



HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE

I. De l'antiquité à la fin du moyen-âge

Pr François Vernotte

UTINAM - Université de Franche-Comté/CNRS

Observatoire des Sciences de l'Univers THETA de Franche-Comté/Bourgogne



Cycle de cours : Histoire de l'Astronomie

- **13 novembre 2013 :**
I. De l'Antiquité à la fin du Moyen-Âge
par *François Vernotte*
- **20 novembre 2013 :**
II. De la révolution copernicienne à Pierre-Simon de Laplace
par *François Vernotte*
- **27 novembre 2013 :**
III. François Arago
par *Daniel Cordier*
- **4 décembre 2013 :**
IV. Le Verrier, entre excellence et omnipotence
par *François Vernotte* et *Souad Ben Hamed*
- **11 décembre 2013 :**
V. Le XX^e siècle
par *François Vernotte*
- **+ samedi 14 décembre 2013 :**
La relativité d'Einstein...
par *François Vernotte*

Histoire de l'Astronomie

Sommaire

I. De l'antiquité à la fin du moyen-âge

- 1 Les premières représentations du ciel
 - L'astronomie préhistorique
 - Le ciel dans le monde
 - L'astronomie Chaldéenne
- 2 Les grecs inventent la science
 - Et la Terre devînt ronde. . .
 - Le monde selon Platon et Aristote
 - Géocentrisme contre héliocentrisme
- 3 L'astronomie au Moyen-Âge
 - L'occident chrétien s'éloigne de la science
 - Les arabes, héritiers de la pensée grecque
 - Et la Terre redevînt ronde. . . en Europe

L'astronomie préhistorique

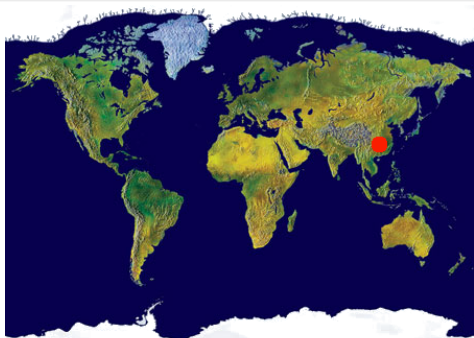
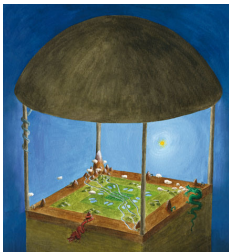
- Premières mesures d'angle
- Début de mathématisation ?
- Calendriers lunaires puis solaires
- Pourquoi tant de mégalithes ?
 - observatoires astronomiques ?
 - lieux de réunion ?
 - temples religieux ?
 - utilisation astrologique ?



Stonehenge (Angleterre)
édifié de -2800 à -1100

En Chine

- Année de 365 j et lunaison de 29,5 j dès -1400
- Observation et enregistrement du mouvement des planètes



- Enregistrement des dates des éclipses dès -720
- Observation de 75 “étoiles invitées” entre -352 et 1604
- Premières cartes du ciel (IV^e siècle avant J.C.)

En Inde

- Année de 360 j vers -1000
- Divisée en 12 mois de 27 ou 28 jours



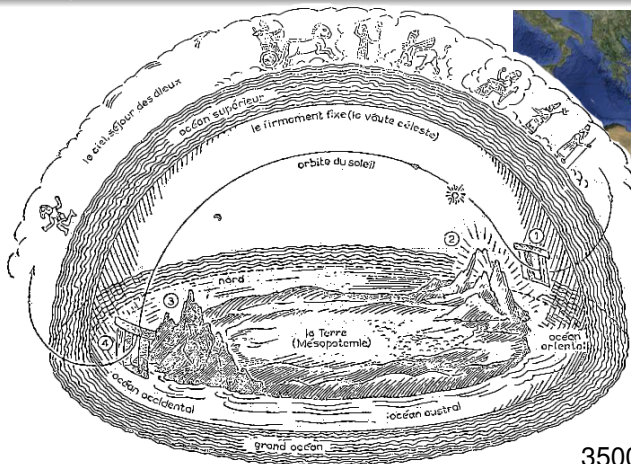
En Amérique

- Calendriers zapotèques de 365 jours vers -600
- Cycles de 52 jours (“retour de calendrier”)

→ 365,... j!



Le ciel des Assyro-Babyloniens

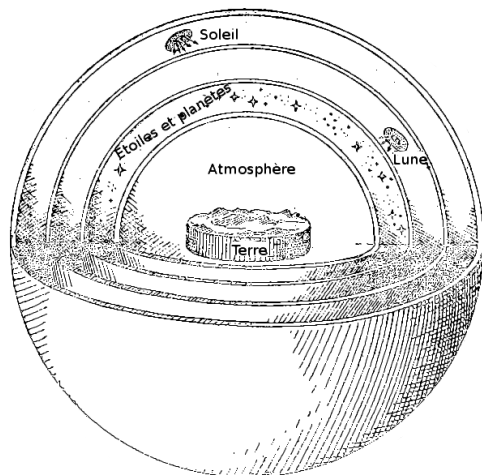


3500/500 avant J.C.

- mouvement des planètes très bien connu (agriculture, astrologie)
- cycle de saros (6585 jours \approx 18 ans) → **prédiction des éclipses**
- calendrier luni-solaire

D'une Terre plate à une Terre cylindrique

L'école Ionique



L'Univers selon Anaximandre

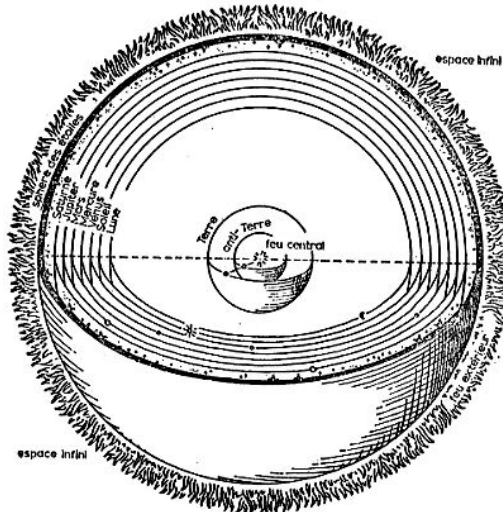


VI^e siècle avant J.C.

- Thalès (-625/-547)
 - Terre flotte sur l'eau
 - univers = bulle d'air hémisphérique
- Anaximandre (-610/-546)
 - Terre = cylindre qui flotte en équilibre
 - au centre d'un univers sphérique

D'une Terre cylindrique à une Terre sphérique

L'école Pythagoricienne (Crotona)



VI^e / V^e siècle avant J.C.

- Pythagore (-580/-495)
 - Terre **sphérique**
 - "cosmos" = ciel ordonné
- Philolaos (~-485/~-390)
 - la Terre tourne
 - une sphère par planète
 - 10 sphères
 - ⇒ **anti-Terre**

L'Univers selon Philolaos

Le cosmos de Platon (*Timée*)

Platon décrit le **mythe** de l'organisation du monde par le démiurge

- Mouvements célestes **circulaires** (*Timée*, 37d-39e)
- Chaque élément est associé à un solide parfait (*Timée*, 55d) :

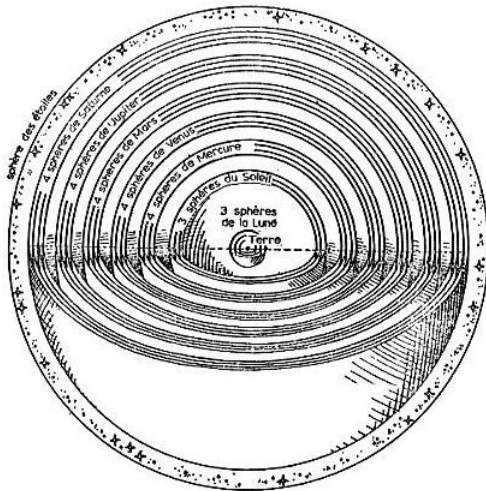
- 1 La Terre avec le cube
- 2 l'Eau avec l'icosaèdre
- 3 l'Air avec l'octaèdre
- 4 le Feu avec le tétraèdre



Platon
(-424/-348)

27 sphères pour expliquer le monde

Un Univers conforme aux enseignements de Platon



L'Univers selon Eudoxe de Cnide



Eudoxe (-408/-355)

- Terre immobile au centre
- 1 sphère pour les fixes
- 3 sphères pour la Lune
- 3 sphères pour le Soleil
- 4 sphères par planète
- explique tous les mouvements
- distances Terre-planète constante

L'univers selon Aristote (*De Caelo*)

- Monde clos
- sphérique
- inengendré
- terre au centre de l'univers
- orbites circulaires
- divisé en 2 parties :
 - le monde **supralunaire**
(astres sphériques parfaits, mouvements toujours répétés)
 - le monde **sublunaire**
(soumis à la génération et la corruption)
- 5 éléments : terre, eau, air, feu, **éther** (uniquement dans le monde supralunaire)



*Représentation médiévale
de la cosmologie d'Aristote*

Sauver les apparences ou comprendre la nature des choses ?

Platon admet en principe que les corps célestes se meuvent d'un mouvement circulaire, uniforme et constamment régulier ; il pose alors aux mathématiciens ce problème : quels sont les mouvements circulaires, uniformes et parfaitement réguliers qu'il convient de prendre par hypothèse, afin que l'on puisse sauver les apparences présentées par les planètes

Simplicius in "Aristotelis quatuor libros de Coelo commentaria", lib. II comm. 43 et 46, traduit et cité par P. Duhem in "Essai sur la notion de théorie physique", p. 3, éditions Vrin, 1990

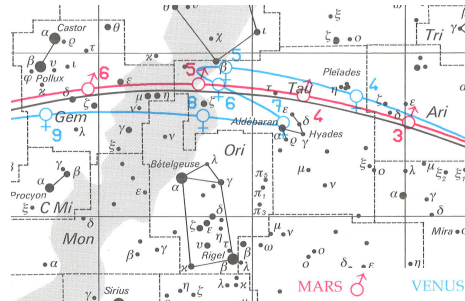
[Aristote] remarque que le géomètre et le physicien considèrent souvent le même objet, qu'ils étudient la même figure ou le même mouvement, mais qu'ils le considèrent à des points de vue différents. Cette figure, ce mouvement, le géomètre les contemple en eux-mêmes et d'une manière abstraite ; le physicien, au contraire, les étudie comme la limite de tel corps, le mouvement de tel mobile.

P. Duhem in "Essai sur la notion de théorie physique", p. 4, éditions Vrin, 1990

Le mouvement errant des planètes

Platon : “les corps célestes se meuvent d'un mouvement circulaire, uniforme et constamment régulier”

- Pourquoi le mouvement du Soleil et de la Lune ne sont pas “réguliers” ?
- Pourquoi les planètes présentent-elles des **rétrogradations** ?
- Pourquoi Mercure et Vénus ne s'éloignent jamais du Soleil ?



Travail des “philosophes de la nature” :

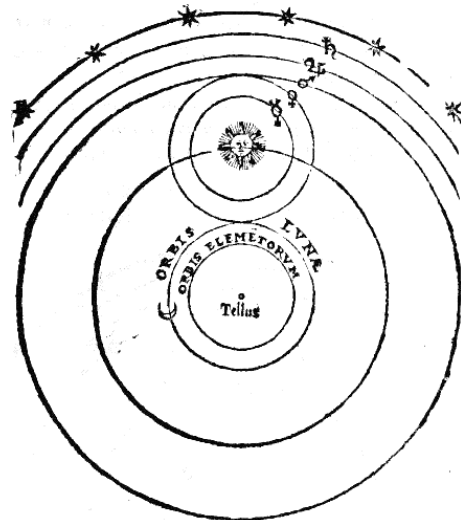
- Comment **sauver les apparences** ? (Astronomes)
- Comment **comprendre la nature des choses** ? (Physiciens)

Le monde d'Héraclide du Pont

Héraclide du Pont (-388/-310) : un platonicien influencé par Aristote

- monde clos sphérique
- Terre au centre de l'univers
- orbites circulaires
- centrées sur la Terre
- **la Terre tourne sur elle-même en 24 heures**
- **sphère des étoiles immobile**
- **Mercure et Vénus tournent autour du Soleil**

⇒ **Mercure et Vénus restent toujours proches du Soleil**



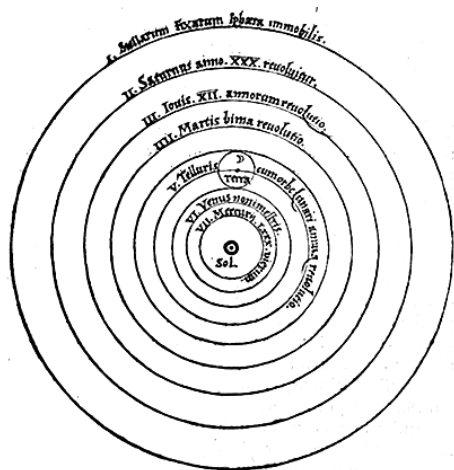
Le système héliocentrique d'Aristarque de Samos

Aristarque de Samos (-310/-230) : élève de Straton de Lampsaque (aristotélien) à Alexandrie

- monde clos sphérique
- **toutes les planètes tournent autour du Soleil**
- **Soleil au centre de l'univers**
- orbites circulaires
- **centrées sur le Soleil**
- la Lune tourne autour de la Terre
- **la Terre tourne sur elle-même en 24 heures**
- **sphère des étoiles immobile**

⇒ **Mercure et Vénus restent toujours proches du Soleil**

⇒ **rend compte de la rétrogradation des planètes...**



L'héliocentrisme

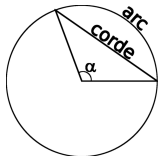
Une façon simple de rendre compte de la rétrogradation des planètes

- On observe le mouvement de la planète grâce à sa **projection sur la sphère des étoiles** (sphère des fixes)
- Lorsque la Terre “rattrape” la planète, sa projection sur le sphère des étoiles change de sens
- Lorsque le Terre avance, la planète semble changer à nouveau de sens
- Cette alternance à lieu à chaque révolution “**synodique**”

L'astronome rend bien compte de la rétrogradation des planètes,
mais qu'en pensent les “physiciens” ?

Hipparque, le plus grand observateur de l'Antiquité

Hipparque de Nicée (-190/-120) mathématicien et astronome



Il construit la première **table trigonométrique** sous la forme d'une **table de cordes** :

- il divise le cercle en 360°
- pour chaque angle α , il donne la longueur de la corde



Le plus grand astronome d'observation de l'Antiquité

- Il perfectionne les instruments d'observation
- il utilise les observations accumulées pendant des siècles par les astronomes chaldéens (depuis -747)
- il effectue beaucoup d'observations remarquablement précises
- il réalise un catalogue de plus de 850 étoiles
- il met en évidence la précession des équinoxes
- **il mesure les grandeurs et distances du Soleil et de la Terre**
- **il étudie le mouvement des astres**

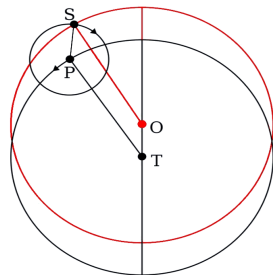
Excentrique ou épicycle ?

Le mouvement du Soleil et de la Lune ne sont pas "réguliers" ?

2 solutions possibles :

excentrique le centre de l'orbite est décalé par rapport à la Terre

épicycle combinaison d'un mouvement circulaire autour de la Terre (**cercle déférent**) et d'un mouvement circulaire autour de cette orbite (**épicycle**)



Hipparque démontre que ces deux mouvements sont exactement semblables si la révolution de l'épicycle s'effectue **dans le même temps** que la révolution autour du cercle déférent

Quelle hypothèse est conforme à la **nature des choses** ?

Hipparque choisit les épicycles

Hipparque, persuadé que le phénomène se produit ainsi, vante l'hypothèse de l'épicycle comme sienne propre et dit qu'il est probable que tous les corps célestes sont uniformément placés par rapport au centre du monde et qu'ils lui sont semblablement unis.

Théon de Smyrne in "Exposition des connaissances mathématiques utiles pour la lecture de Platon"
cité par P. Duhem in "Essai sur la notion de théorie physique", p. 7, éditions Vrin, 1990

En plus, les épicycles rendent compte de la rétrogradation des planètes. . .

Hipparque calcule les éléments des cercles déferents et des épicycles du Soleil, de la Lune et des 5 planètes

Les apparences sont sauvées !

L'héliocentrisme est oublié pour 1700 ans. . .

Ptolémée ou le triomphe du géocentrisme

Claude Ptolémée (89/168) astronome, astrologue, géographe et mathématicien d'Alexandrie

Il a écrit *La syntaxe mathématique* (traduite également par *La grande composition mathématique*) qui deviendra en arabe *al-Mijisti* (la très grande), puis reviendra en occident sous le nom de l'**Almageste**

L'*almageste* constitue la somme des connaissances les plus avancées de l'antiquité en mathématiques et en astronomie. Il contient :

- un catalogue de 1022 étoiles et 48 constellations
- une amélioration du modèle de système solaire d'Hipparque
- des tables permettant le calcul de la position du Soleil, de la Lune et des 5 planètes
- ...

L'*almageste* est resté la référence pendant 15 siècles



Le système de Ptolémée

Ptolémée combine **épicycles** et **excentriques**

Ptolémée introduit la notion de point **équiant**

- La Terre est le point jaune immobile
- La planète est le point bleu mobile
- Le centre de l'excentrique est le point bleu immobile
- L'**équiant** est le point noir immobile d'où on voit la planète décrire une trajectoire avec une **vitesse angulaire constante**
- Au total, Ptolémée utilise **40 cercles** !

Très compliqué mais les **apparences sont sauvées**. . . pour 15 siècles !

Augustin d'Hippone

Le père fondateur de l'occident chrétien

Saint-Augustin (354/430),
philosophe et théologien
chrétien

Platonicien chrétien proche
de Plotin

La raison complète la foi :
il faut croire pour comprendre



*La seule connaissance désirable est celle de Dieu et de l'âme,
il n'y a aucun profit à interroger la nature*

d'après **Edmund Whittaker** in "Space and Spirit"
cité par Arthur Koestler in "Les somnambules", p. 84, Les belles lettres, 2012

L'univers en forme de tabernacle

Contrairement à l'école d'Alexandrie, l'école d'Antioche prône une lecture littérale de la bible (V^e siècle)

Cosmas *Indicopleustès* :

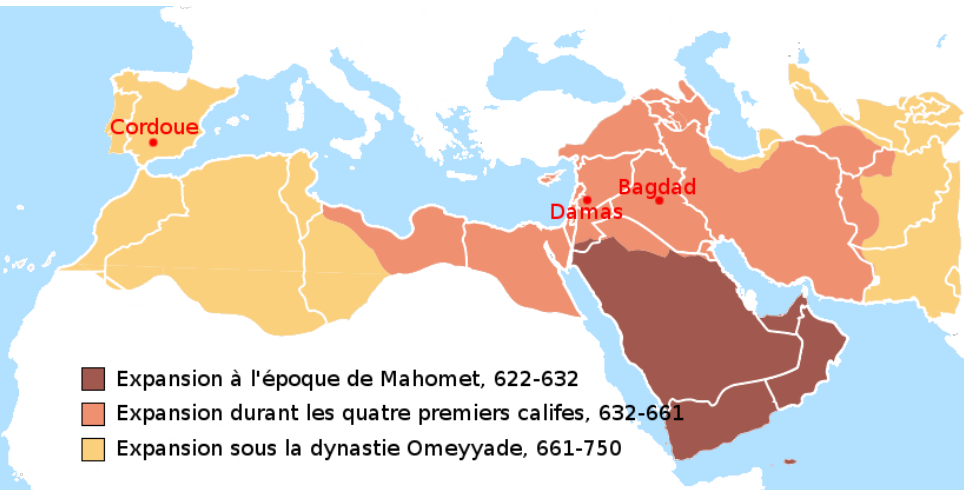
- la Terre a la forme du Saint Tabernacle décrit dans *L'Exode*
- elle est 2 fois plus longue (E-O) que large (N-S)
- inclinée du N-O au S-E
- bordée par un océan
- lui-même bordé par une terre déserte (paradis perdu)
- au nord, une haute montagne cache le Soleil la nuit
- les astres sont transportés par des anges



La Topographie chrétienne
(enluminure du IX^e siècle)

Les légataires universels de la philosophie grecque

Influencés par la pensée grecque (Aristote) et indienne (Aryabhata)



2 foyers scientifiques : Moyen-Orient (Bagdad), Andalousie (Cordoue)

L'héritage d'Aristote et de Ptolémée

Sauver les apparences ne suffit plus !

Il faut :

- concilier Aristote et les mouvements observés
- rechercher les véritables mouvements de l'Univers

⇒ on doit pouvoir réaliser une maquette de l'Univers

Deux époques :

IX^e - XI^e s. Bilan critique de Ptolémée

XI^e - XV^e s. Deux écoles :

- **en Andalousie** : fidèle à Aristote et à Eudoxe de Cnide
- **en Perse** : un système géocentrique plus perfectionné que celui de Ptolémée



Al-Battani
(855/923)

L'astronomie orientale du VIII^e au XI^e siècle

D'Al-Battani l'observateur à Al-Biruni le compilateur

L'appropriation des travaux grecs, perses et indiens

- Traduction de l'Almageste au milieu du VIII^e siècle
- observations astronomiques de précisions
- établissement de cartes du ciel
- établissement de tables trigonométriques
- mathématisation du raisonnement astronomique

⇒ analyse critique du modèle de Ptolémée

Al-Biruni effectue une mise à jour minutieuse du système de Ptolémée, intégrant

- les nouvelles observations
- les nouveaux outils mathématiques

⇒ difficile de "*sauver les apparences*"

Il faut reprendre le travail de Ptolémée



Al-Biruni
(973/1048)

Les problèmes controversés du système de Ptolémée

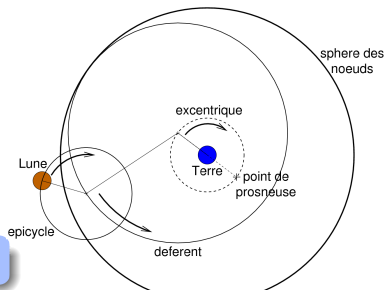
Le système de Ptolémée n'est pas **réaliste**

Une sphère **solide et réelle**

- ne peut pas tourner à vitesse constante autour d'un point qui n'est pas son centre (l'**équant**)
- ne peut pas glisser hors de sa sphère portante (problème du **point de prosneuse**)
- doit **se mouvoir indépendamment** du mouvement des sphères dans lesquelles **elle s'emboîte**

Le système ne prend pas en compte les variations en latitude des planètes

Le système de Ptolémée doit être réformé !



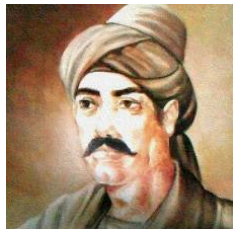
L'école andalouse

Retour aux sources aristotéliennes

- Pas d'excentrique
- pas d'épicycle
- un seul centre
- la Terre au centre

À la suite d'Ibn Tofail (1110-1185), Al-Bitruji et Ibn Rushd (Averroès, 1126-1198) proposent un modèle basé sur des sphères homocentriques

- meilleur que celui d'Eudoxe (1500 ans plus tôt)
- prenant mieux en compte les observations
- durée d'observation plus longue (~ 2000 ans)
- mais moins efficace que celui de Ptolémée !



Al-Bitruji
(?/1204)

Besoin de nouveaux modèles...

L'observatoire de Maragha (Perse)

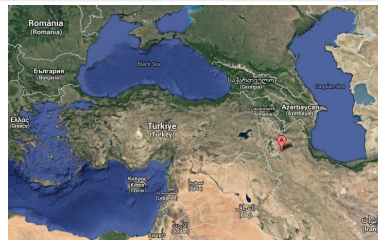


Al-Tusi
(1201-1274)

- Construit par Houlagou Khan pour Al-Tusi (1259)
- plus grand observatoire
- 340 m × 135 m
- tour : 4 étages, \varnothing 28 m
- 400 000 livres
- plus de 100 étudiants
- abandonné vers 1350



L'observatoire de Maragha vers 1300



La découverte d'Al-Tusi

L'école orientale dépassent Ptolémée

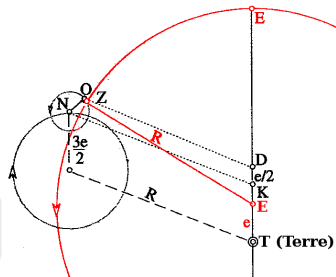
Les astronomes de l'observatoire de Maragha découvrent 2 principes mathématiques cruciaux :

- le **lemme d'Al-Urdi** (?/1266)
- le **couple d'Al-Tusi** (1201/1274)

Ibn Al-Shatir (Damas, 1304/1375) réalise un système planétaire

- sans équant
- sans excentrique
- modélisable par une maquette
- prenant en compte l'inclinaison des orbites sur l'écliptique

Un système qui sauve les apparences et qui est conforme à la nature des choses...



Et la Terre redevint ronde... en Europe

- **Bède le Vénérable** (672/735), lecteur de Pline, déclare que la Terre est une sphère
- **Gerbert d'Aurillac** (~950/1003), astronome et géomètre, devient le pape Sylvestre II

⇒ la Terre redevient *officiellement* sphérique

La scission monde sublunaire / monde supralunaire se transforme en une transition très hiérarchisée, la **chaîne d'or** que Dieu laisse pendre sur la Terre :

- les *Séraphins* poussent le *primum mobile*
- les *Chérubins*, la sphère des fixes
- les *Trônes*, la sphère de Saturne
- les *Dominations*, celle de Jupiter
- les *Vertus*, celle de Mars
- les *Puissances*, celle du Soleil
- les *Principautés*, celle de Vénus
- les *Archanges*, celle de Mercure
- les *anges*, celle de la Lune

La redécouverte d'Aristote en Europe

Albert le Grand (~1200/1280)

- introduction des textes d'Aristote en occident chrétien
- adepte d'une science basée sur l'observation
- rédaction de plusieurs traités (astronomie, mathématiques, médecine)



Saint-Thomas d'Aquin (1225/1274), élève d'Albert le Grand



- fonde la **scolastique**
⇒ concilier la philosophie d'Aristote avec la théologie chrétienne (notamment de Saint-Augustin)
- rédige **la Somme théologique** qui rassemble uniquement les connaissances "utiles au salut"
⇒ l'homme doit s'intéresser au monde par l'observation et le raisonnement

Bibliographie

- **Platon**, "*Timée*", Éditions Rey et Gravier, 1839
- **Pierre Duhem**, "*Sauver les apparences : Essai sur la notion de théorie physique*", Éditions Vrin, 1990
- **Aristote**, *La physique*, Édition Vrin, 1999
- **Aristote**, *Du ciel*, Édition Les belles lettres, 1965
- **Alexandre Koyré**, "*Du monde clos à l'univers infini*", Gallimard, 1973
- **Arthur Koestler**, "*Les somnambules*", Les belles lettres, 2012
- **Jean-Marie Vigoureux**, "*Les pommes de Newton*", Albin Michel, 2003
- **Claude Ptolémée**, "*Composition mathématique*", Imprimerie du Collège Royal de France, 1816
- **Augustin d'Hippone**, "*Les confessions*", éditions Charpentier, 1861
- **Régis Morelon**, "*L'astronomie arabe orientale entre le VIII^e et le XI^e siècle*" in "*Histoire des sciences arabes*", éditions du Seuil, 1997
- **Georges Saliba**, "*Les théories planétaires en astronomie arabe après le XI^e siècle*" in "*Histoire des sciences arabes*", éditions du Seuil, 1997
- **Ahmed Djebbar**, "*L'âge d'or des sciences arabes*", éditions Le Pommier/Cité des sciences et de l'industrie, 2005