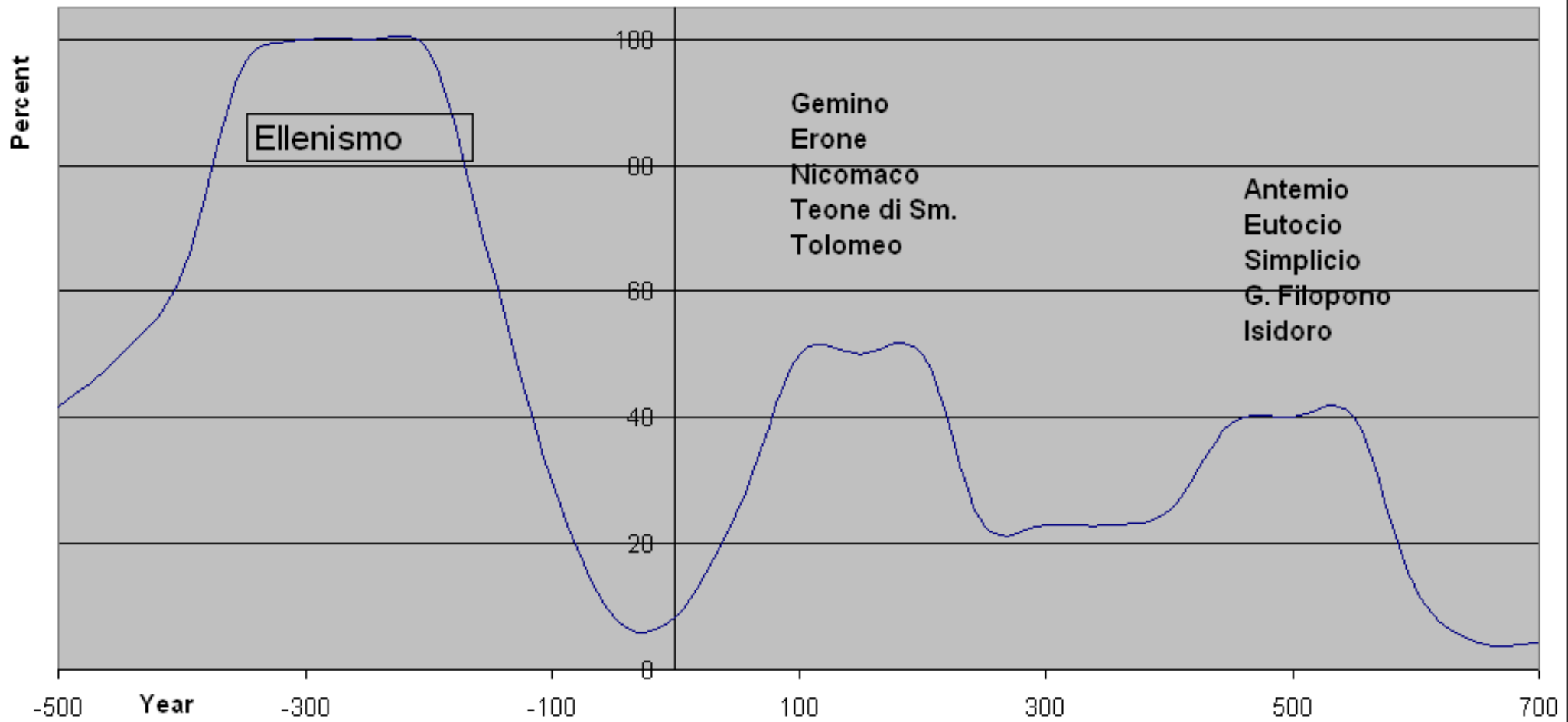
# Premiers siècles de notre ère ... tout se perd



Avec la fin de l'hellénisme et des grands royaumes, bien de découvertes sont oubliées, les livres perdus. (La **Rome impériale** ne s'intéresse point à la **science**).

**Aristote** revient à la mode; il fournira aux théologiens, aussi bien chrétiens que islamiques, la cosmologie et la physique dont ils ont besoin pour leur doctrine.

→ Seul **Claude Ptolémée**, au II siècle de notre ère, recueille ce qui reste des anciennes théories.



L'Hellénisme et la science  
(échelle arbitraire de 0 a 100)

# Claude Ptolémée (v. 100-v. 170)

Ptolémée d'Alexandrie, collecte une partie des connaissances hellénistiques dans des oeuvres encyclopédiques:

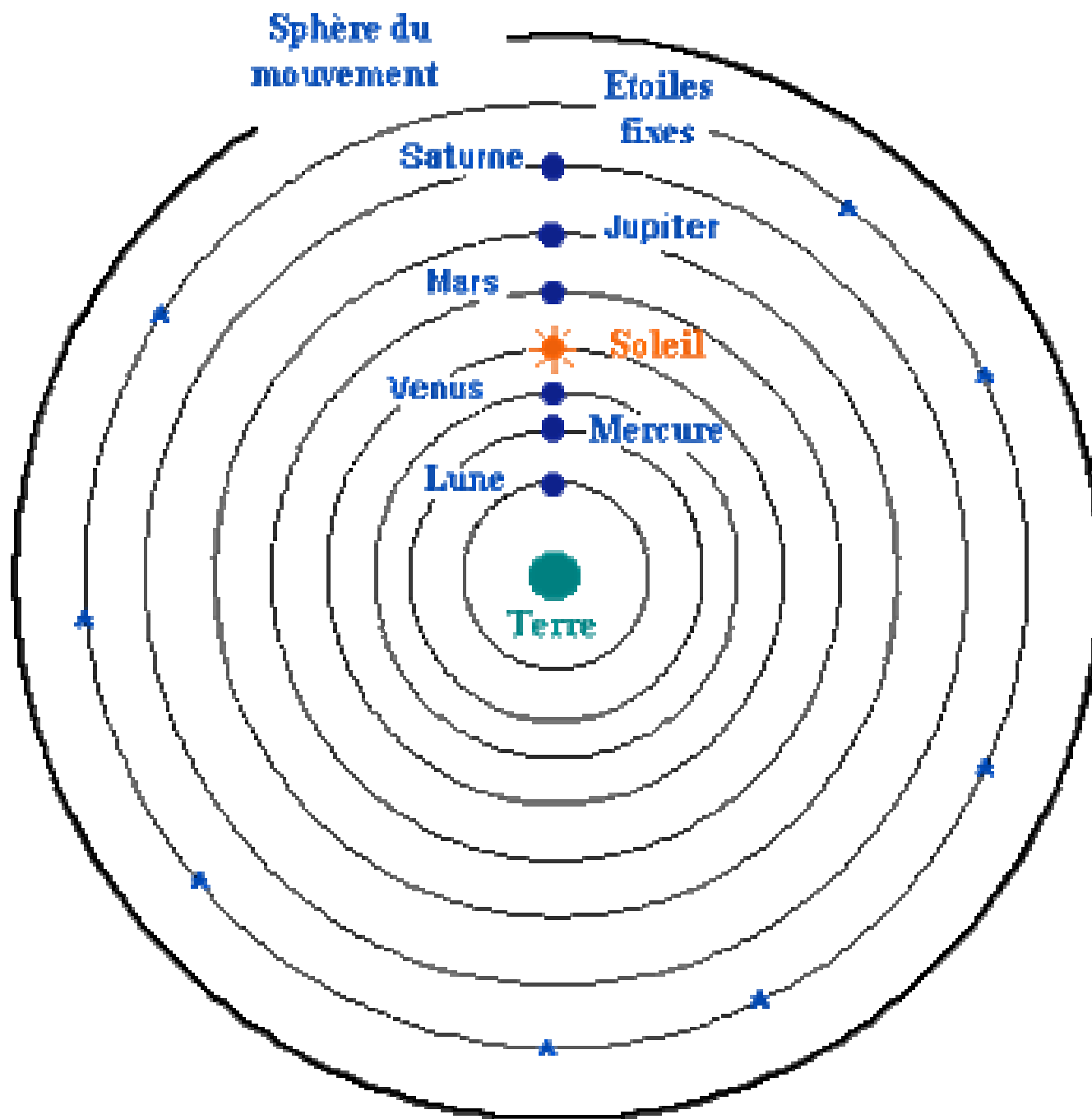
L'Almageste (astronomie)

La Géographie

L'Optique

Dans l'Almageste on retrouve le système de sphères d'Eudoxe, transformé par Apollonios et Hipparque en un système de cercles sur un plan.

Pour la physique, Ptolémée ne perds pas de temps : il reprend telle quelle celle d'Aristote.



*le Système géocentrique*

La Terre est au centre, immobile.

Autour d'elle:

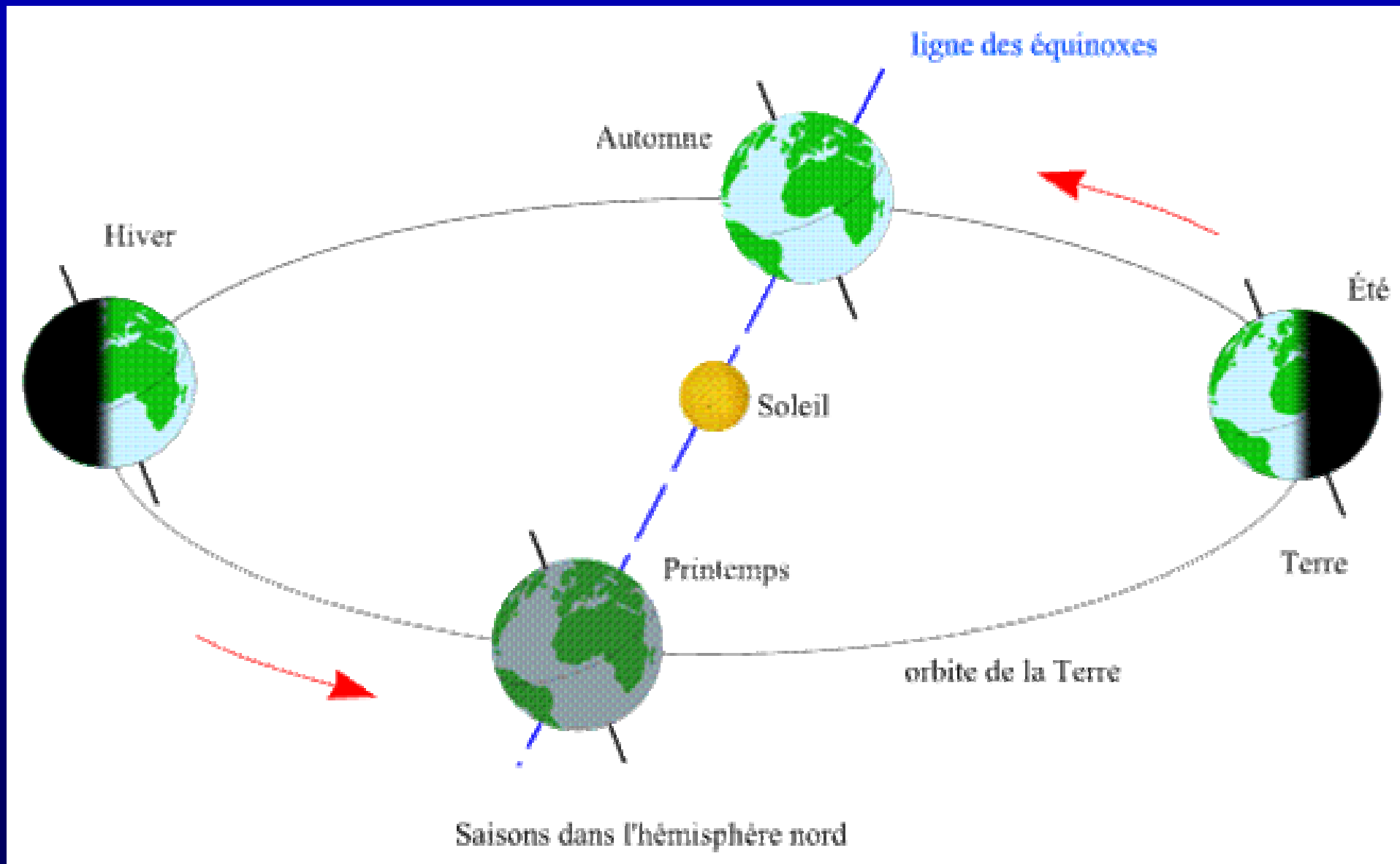
La Lune tourne en un mois;

Mercure, Vénus et le Soleil en un an;

Mars, en deux ans;  
Jupiter, en douze;  
Saturne, en trente;

les étoiles fixes font leur révolution en env. 24h

# Les quatre saisons

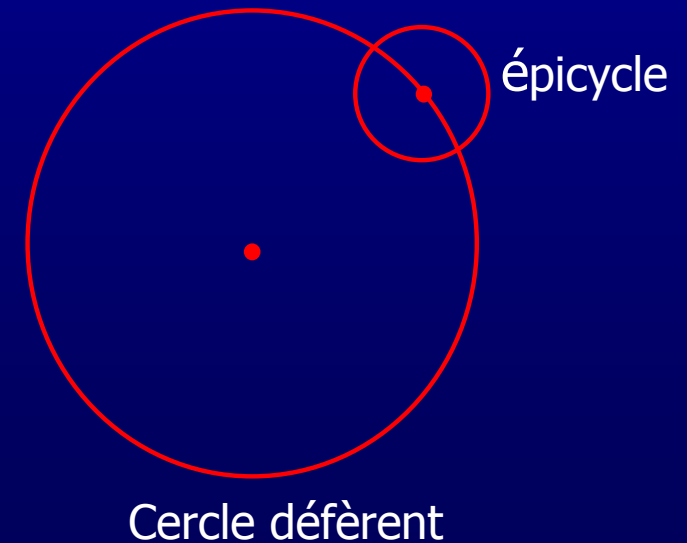
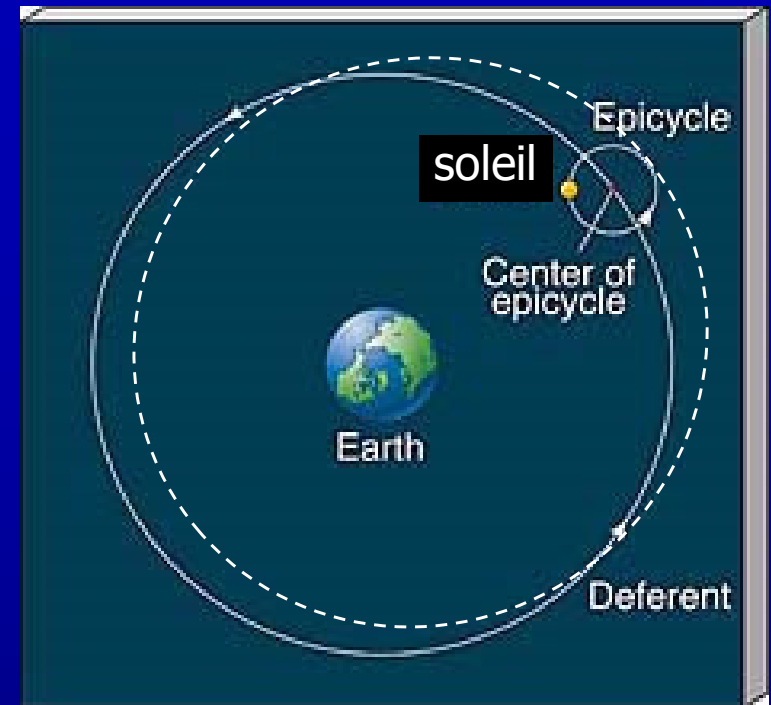


# 1 - Orbites allongées

Les saisons (qui séparent les solstices et les équinoxes) n'ont pas la même durée:

Printemps	94 ½ jours
Été	92 ½ jours
Automne	88 1/8 jours
Hiver	90 1/8 jours

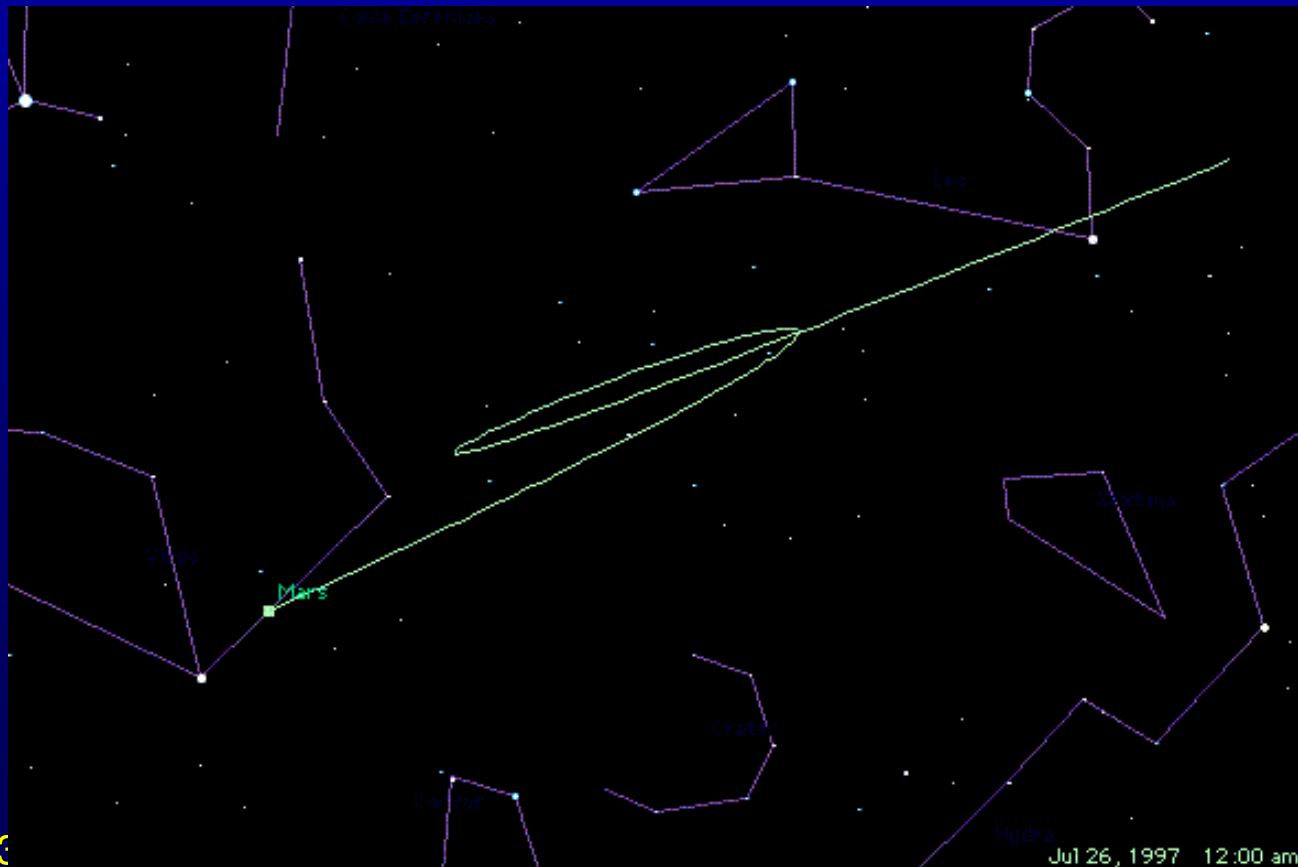
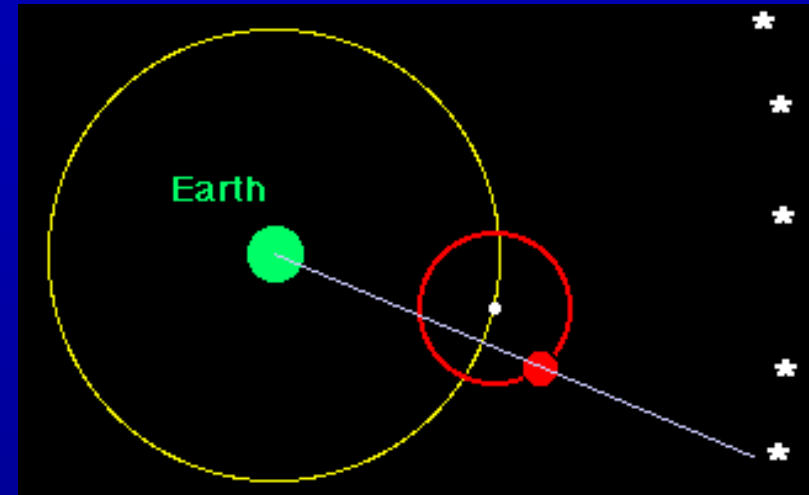
Donc... l'orbite du Soleil autour de la Terre n'est pas parfaitement ronde.





# 2 - Stations et rétro-gradations Selon Ptolémée

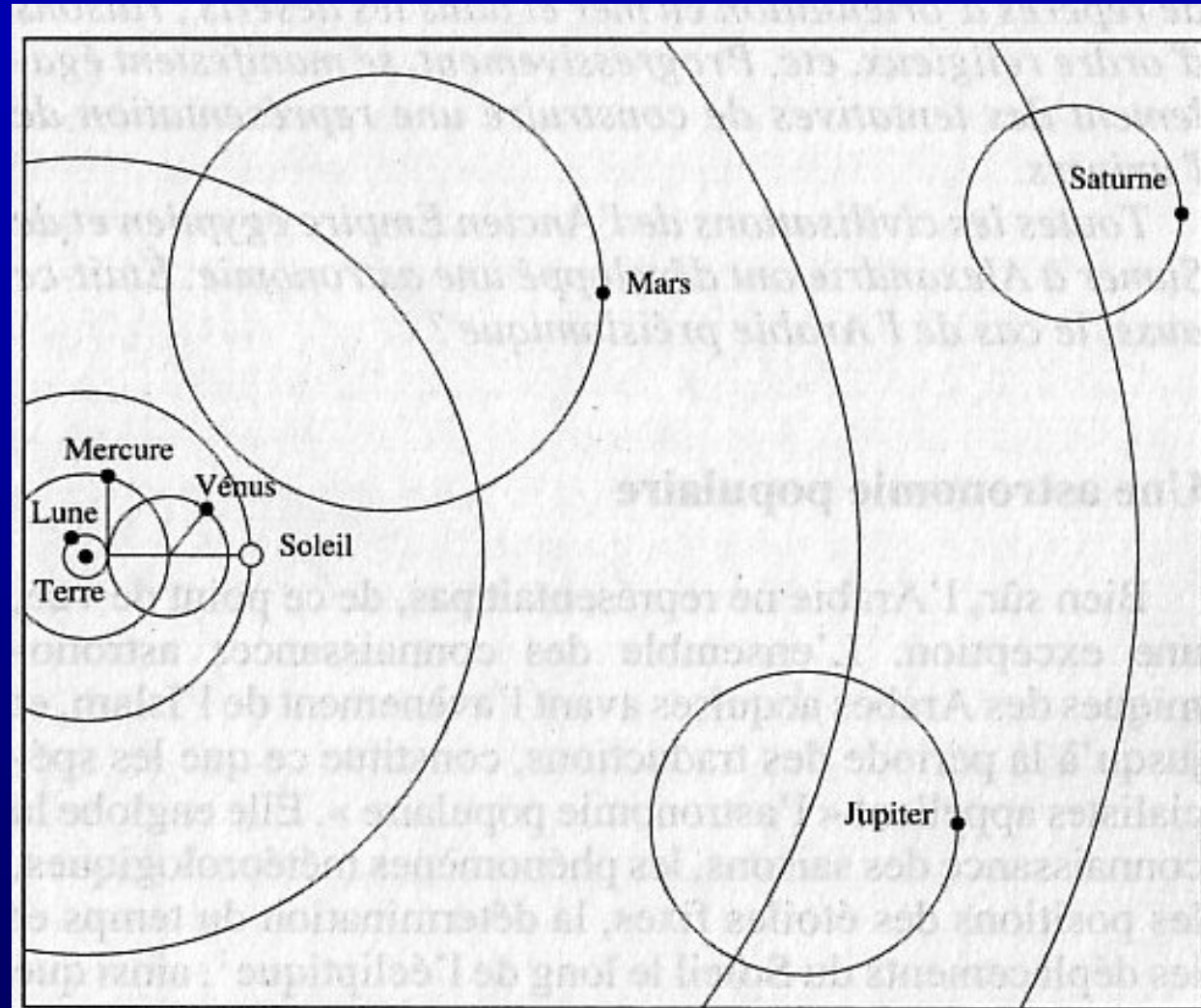
La planète Mars par rapport aux « fixes »



# Déférents et Épicycles

Pour limiter le nombre de sphères, Ptolémée utilise pour chaque astre un petit cercle, "épicycle", porté par un cercle principal, le "déférént".

Au besoin, on utilise des petites tricheries, en déplaçant un peu les centres ou en modulant les vitesses de rotation.

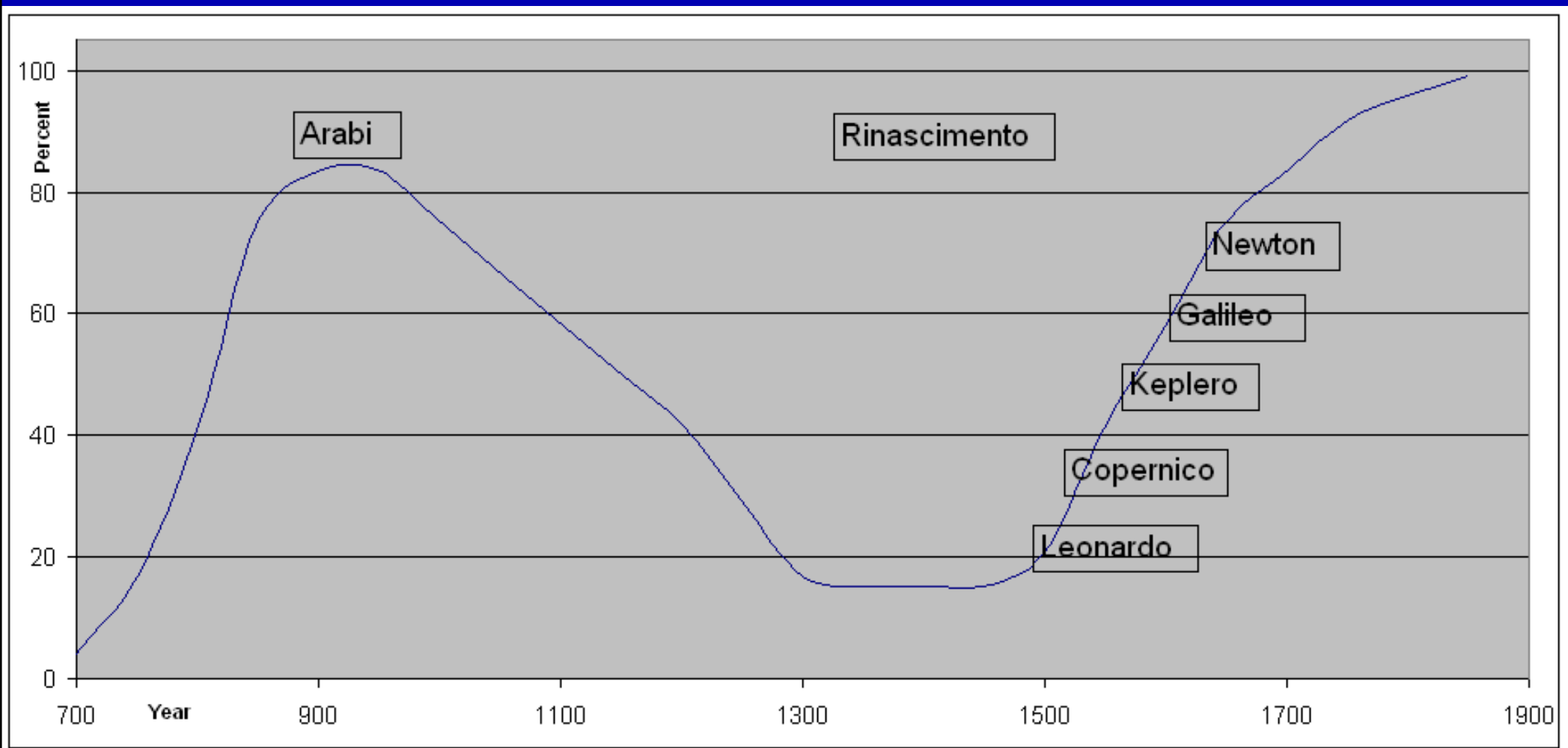


Terra et coelum

# L` héritage

L'héritage scientifique transmis au Moyen Âge\* consiste de :

1. La physique et la cosmologie d'Aristote
2. L'astronomie et la géographie de Ptolémée
3. La médecine d'Hippocrate et Galien
4. Une idée curieuse: ce n'est pas aux astronomes de définir la structure du monde; la cosmologie revient aux **philosophes**.



## Les Arabes et la reprise en Europe

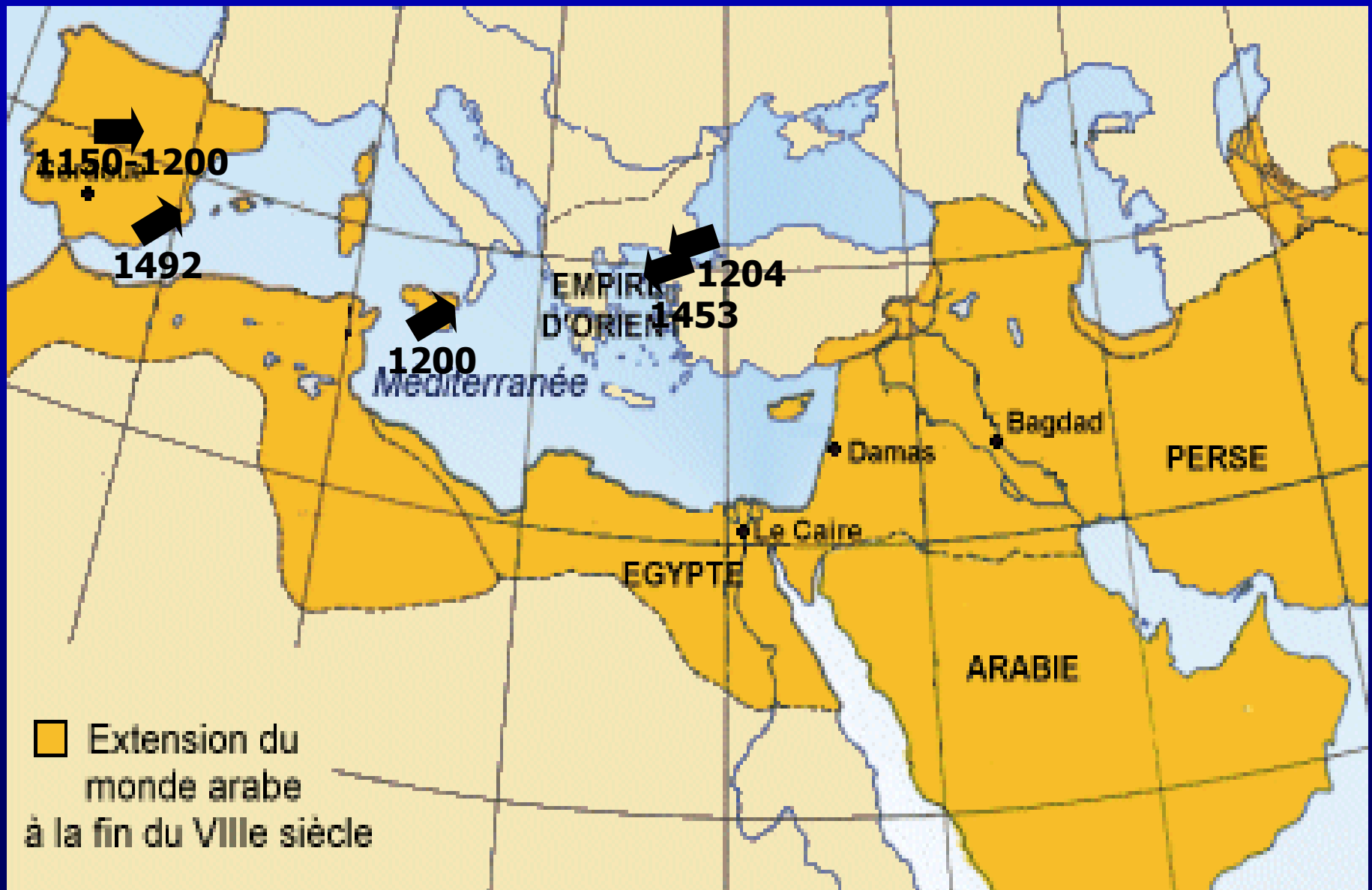
# Quatorze siècles de géocentrisme :

A partir de modèles et des paramètres de Ptolémée , au besoin légèrement modifiés, les astronomes ( d'abord arabes ) dressent les tables du mouvement des planètes, du Soleil et de la Lune, pendant 1400 ans. ←

Entre 1200 et 1500 des œuvres scientifiques arabes et hellénistiques commencent à parvenir en Occident.

A l'époque de Copernic il n'y avait plus une astronomie de Ptolémée: comme pour les recettes de cuisine, il y en avait autant qu'il y avait de rédacteurs de tables astronomiques.

# Passage des textes en Occident



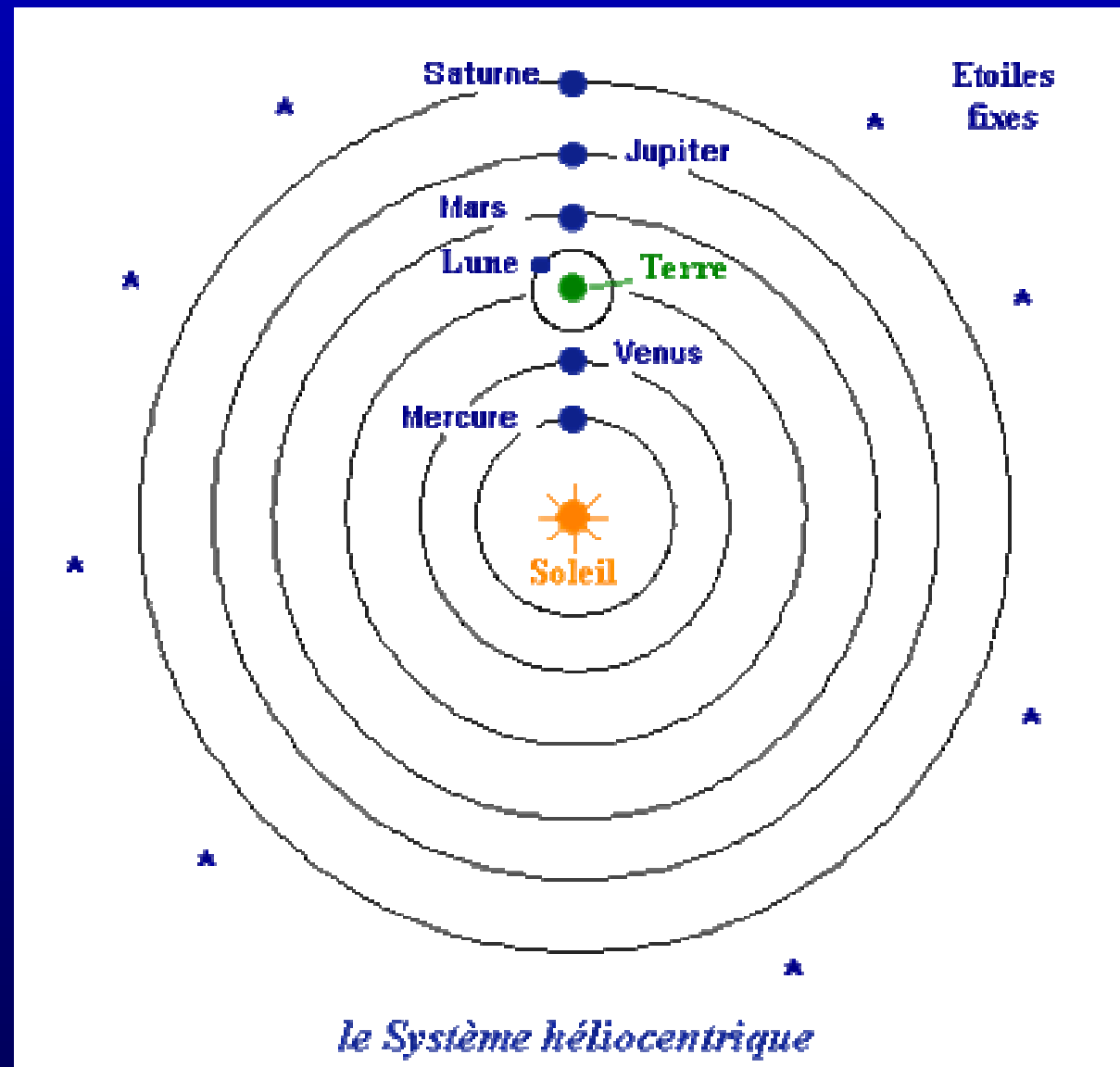
# Revenons à Copernic - Les qualités de son œuvre

+

- Première tentative depuis 1400 ans de comprendre les mouvements célestes par des **procédés mathématiques** et de reconstruire les tables de Ptolémée.
- Le **nouvel ordre des planètes** s'accorde avec leurs périodes de révolution (ci dessous).
- Le modèle implique une très grande distance des étoiles fixes (absence de **parallaxe**).

# Position des planètes et périodes de révolution

Mercure	88 jours
Vénus	240 jours
Terre	365 1/4 jours
Mars	2 ans
Jupiter	12 ans
Saturne	30 ans





# Les défauts de l'œuvre de Copernic

- À part des considérations mystiques, Copernic ne peut pas prouver que la Terre tourne.
- Il est obligé de garder les sphères matérielles, et les déférents et épicycles de Ptolémée.
- Le schéma n'est point plus simple, ni les prévisions plus précises, que dans le système de Ptolémée.
- Et quelques autres encore...

# Un astronome habile calculateur



Le système de Copernic aurait bien pu être oublié, sans l'utilisation qu'en fit E. Reinhold en 1551, sur mandat du Duc de Brandenburg.

Au prix de beaucoup de patience et d'habileté, il arriva à produire des **tables astronomiques** (dites "*Pruténiques*", de Prusse), qui remplacèrent les tables Alphonsines utilisées depuis le XIIIe siècle.

# Astronomie d'observation

Pour progresser, l'astronomie  
en Europe a besoin d'observations

# Tycho Brahe (1546-1601) ...un seigneur danois



Son père était gouverneur d'un château en face de celui d'Hamlet, Elseneur. Il est élevé par son oncle, amiral et ami du roi.

A 7 ans il connaît le latin; à 13 ans il rentre à l'université de Copenhague. A 17 ans, il part à l'université de Leipzig avec un jeune précepteur chargé de l'éloigner de l'astronomie.

Il achète néanmoins des petits instruments portatifs, et tous les textes d'astronomie qu'il peut trouver.

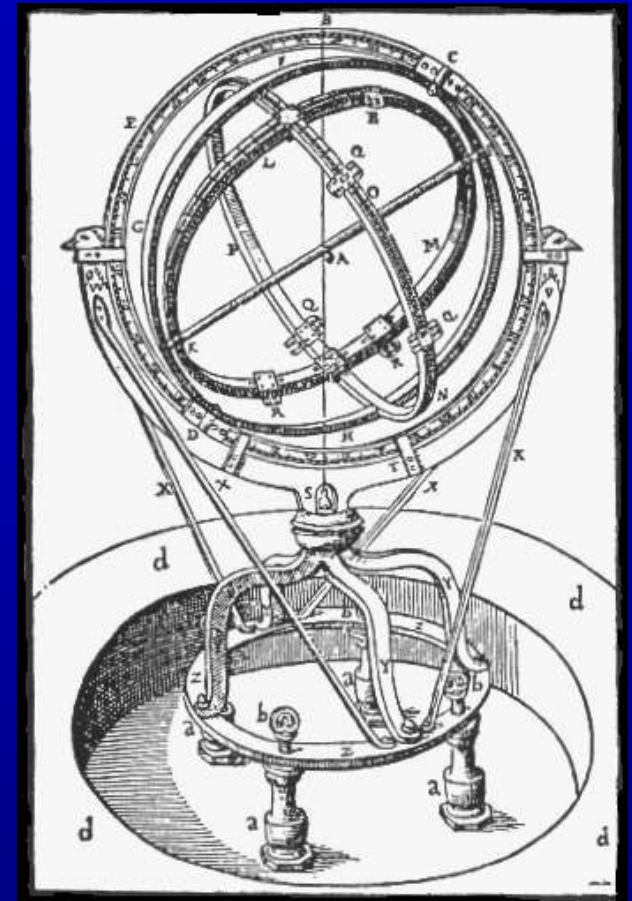
# Tycho Brahe

Il parcourt l'Europe et rencontre les meilleurs astronomes de l'époque.

Il commence à construire ses propres instruments, impressionnants par leur taille et précision (il a 19 ans).

➔ Il publie *De stella nova* (la nouvelle étoile), pour décrire l'évolution de la **supernova** de 1572.

En 1576 le roi Frédéric II lui propose l'usufruit d'une île entière, Hveen, pour s'y installer et faire ses recherches.



## Uraniborg - le premier observatoire européen



Tycho fait construire un château - observatoire, avec imprimerie, papeterie, des ateliers pour les instruments, et même une prison souterraine pour les fermiers récalcitrants.

# Tycho et les comètes

Entre 1577 et 1590 il vérifie que les orbites de quelques comètes les amènent **très, très loin** de la Terre.

Du coup, **les sphères célestes corporelles** n'existent pas, et l'univers acquiert des dimensions jusqu'alors insoupçonnées. Ses mesures sont incontestables.

C'est la première fois, depuis le II<sup>e</sup> siècle av. J.-C., qu'un astronome reprend le flambeau de la cosmologie aux philosophes.



Sketches made by Tycho Brahe in 1577 during the observation of the first comet he ever saw. Kept at the Royal Library in Copenhagen.

# Vers Prague

En 1588 Tycho doit quitter son île, avec une caravane de 20 hommes, transportant tout son équipement.

Il se rend à Prague, où l'empereur Rodolphe II lui laisse choisir un château (Benatek).

En 1600 il reçoit **Kepler**; l'année suivante, il meurt en laissant le soin d'élaborer ses données au jeune Kepler.





# L'homme au nez d'argent

Les mesures de Brahe ont une précision de  $2'$  - c'est le maximum atteignable sans instruments optiques.

La foi inébranlable de Kepler dans ces mesures le poussera à refaire ses calculs jusqu'à 70 fois, pour trouver un accord entre les orbites planétaires qu'il veut construire et les données consignées pendant 30 ans par son prédécesseur.



# → Kepler et Galilée