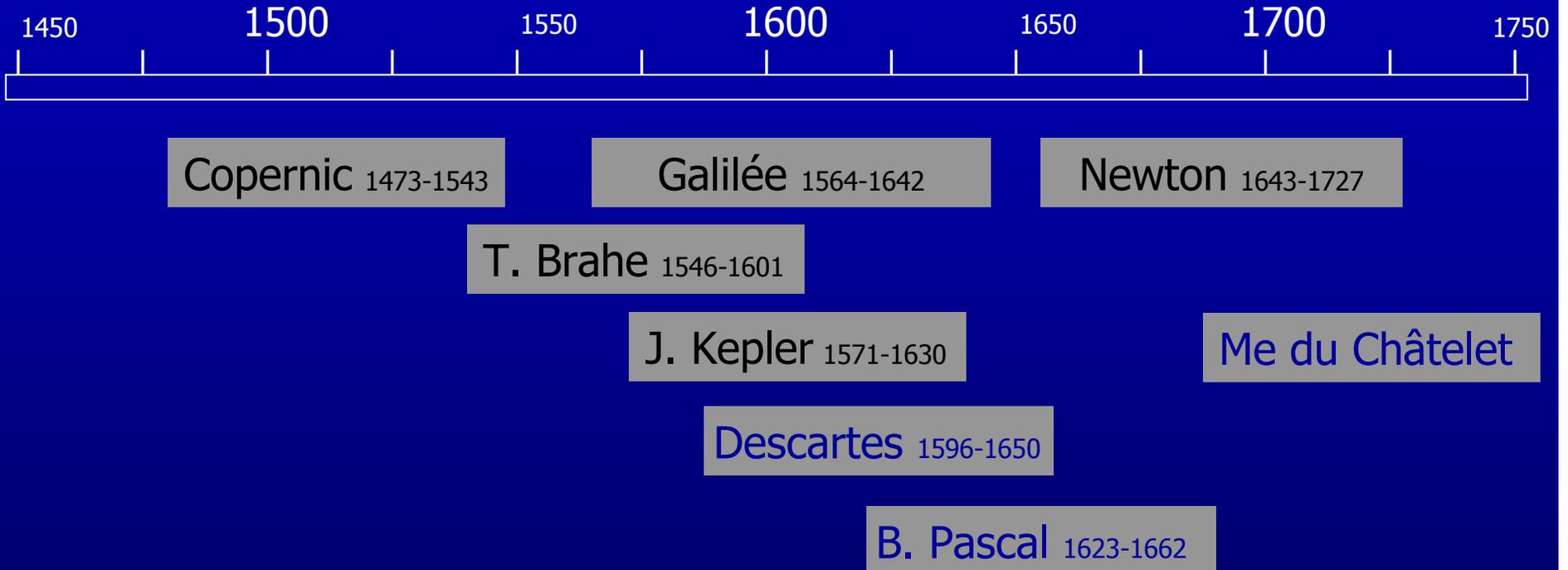
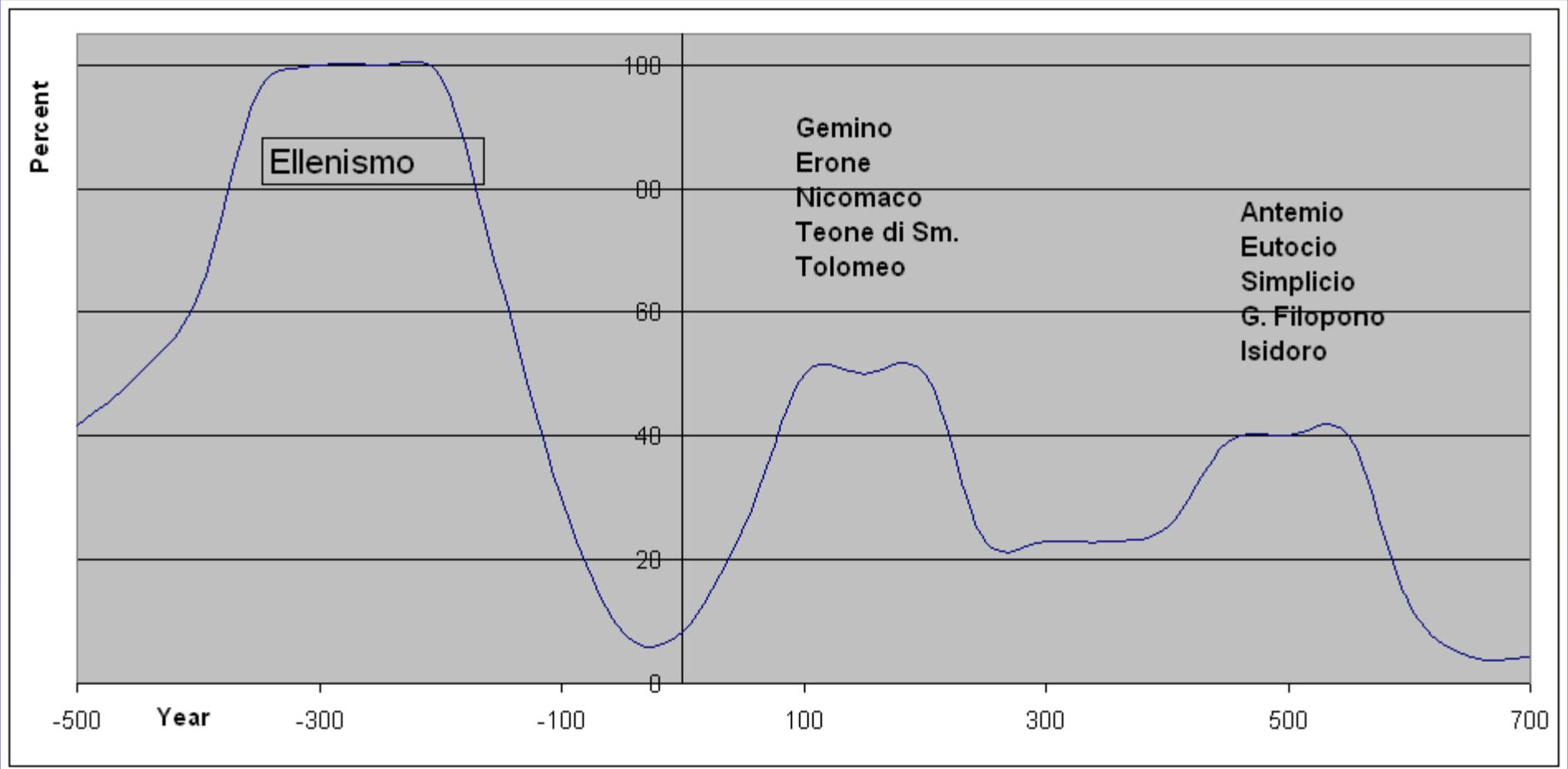
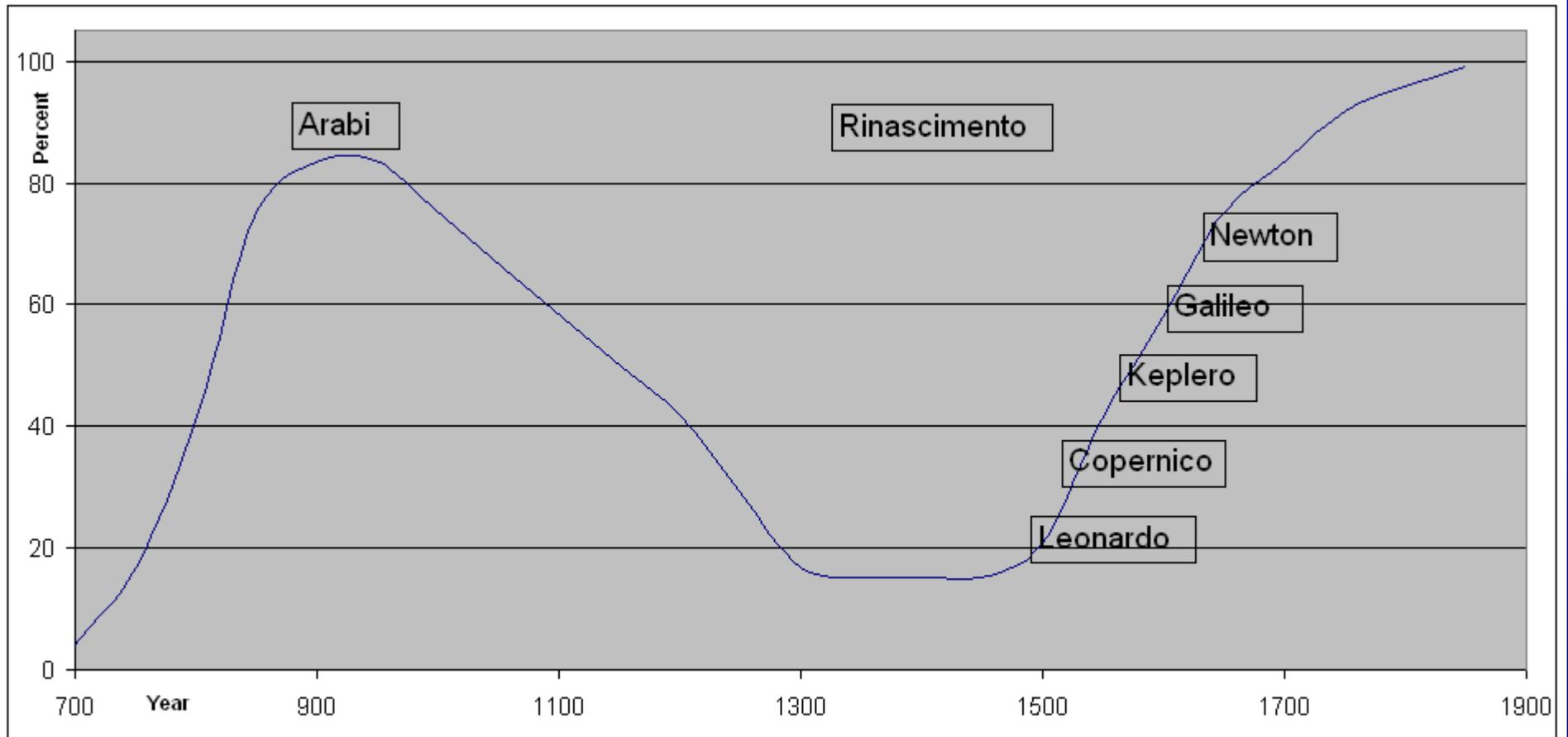


Les pères de l'astronomie moderne





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



Les Arabes et la reprise en Europe

Dans l'ancienne Egypte

Selon les anciens Egyptiens, le ciel (Nut) était une déesse qui se tenait suspendue sur la terre (Geb), qui elle était masculine.

Chaque jour, Nut accouchait de Râ (le Soleil) vers l'orient, et ensuite le dévorait à l'Occident.



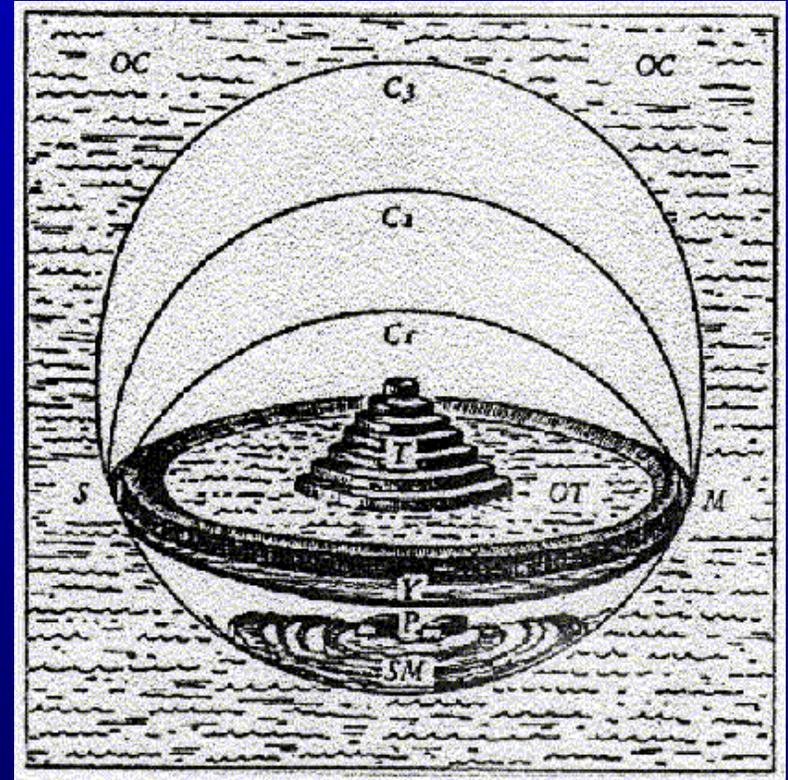
En Mésopotamie

Du poème Enuma Elish : "quand en haut le Ciel n'avait pas de nom, quand en bas la Terre n'avait pas de nom..."

La Terre est plate, parce qu'elle est vue comme ça par l'oeil humain.

En dessous, il y a le Royaume des Morts; en dessus, le firmament.

Le ciel paraît bleu parce qu'il est surmonté par un immense océan, celui qui en s'abattant sur la Terre provoque le Déluge.



Biblique

La cosmologie biblique est très influencée par celle de Mésopotamie - les juifs ont été déportés à Babylone pendant cinquante ans.

" Dieu fit le firmament et sépara les eaux, qui sont sous le firmament, des eaux qui sont sur le firmament.

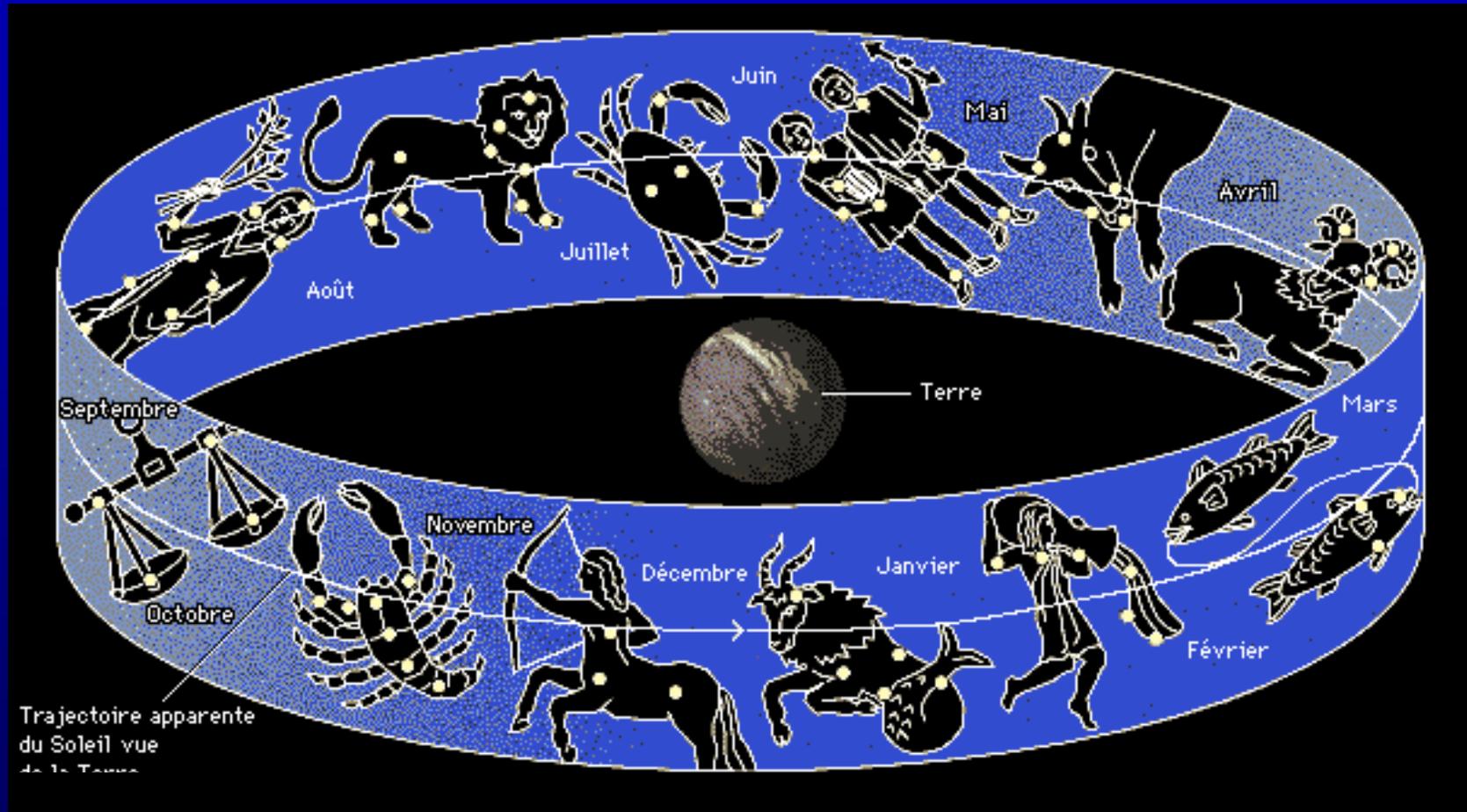
Et ainsi fut, et Dieu appela le firmament « ciel » . Et il fut soir et il fut matin : deuxième jour " (Genèse 1, 8)

astronomie d'observation

Un ciel qui tourne



Constellations du zodiaque



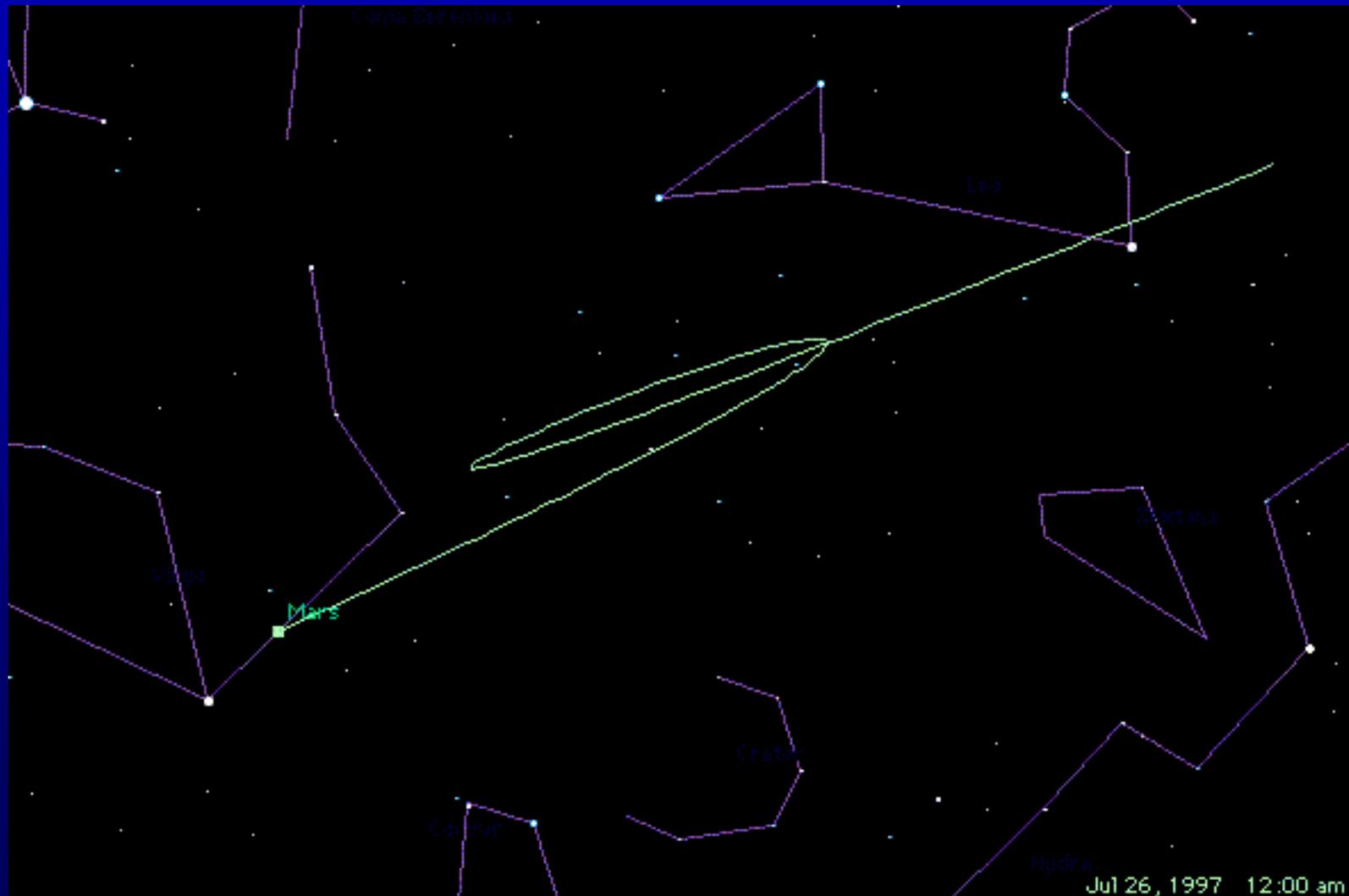
À la recherche d'explications rationnelles : Le miracle grec



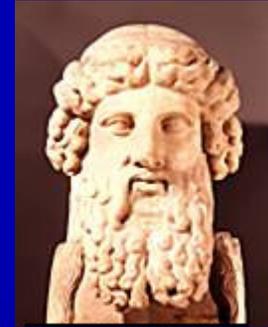
Les philosophes naturalistes du **VI-IV^e** siècle av. J.-C. ont des **grandes intuitions**:

- La Terre, la Lune et le Soleil ont une forme sphérique, et sont suspendus dans l'espace.
- la Terre tourne sur elle même en 24 h;
- la Lune reçoit sa lumière du Soleil;
- la matière est constituée d'atomes indivisibles et indestructibles;
- tant qu'ils tournent, les astres restent en l'air; etc.

La planète Mars par rapport aux « fixes »



Platon (v. 428-347 av. J.-C.)



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 le 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 et le cosmos, et construit un système unitaire, faux, mais complet et blindé par une logique imparable.

Personne ne saura changer ce système sans le refaire totalement, avant le XVII^e siècle.



Le Cosmos d'Aristote



Entre la sphère de la Lune et celle des étoiles, un cinquième élément, l'éther, incorruptible, n'admet que des mouvements circulaires uniformes éternels.

Les orbes emboîtés ont une réalité physique concrète. Leur nombre passe à 55.

C'est un univers clos, petit, où rien ne peut changer; on ne remarquera plus les comètes, les nouvelles étoiles, ni même les taches solaires.

La physique d'Aristote

Quelques propositions:

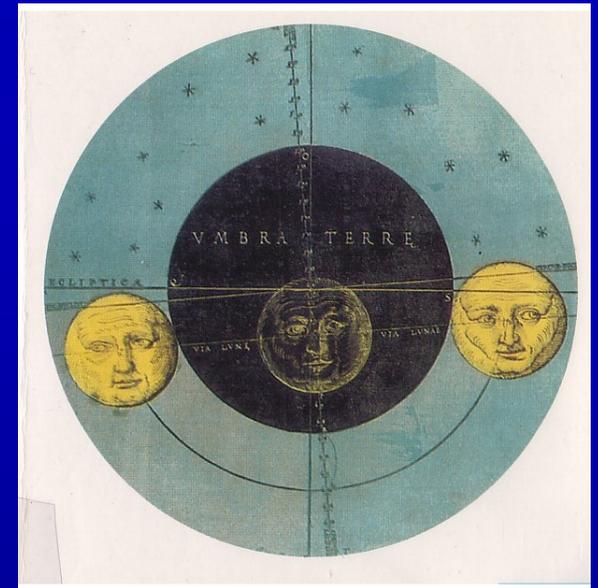
- Le vide n'existe pas
- Le seul mouvement 'naturel' sur Terre est rectiligne, vers le haut pour les corps légers, comme l'air et le feu, vers le bas pour les corps lourds, comme la terre et l'eau.
- Les corps plus lourds tombent plus vite que les corps légers.
- Tout autre mouvement implique une force appliquée - La vitesse est proportionnelle à la force (sans force, pas de vitesse).

L'hellénisme

Les scientifiques du III^e et II^e siècle av. J.-C.
Aristarque, Euclide, Hipparque, Archimède,
Séleucos, Eratosthène, Apollonios

jettent Aristote aux oubliettes, et continuent
leurs découvertes (**mathématiques**):

- l'héliocentrisme,
- Les dimensions de la Terre et de la Lune,
- la distance Terre-Lune,
- 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.

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

Aristote revient à la mode, en fournissant aux théologiens, aussi bien chrétiens qu'islamiques, la cosmologie et la physique dont ils ont besoin pour leur doctrine.

Les états hellénistiques en 303 av. J.-C.

Babylone.

Le traité de 311 ramena une paix précaire :
Antigone garda l'Asie ; Lysimaque, la
Thrace ; Ptolémée, l'Égypte et
Chypre ; Cassandre devint régent



combat et les utilisa avec
beaucoup de succès à la
bataille d'Ipsos en 301.



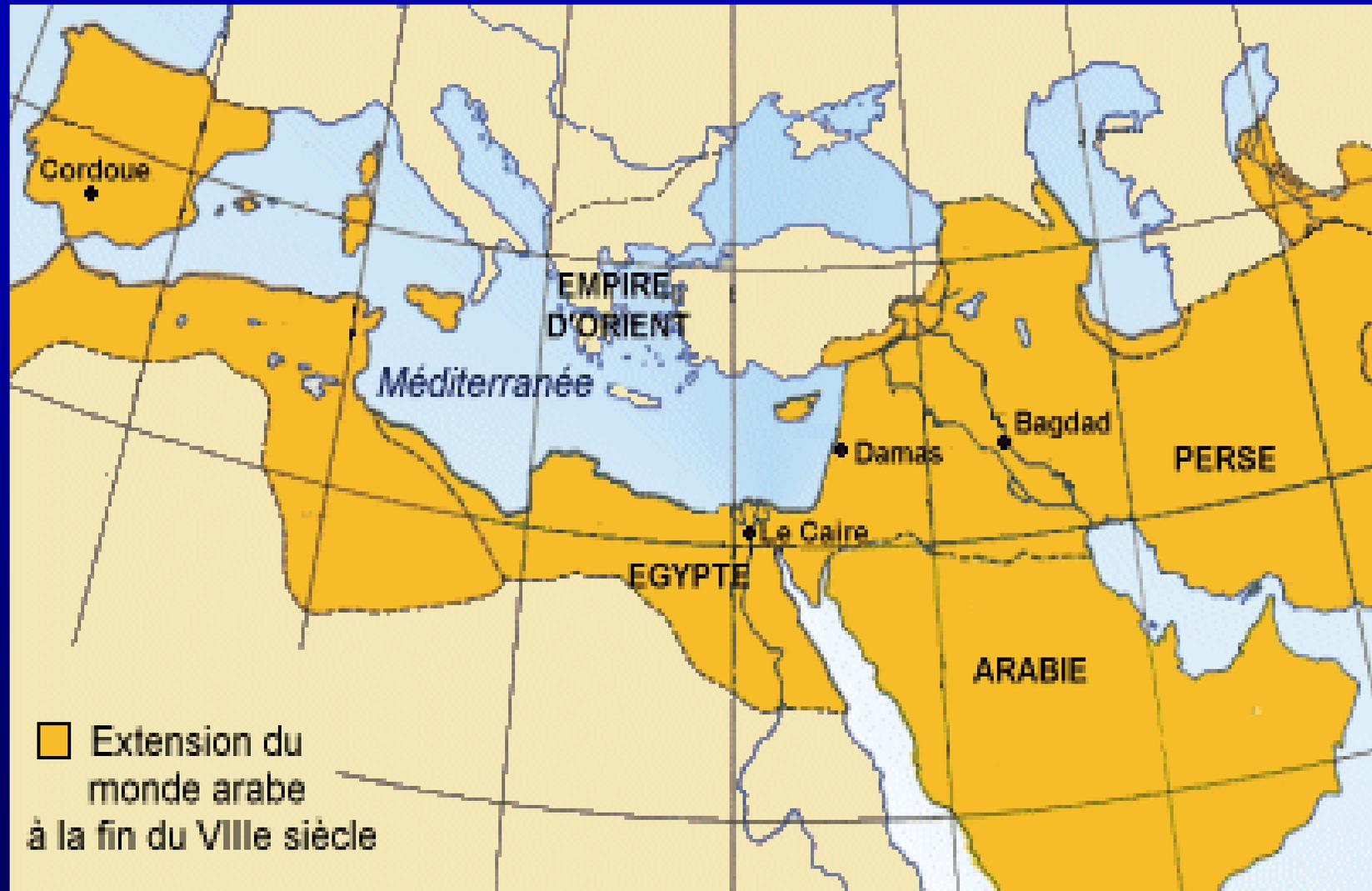
ent vaincu à Dasteira par
 et la Syrie en provinces
 rnières devaient former
 tres bénéficiaires du

cedèrent en Égypte
 Alexandrie offrent la
 découvrit alors un

ote
 in



L'empire Arabe au VIIIe siècle



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. Une idée curieuse: ce n'est pas aux astronomes de définir la structure du monde - la cosmologie revient aux philosophes.

La physique d'Aristote

Quelques propositions:

- Le vide n'existe pas
- Le seul mouvement 'naturel' sur Terre est rectiligne, vers le haut pour les corps légers, comme l'air et le feu, vers le bas pour les corps lourds, comme 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 (sans force, pas de vitesse).

Claude Ptolémée (v. 100-v. 170)

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

L'Almageste (astronomie)

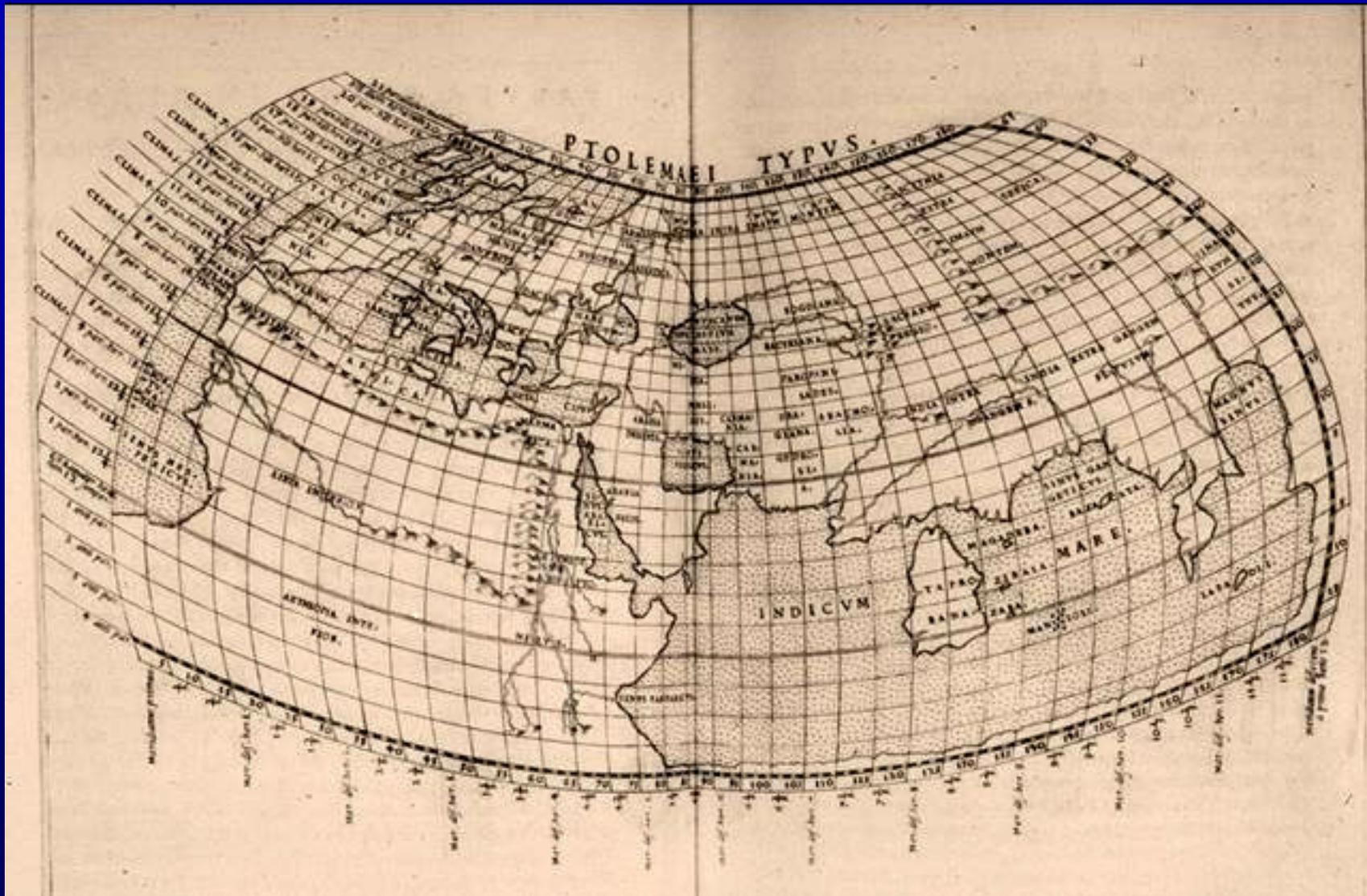
La Géographie

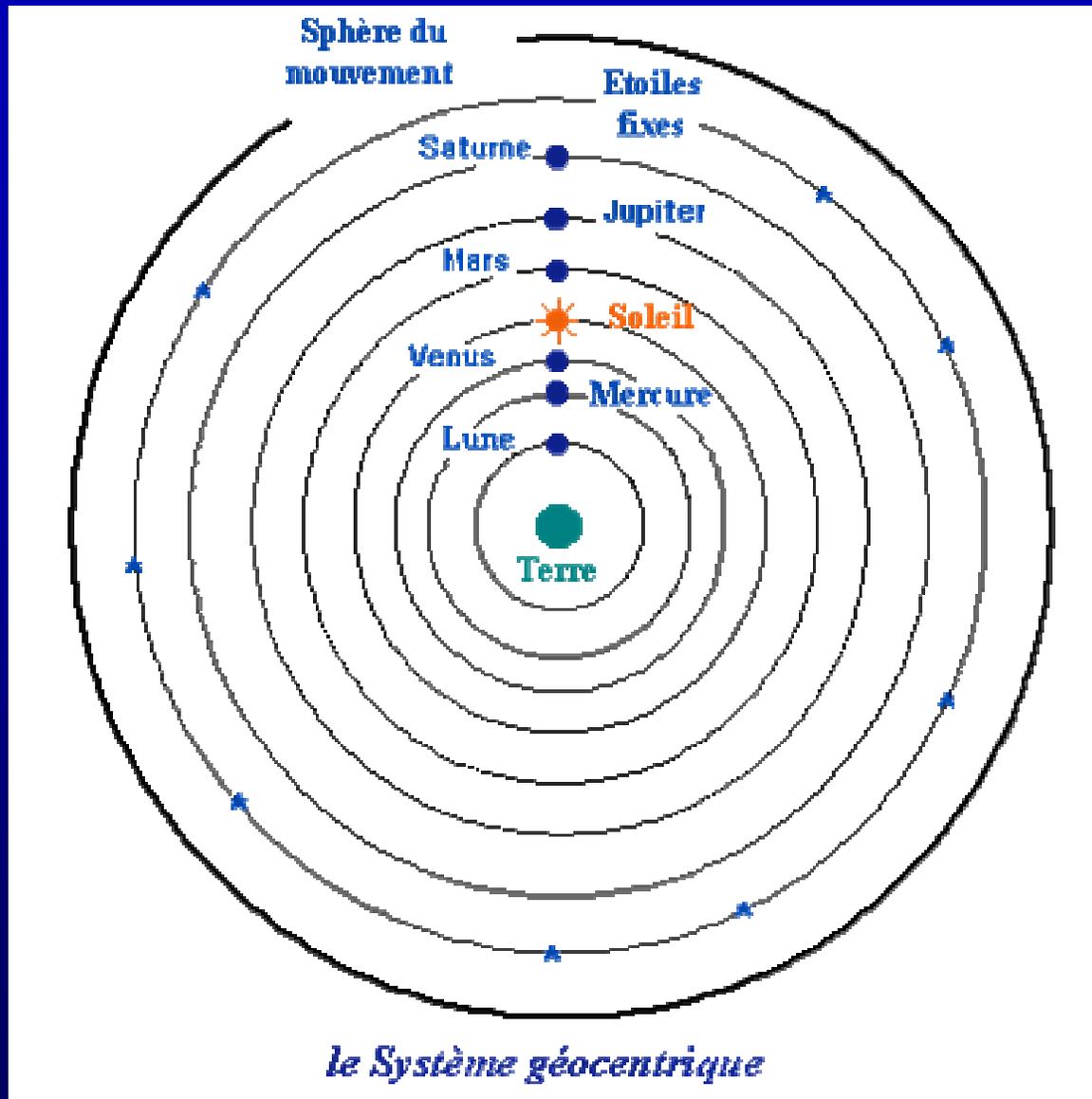
L'Optique

Dans l'Almageste on retrouve le système de sphères d'Eudoxe, remanié par Apollonios et Hipparque.

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

Ptolémée (100 - 170)





La Terre est au centre, immobile.

Autour d'elle:

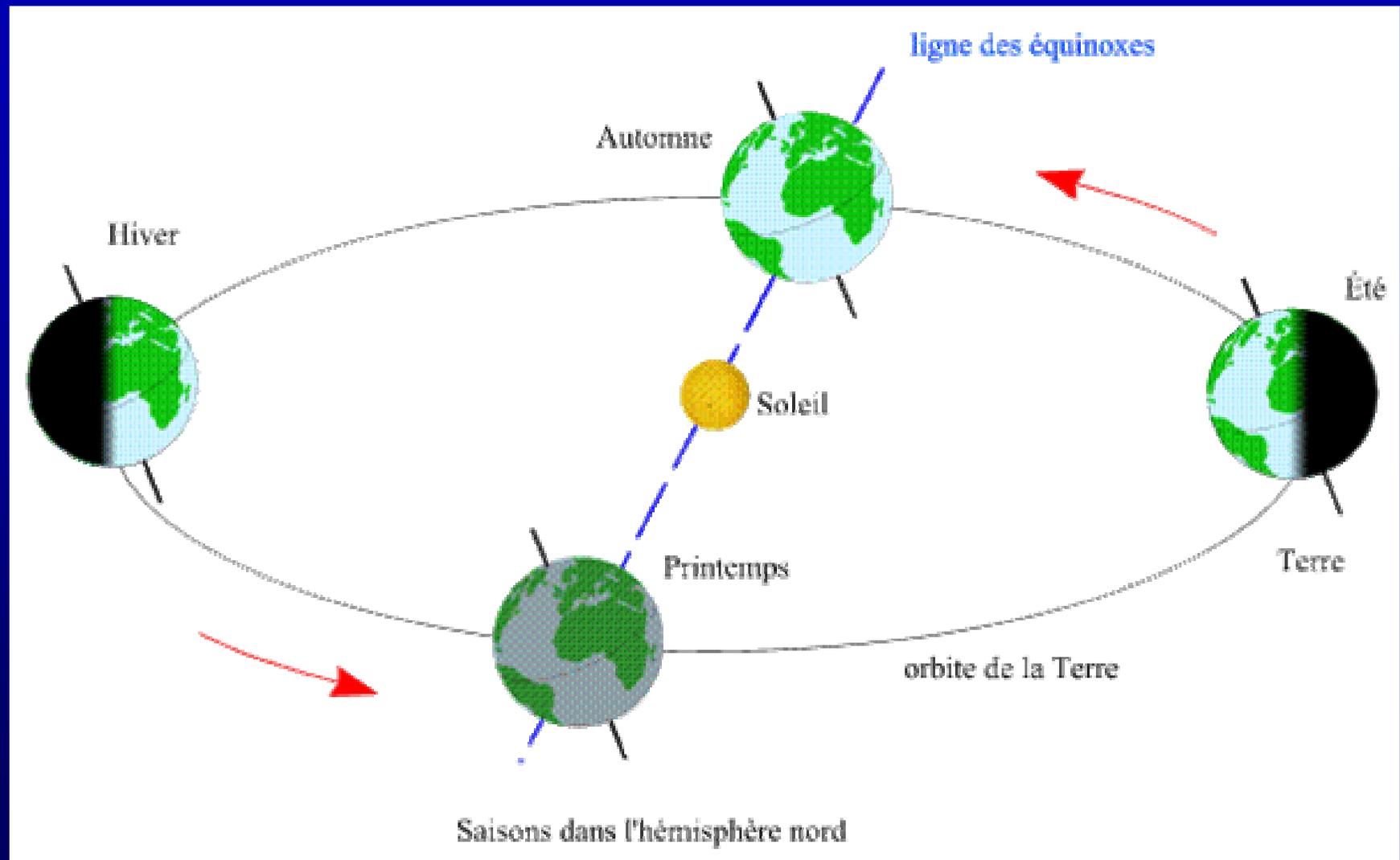
La Lune tourne en un mois;

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

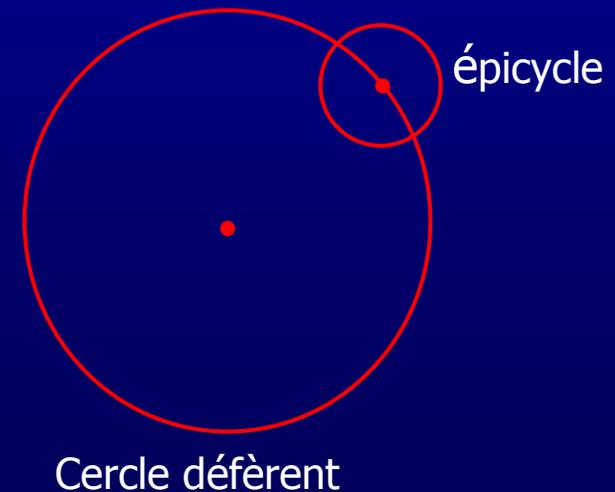
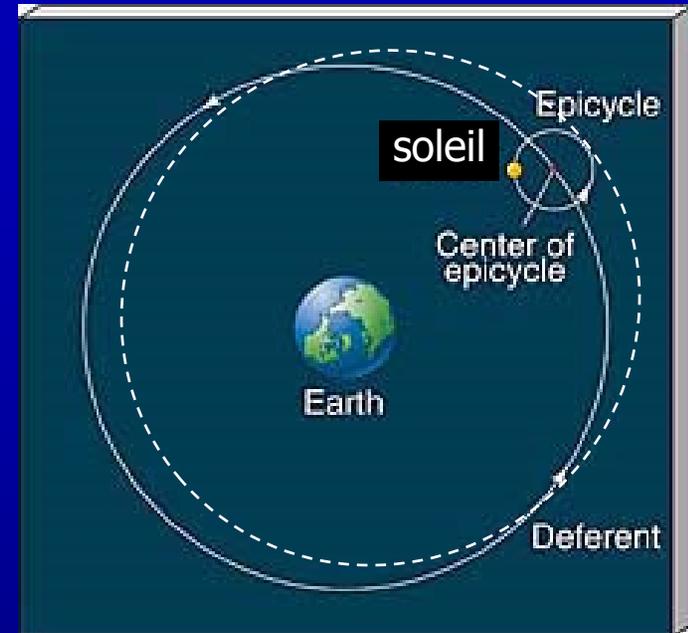


1 - Orbites allongées

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

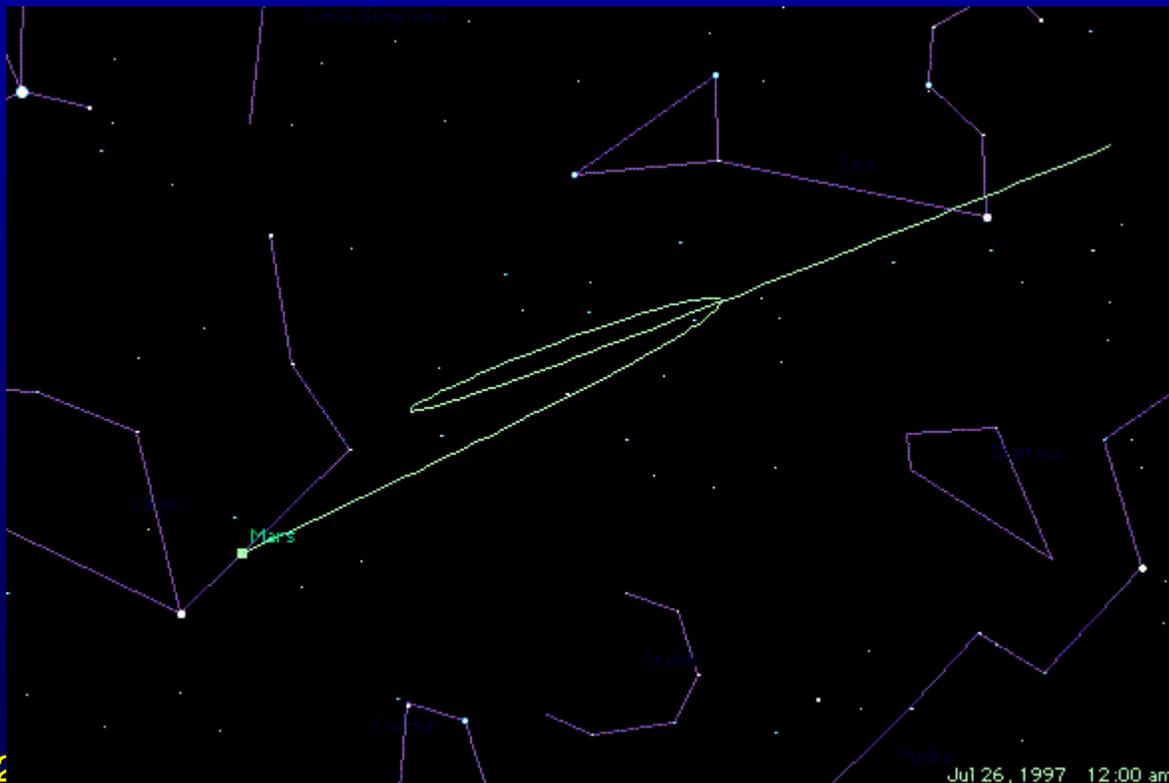
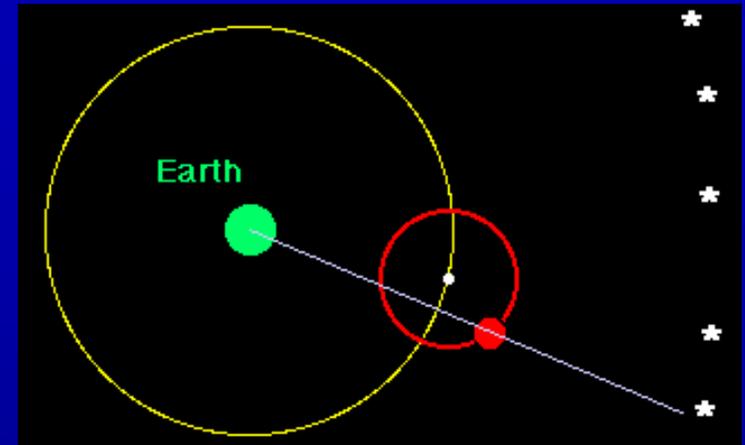
Printemps	94 ½ jours
Été	92 ½ jours
Automne	88 1/8 jours
Hiver	90 1/8 jours

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 »

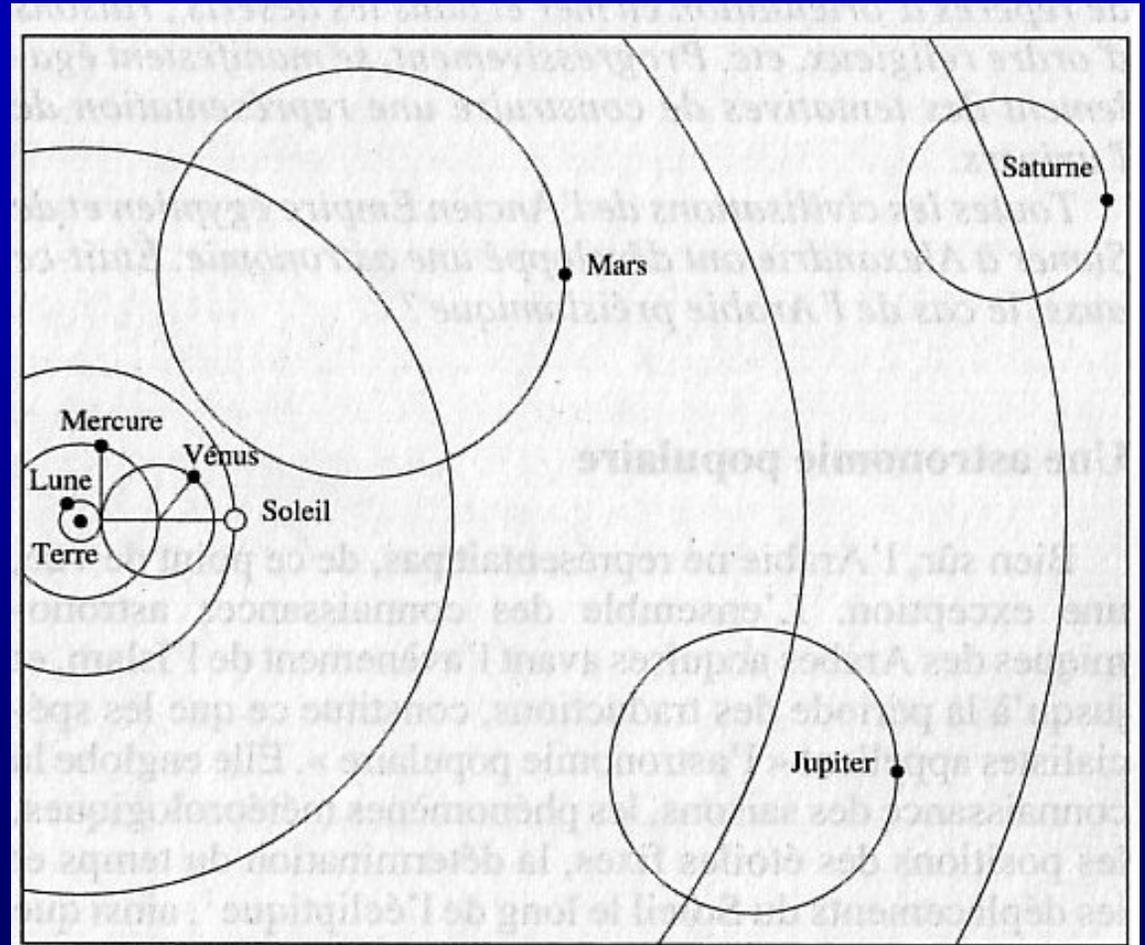


Déférents et Epicycles

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

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

[Plus d'animation](#)



Quatorze siècles de géocentrisme :

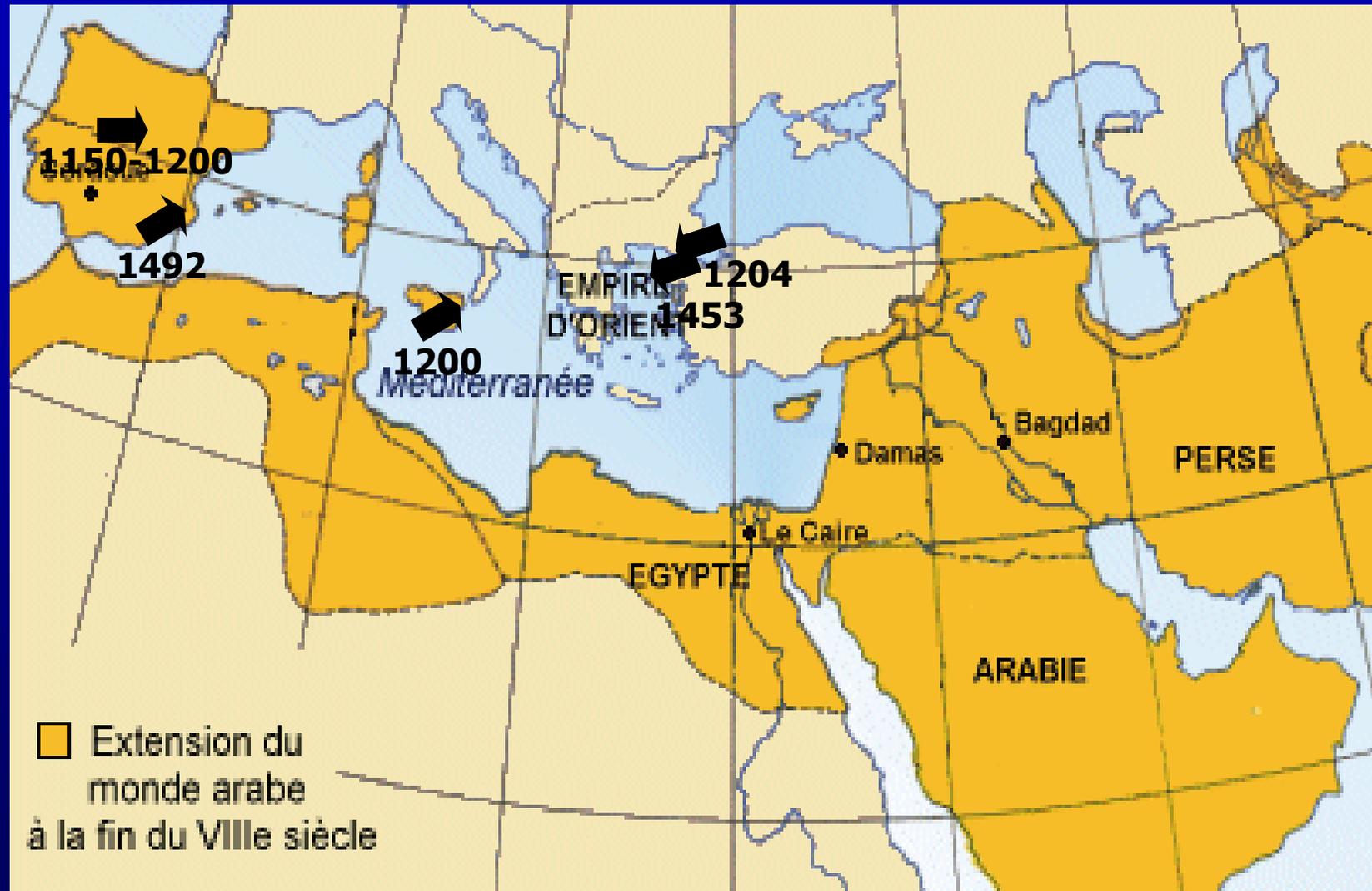
A partir de modèles et des paramètres de Ptolémée , au besoin légèrement modifiés, les astronomes (d'abord arabes) dressent les tables du mouvement des planètes, du Soleil et de la Lune, pendant 1400 ans.

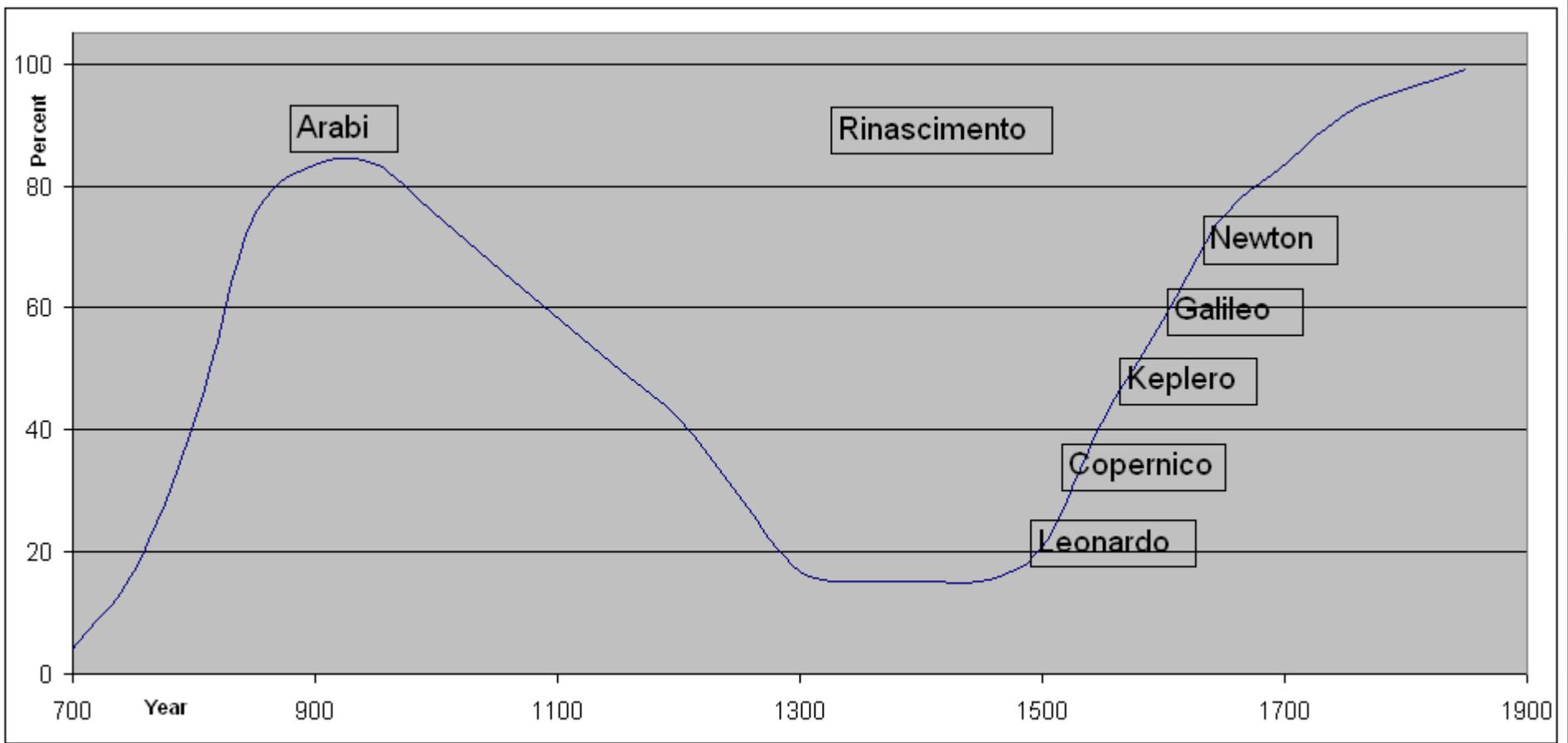
Voir...

Entre 1200 et 1500 beaucoup d'œuvres scientifiques arabes et hellénistiques parviennent 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 d'auteurs de tables astronomiques.

Passage des textes en Occident ➡ Renaissance !





Les Arabes et la reprise en Europe

Nicolas Copernic



Copernic 1473-1543

Galilée 1564-1642

Newton 1643-1727

T. Brahe 1546-1601

J. Kepler 1571-1630

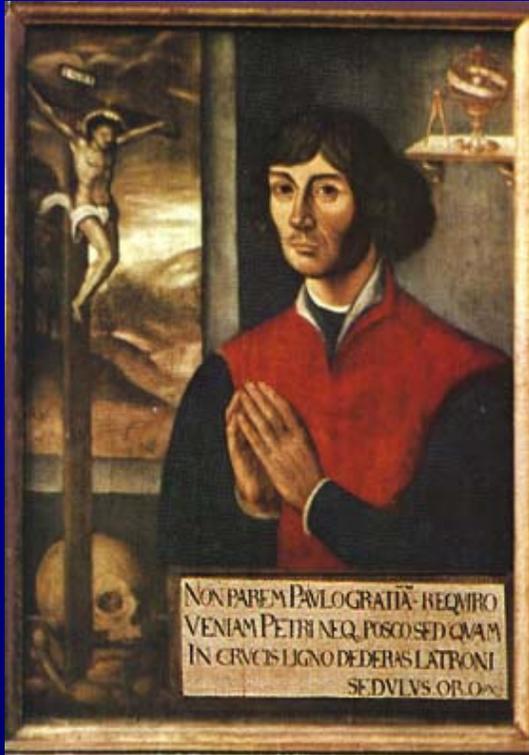
Me du Châtelet

Descartes 1596-1650

B. Pascal 1623-1662

Nicolas Copernic, 1473 – 1543

un jeune homme bien sage



Né à Torun (Pologne), il grandit chez son oncle Lucas.

Quand l'oncle devient évêque, Nicolas 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 est une lettre de six page à un ami où il explique les idées qu'il cultive.

A l'université

Les disciplines :

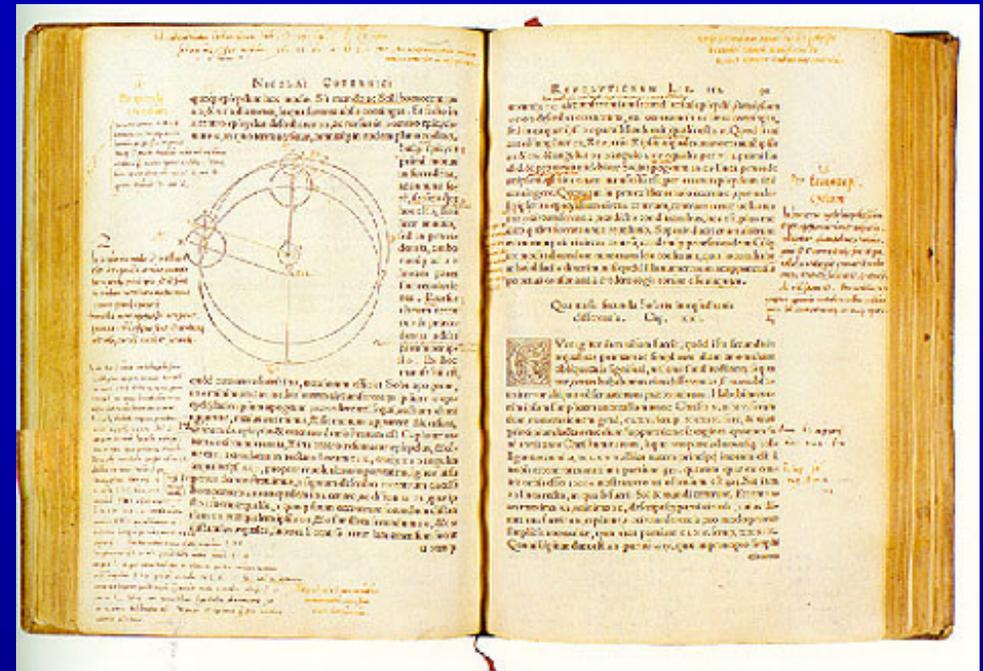
Trivium : Grammaire
dialectique
rhétorique

Quadrivium : arithmétique
géométrie
musique
astronomie

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.

La préface anonyme

- Une préface ajoutée, anonyme, explique que la théorie de Copernic est une hypothèse mathématique commode, qui ne saurait décrire les mouvements réels du système du monde.
- Dans sa préface, adressé directement au pape Paul III, Copernic fait montre d'un tout autre caractère que de celui d'un petit chanoine craintif.
- Ce n'est pas par crainte de la hiérarchie religieuse que Copernic ne voulait pas publier, mais parce qu'il savait que son oeuvre était loin d'être complète et irréfutable.

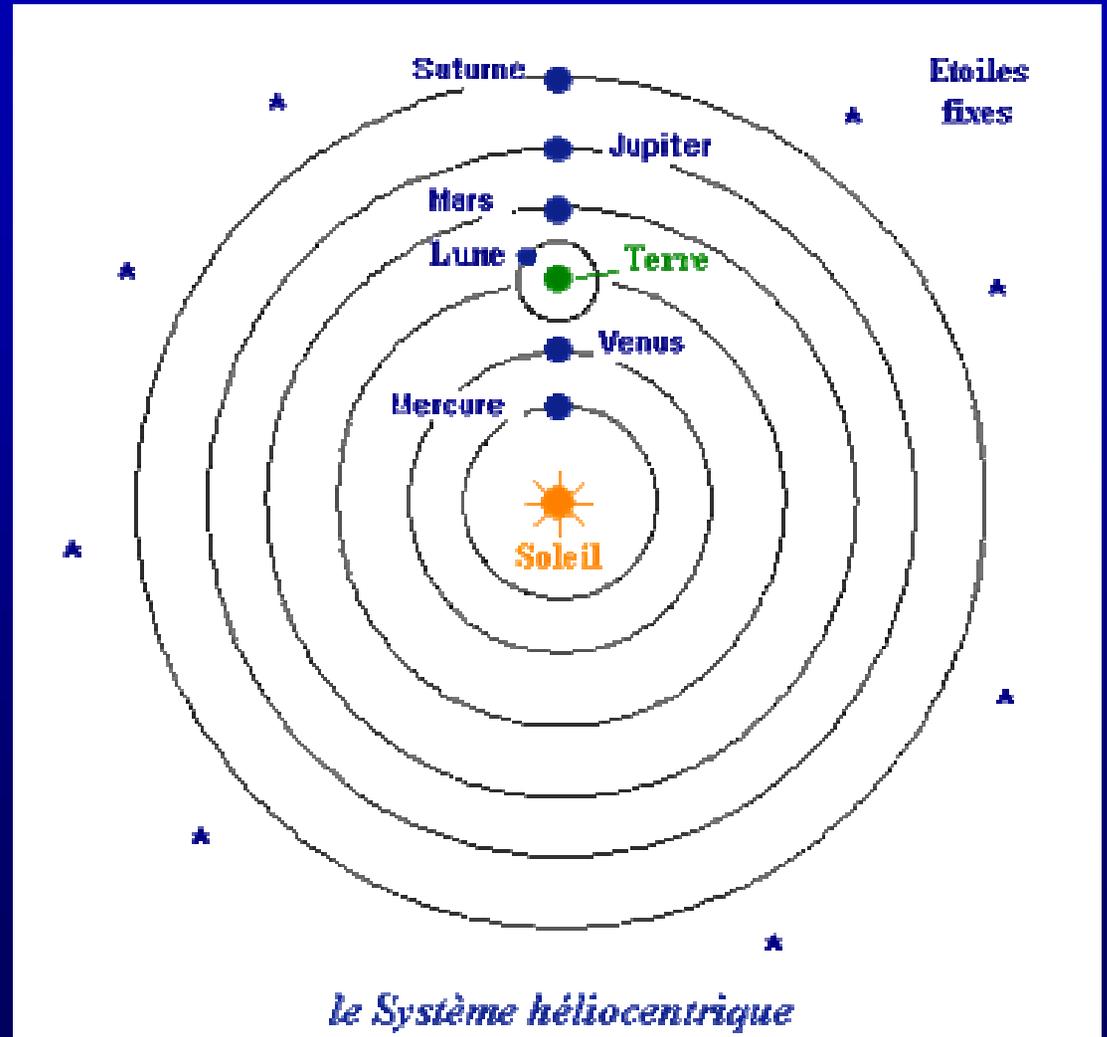
Les qualités de l'oeuvre de Copernic

C'est la première tentative depuis 1400 ans de comprendre les mouvements célestes

- Le développement est mathématique, et non dogmatique.
- Fait référence aux étoiles ("fixes"), plutôt qu'à l'écliptique (plan de l'orbite de la Terre)
- 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 points faibles du système de Copernic.

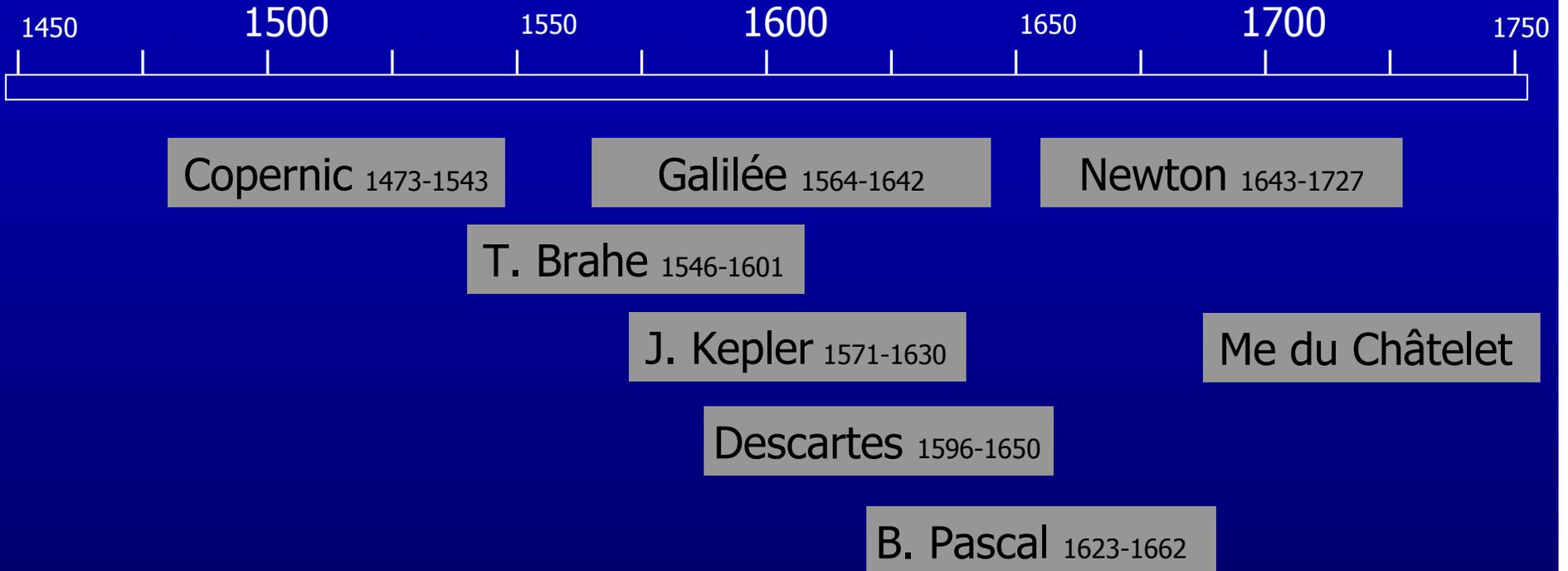
- Il se fonde sur des considérations mystiques, plutôt que physiques (Copernic ne peut pas prouver que la Terre tourne).
- Il conserve les orbes corporelles, tout comme les cercles déférents et épicycles de Ptolémée.
- Le schéma n'est point plus simple, ni les prévisions plus précises, que dans le système géocentrique.

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 de l'empereur.

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 XIIIème siècle.

L'astronomie moderne



Tycho Brahe (1550-1601) ...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.

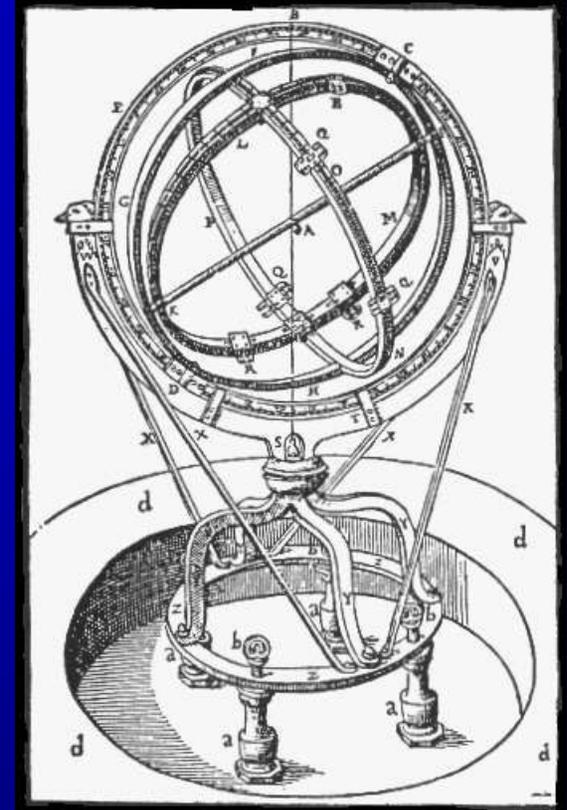
A 17 ans, il part à l'université de Leipzig avec un jeune précepteur chargé de l'éloigner de l'astronomie.

Il achète 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.

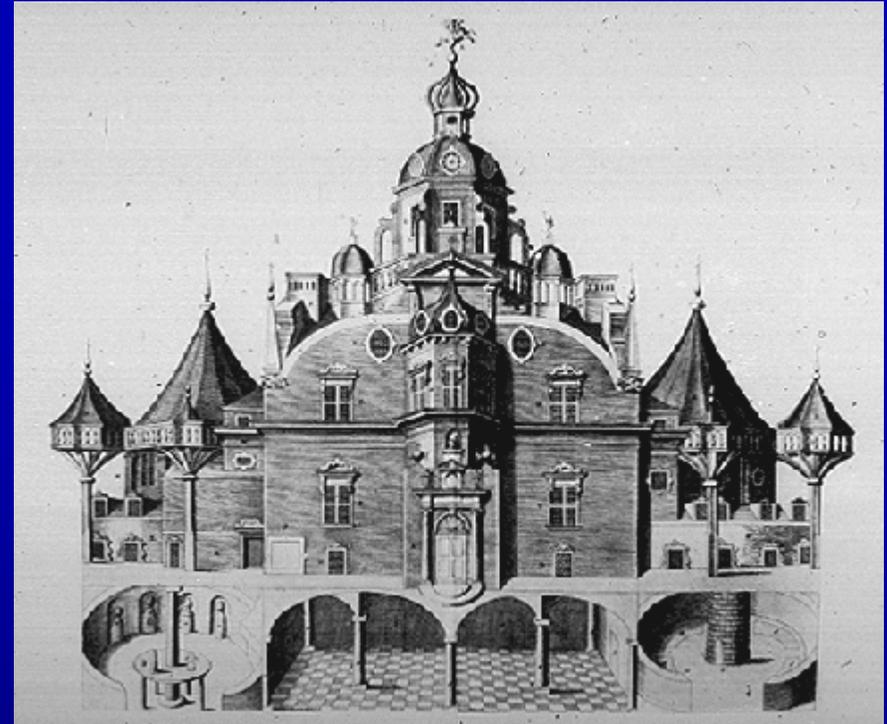
Il commence à construire ses propres instruments, impressionnants par leur taille et précision (il a 19 ans).



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

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

Uraniborg - le premier observatoire des temps modernes



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



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

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^e siècle av. J.-C., qu'un astronome reprend le flambeau de la cosmologie aux philosophes.

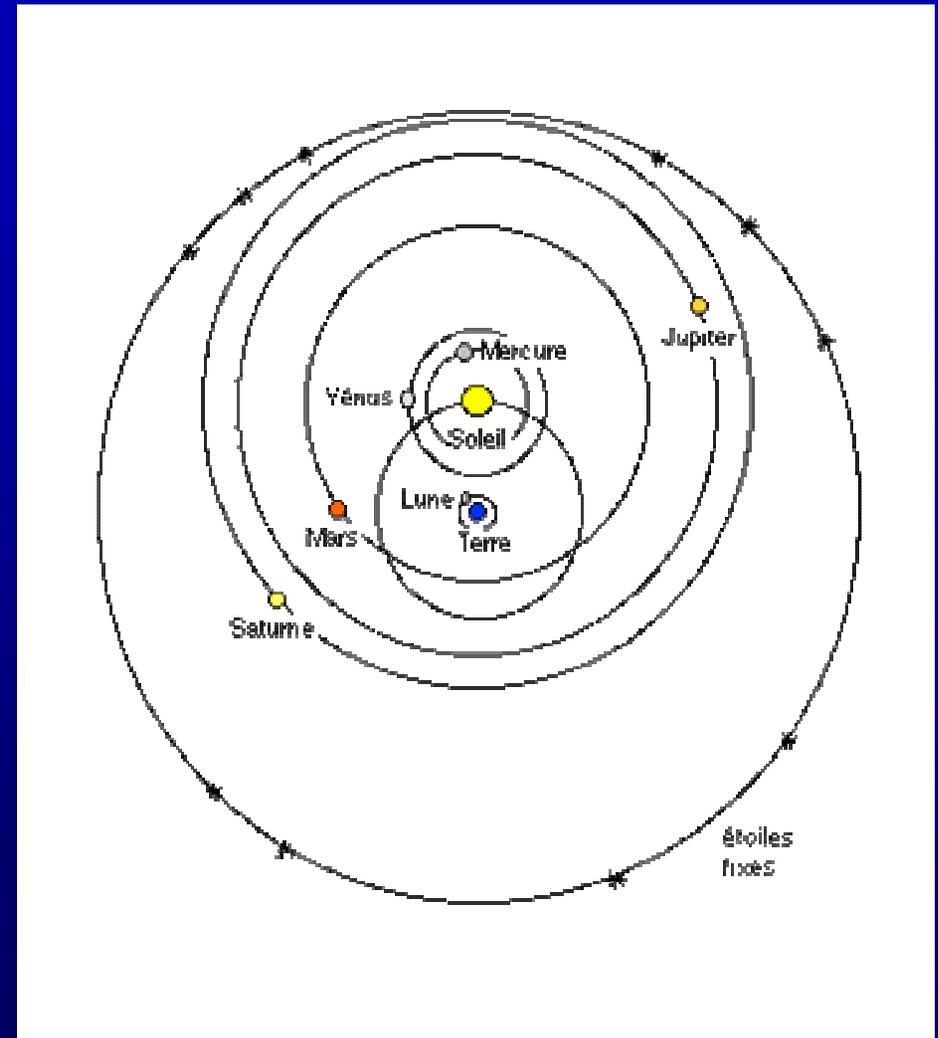
Géo - quoi ?

Géo-héliocentrique

Une Terre centrale,
- la Lune et le Soleil tournant
autour d'elle,
- et les cinq planètes tournant
autour du Soleil.

[compatible avec l'absence de
parallaxe stellaire]

Modèle adopté par les
Jésuites à l'époque de Galilée.



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 construit et les données consignées pendant 30 ans par son prédécesseur.

