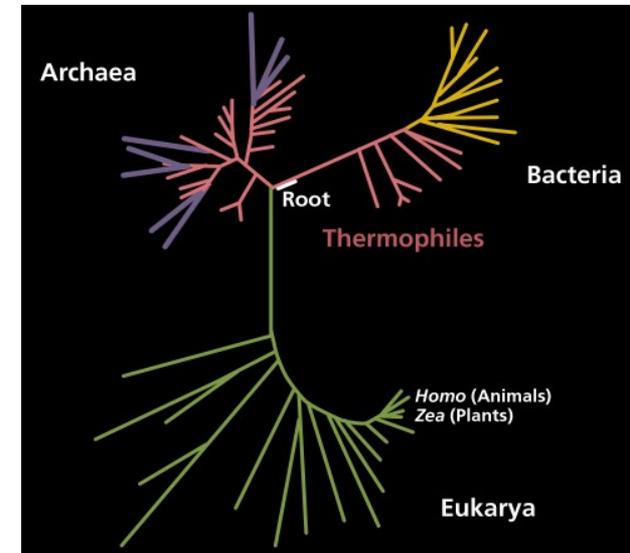




Exobiologie

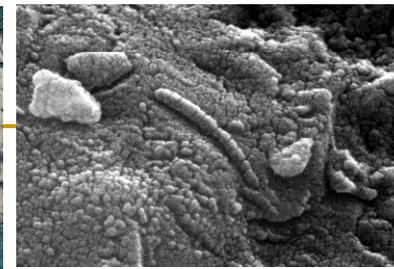
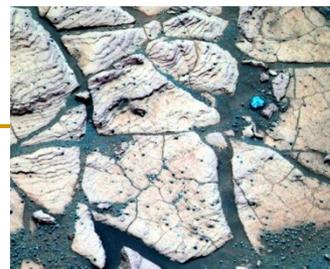
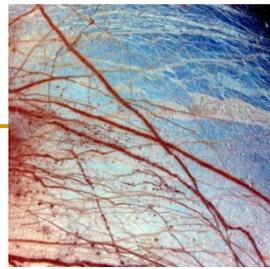
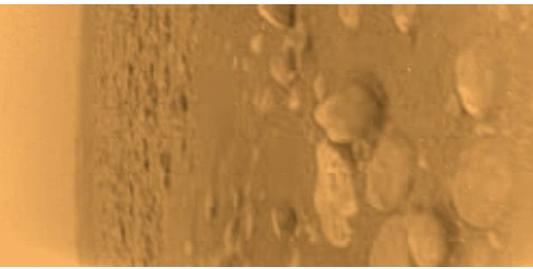


Sébastien Rodriguez
Université Paris 7 / A.I.M.
sebastien.rodriquez@cea.fr



Plan – Présentation de l'UE

- ❑ 1. Introduction générale : repères historiques et « philosophiques »
- ❑ 2. La formation de l'Univers : la première lumière et l'origine des éléments chimiques
- ❑ 3. Formation des étoiles et des planètes
- ❑ 4. La vie terrestre : un modèle pour comprendre - Formation des océans et de l'atmosphère terrestres – Premières traces du vivant
- ❑ 5. Terre primitive. Origine et évolution de la vie sur Terre – La vie dans les milieux extrêmes
- ❑ 6-7. Visite du Système Solaire et recherche de la vie
- ❑ 8. Les planètes extrasolaires – Les conditions d'habitabilité sur une planète
- ❑ 9. Les signatures du vivant et les programmes de recherche de la vie extraterrestre (intelligente?)





La Terre au sein d'un vaste Univers



Place de la Terre (de l'Antiquité à la Renaissance, puis jusqu'à aujourd'hui) ?

Sans doute l'une des plus grandes énigmes de l'humanité est de savoir si oui ou non, nous sommes seuls dans l'univers, si oui ou non notre situation est unique. La vision du monde qui nous entoure s'est peu à peu développée au fil des siècles...

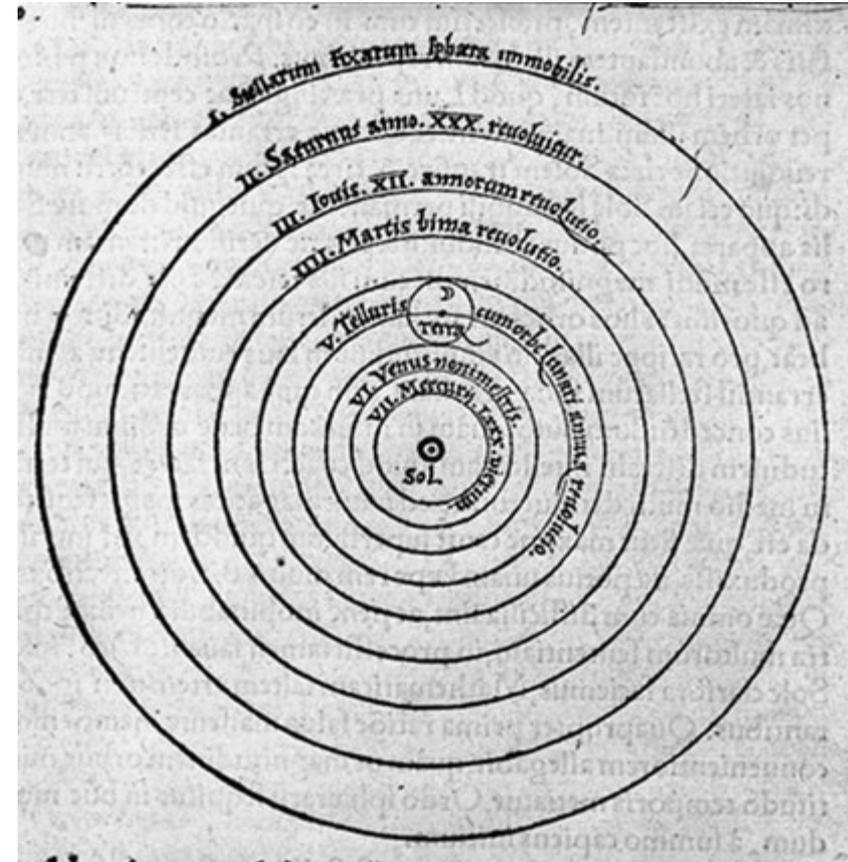
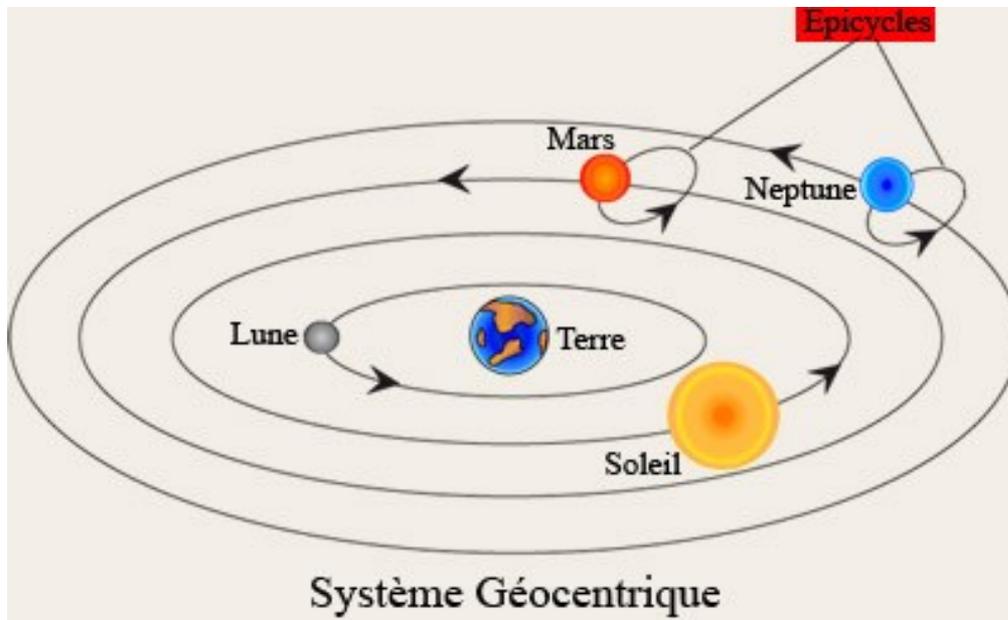
- Etoiles fixes, Univers immuable et parfait
- Terre/humanité (centre du monde) et Soleil (déifié) au statuts « particuliers »
- Pourtant Soleil, Lune + quelques points lumineux bougent dans le ciel ...?
- Observation et compréhension des mouvements du Soleil, de la Lune et des planètes ⇒ accès à la complexité de l'organisation et de la structure de notre système solaire, et de l'Univers...

D'abord fruit de diverses croyances, l'univers dans lequel nous évoluons est passé d'irrationnel et imaginaire à rationnel et cartésien, conséquence de la démarche scientifique.

Mouvement des corps célestes

- **Ptolémée** (100-178) : Système géocentrique, déférents et épicycles, hérité d'Hipparque de Nicée (190-120 av. JC)
- **Copernic** (1473-1543) : Système héliocentrique, Héraclide du Pont (388-310 av. JC), Aristarque (310-230)
- **Galilée** (1564-1642) : première évidence observationnelle d'un système héliocentrique, au moins non-géocentrique
- **Kepler** (1571-1631) : Les lois du mouvement des planètes
- **Newton** (1642-1727) : La loi de la gravitation

Géocentrisme contre Héliocentrisme



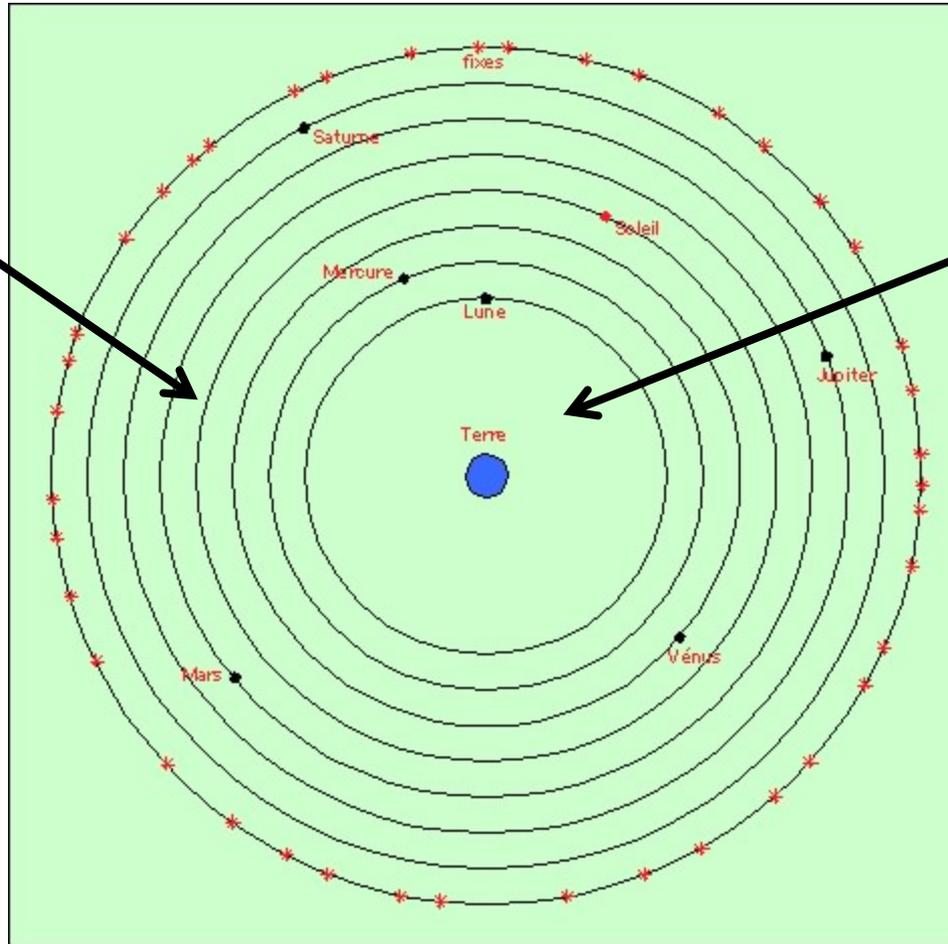
Géocentrisme et astronomes grecs

(héritage de la vision d'Aristote – 384-322 av. JC)

- Terre au centre d'un « monde » parfait et immuable
 - Corps célestes sur des orbites circulaires autour de la Terre, mvt fondamental et parfait (cf. sphéricité de la Terre) :
 - Les « lumineuses » : Lune, Soleil (proches)
 - Planètes (« planetos » : astres errants)
 - Etoiles, figées sur une sphère céleste (sphère des fixes)
 - Univers fini et borné
-

Géocentrisme et astronomes grecs

Cosmos :
monde parfait des
astres, immuable et
soumis à des lois
totalemment différentes
des lois terrestres



Monde *sublunaire* :
monde terrestre,
changeant et
constamment, soumis
à la corruption, à
l'évolution et à
l'altération

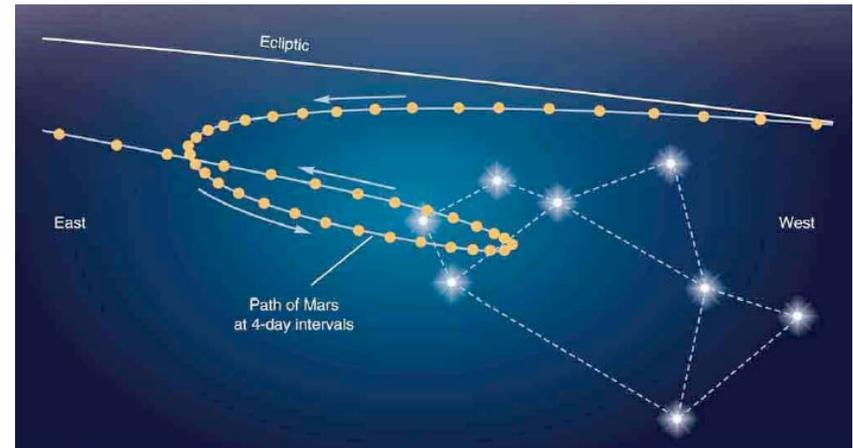
Géocentrisme et astronomes grecs

(héritage de la vision d'Aristote – 384-322 av. JC)

- Terre au centre d'un « monde » parfait et immuable
- Corps célestes sur des orbites circulaires autour de la Terre, mvt fondamental et parfait (cf. sphéricité de la Terre) :
 - Les « lumineuses » : Lune, Soleil (proches)
 - Planètes (« planetos » : astres errants)
 - Etoiles, figées sur une sphère céleste (sphère des fixes)
- Univers fini et borné
- **Pbs :**
 - variation de la taille apparente de certains objets célestes ?
 - luminosités changeantes ?
 - mouvements de rétrogradation (Mars par exemple) ?

Une histoire de l'observation martienne

- Mars : sang, mort, guerre (Babyloniens : Nergal, ... 2000 av. JC)
- Mars : point rouge sur la sphère céleste, mais un mouvement déconcertant
- Rétrogradation : pb pour les astronomes grecs !!!



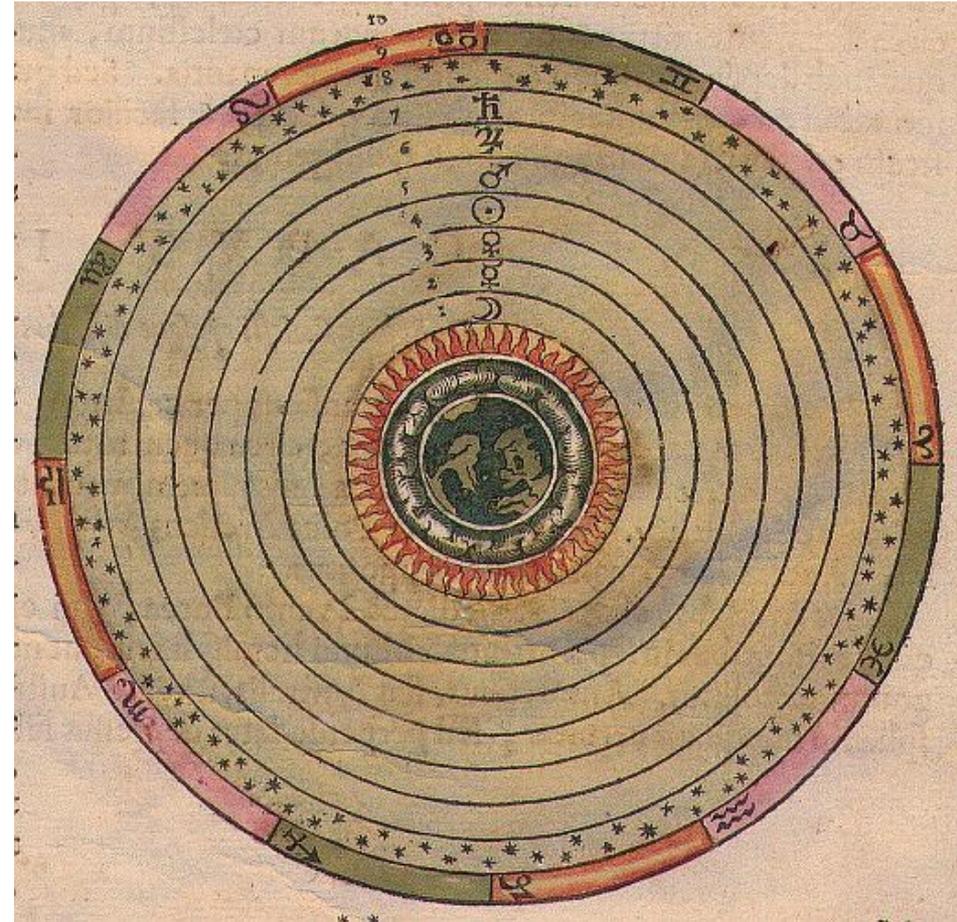
Géocentrisme et astronomes grecs

(héritage de la vision d'Aristote – 384-322 av. JC)

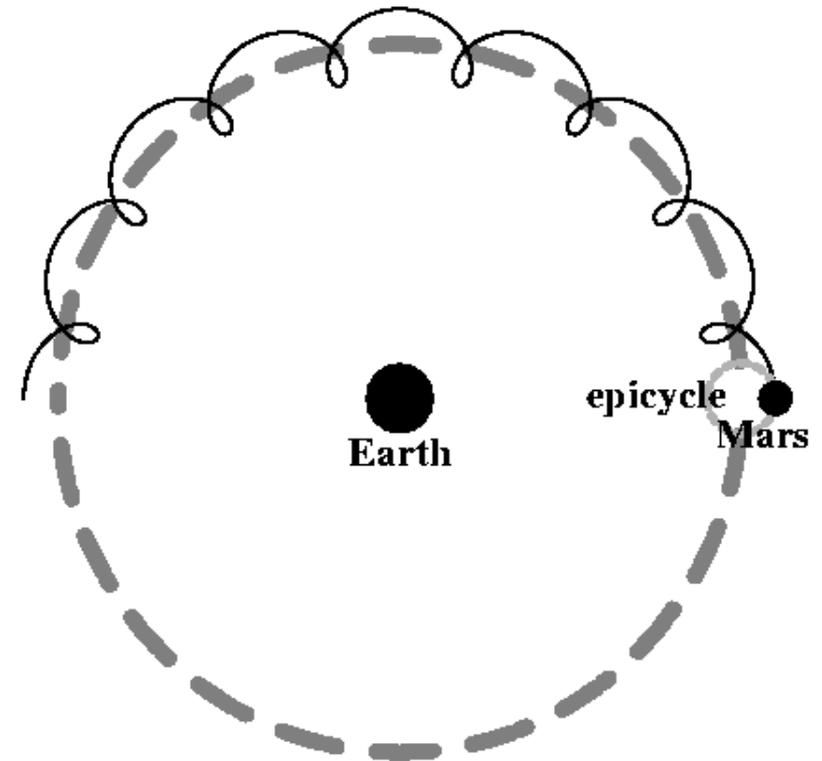
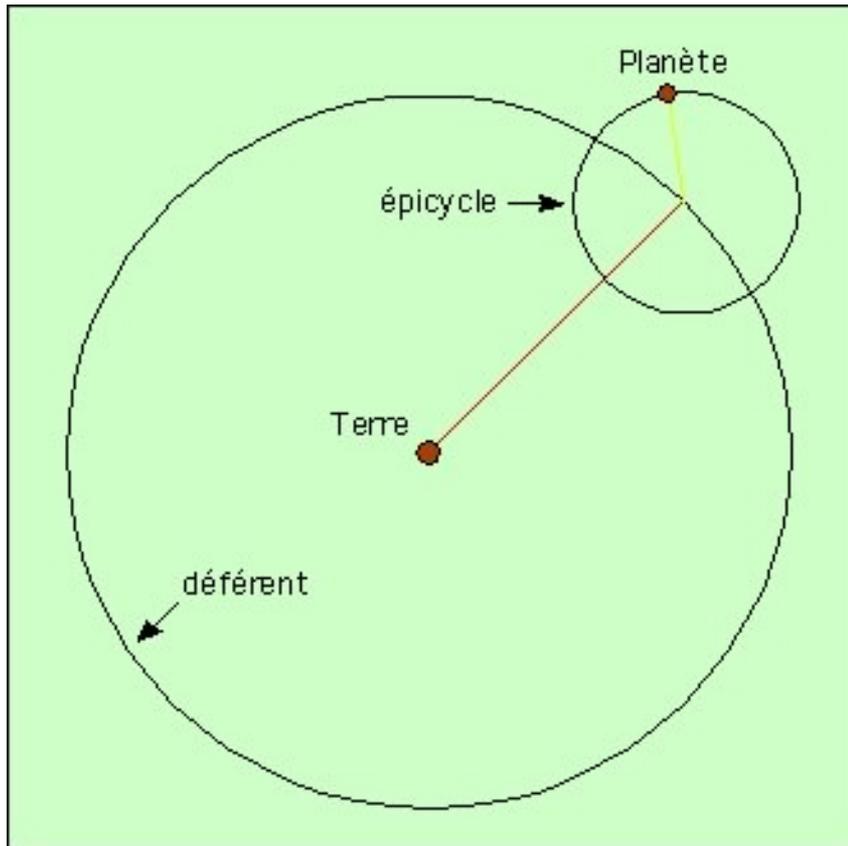
- Terre au centre d'un « monde » parfait et immuable
- Corps célestes sur des orbites circulaires autour de la Terre, mvt fondamental et parfait (cf. sphéricité de la Terre) :
 - Les « lumineuses » : Lune, Soleil (proches)
 - Planètes (« planetos » : astres errants)
 - Etoiles, figées sur une sphère céleste (sphère des fixes)
- Univers fini et borné
- **Pbs :**
 - variation de la taille apparente de certains objets célestes ?
 - luminosités changeantes ?
 - mouvements de rétrogradation (Mars par exemple) ?
- **Solution :** déférents et épicycles (Ptolémée)

Les épicycles de Ptolémée (100-178)

- Ptolémée, « *Almagest* » : théorie des épicycles
- Mvt très complexe des planètes
- Système de référence pendant plus de 1000 ans

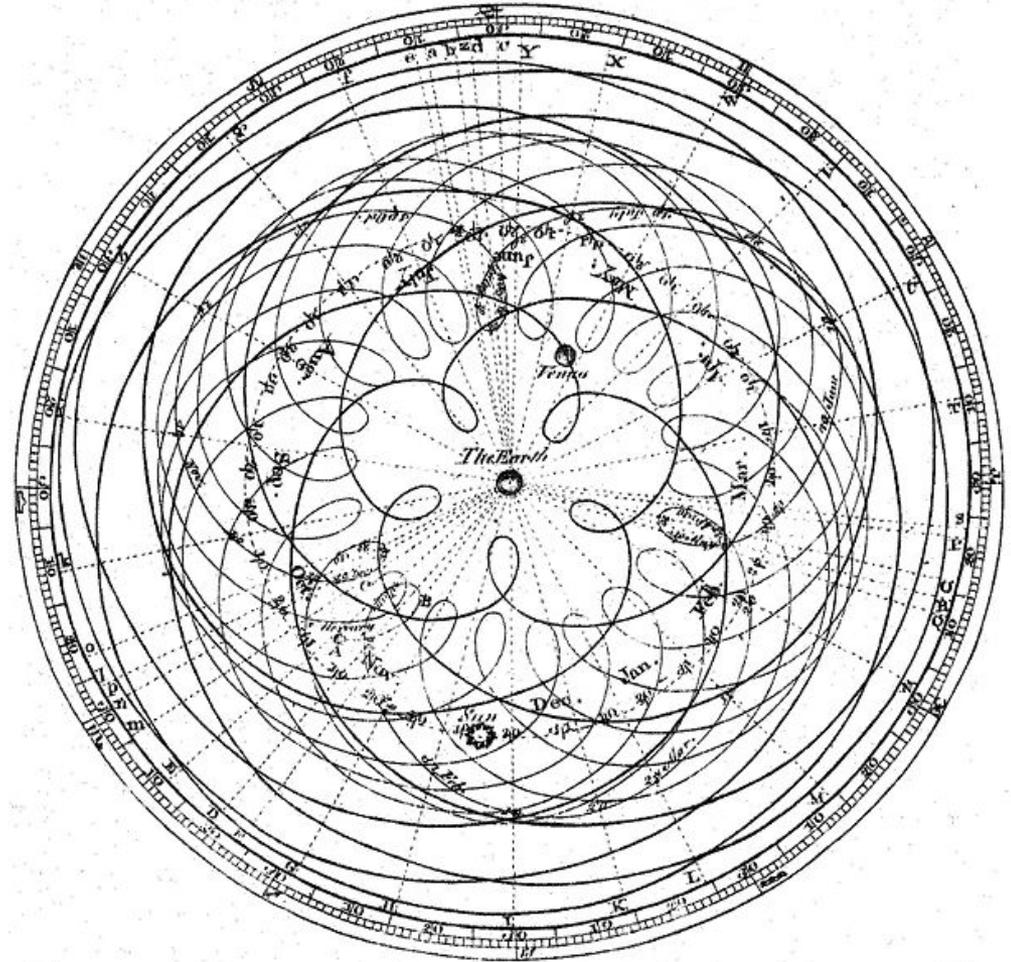
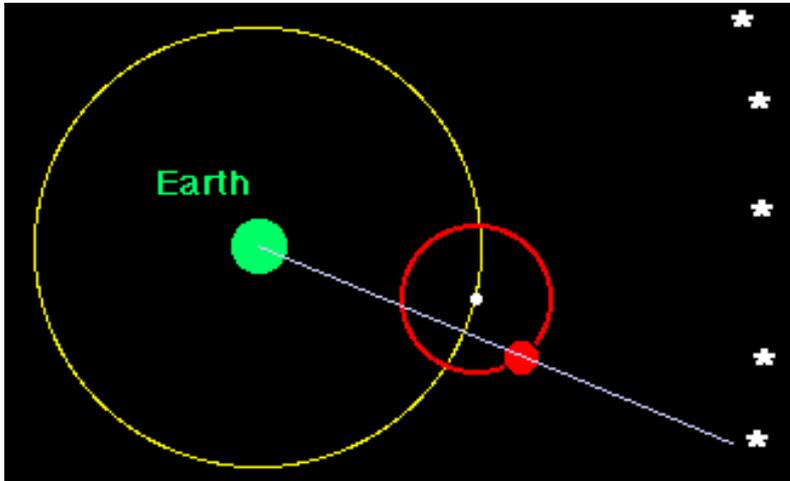


Les épicycles de Ptolémée (100-178)



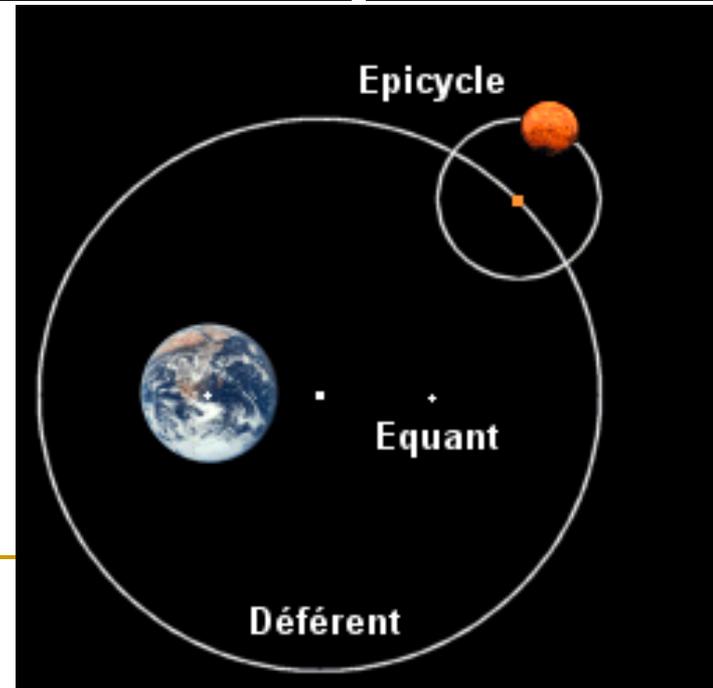
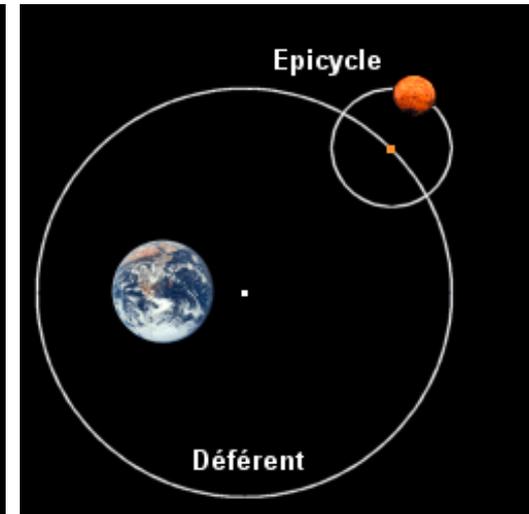
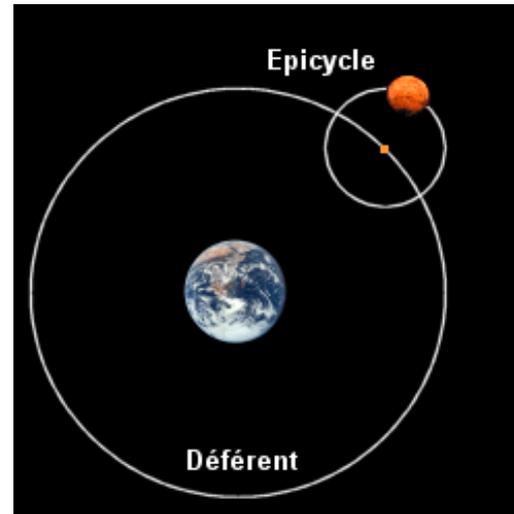
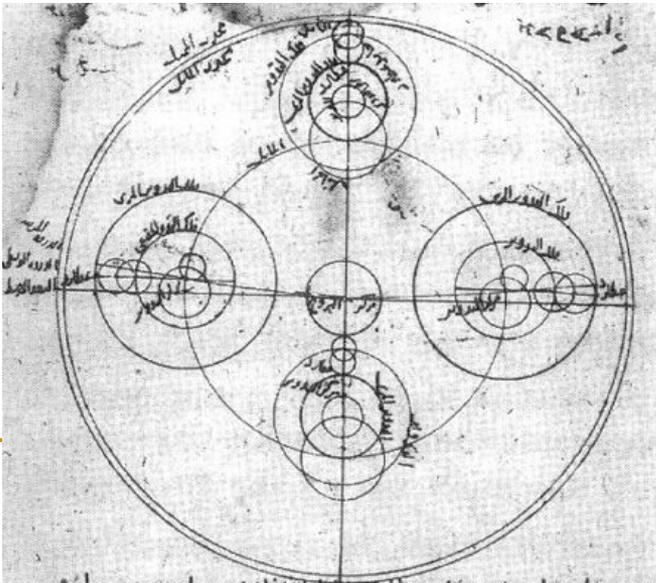
Les épicycles de Ptolémée (100-178)

- Très bonne prédiction du mvt des planètes (pour la précision de l'époque) : éclipses de Lune et de Soleil, conjonctions



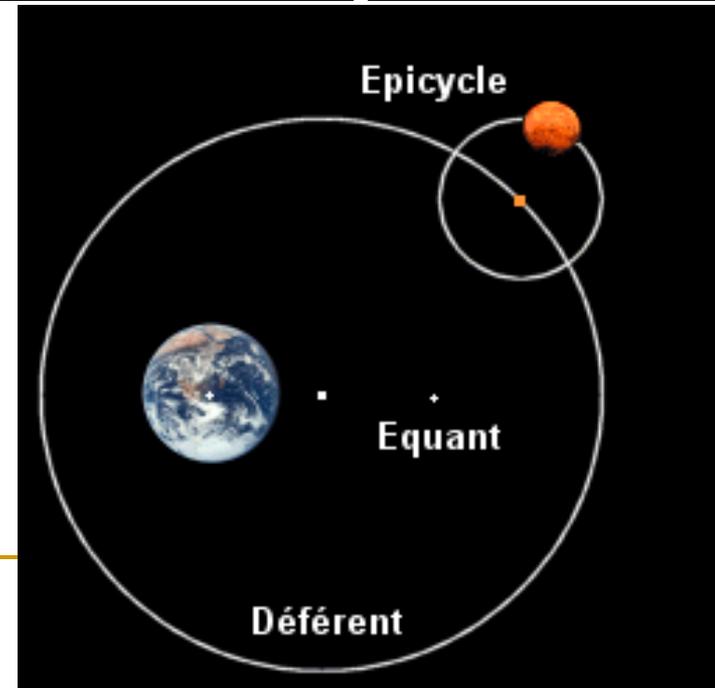
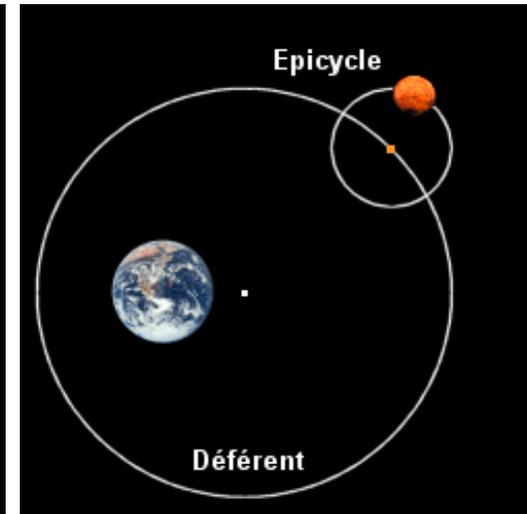
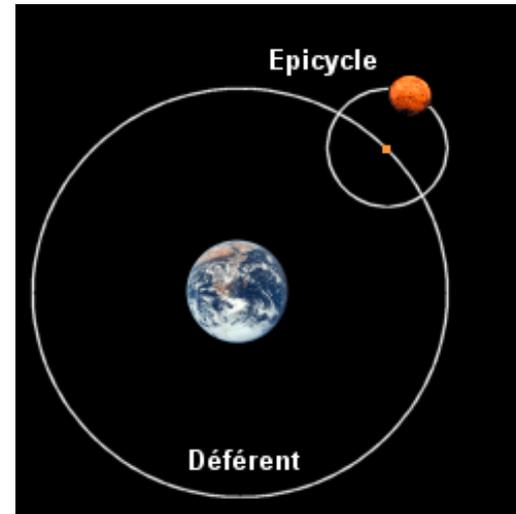
Les épicycles de Ptolémée (100-178)

- Très bonne prédiction du mvt des planètes (pour la précision de l'époque)
- Système de référence, régulièrement amélioré : introduction de l'équant, ajout d'épicycles (\Rightarrow 20 !)



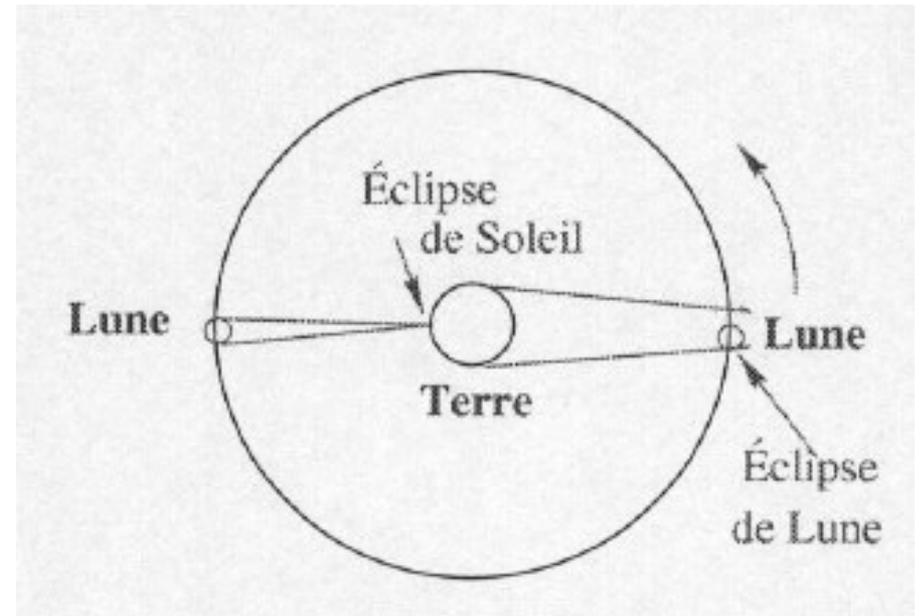
Les épicycles de Ptolémée (100-178)

- Très bonne prédiction du mvt des planètes (pour la précision de l'époque)
- Système de référence régulièrement amélioré : introduction de l'équant, ajout d'épicycles (\Rightarrow 20 !)
- **Révolution** : abandon du mvt circulaire uniforme, Terre n'est plus au centre



Ombres, éclipses

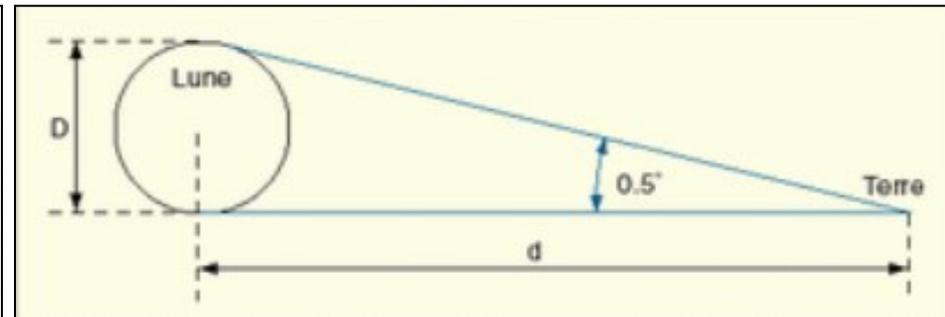
- Mesure de la distance Terre-Lune
- Mesure de la distance Terre-Soleil
- Mesure de la vitesse de la lumière
- Phases de la Lune





Distance Terre-Lune

- Aristarque de Samos (310-230 av. JC)
- Exercice :
 - Vitesse de la Lune dans le plan du ciel est de $1 \text{ } \emptyset$ lunaire/h
 - Ombre terrestre = cylindre
 - Éclipse dure $\approx 3\text{h}$,
 - Rayon de la Terre $R \approx 6400 \text{ km}$, \emptyset lunaire $\approx 0.5^\circ$
 - **Diamètre lunaire D (en km) ? Distance d Terre-Lune ?**





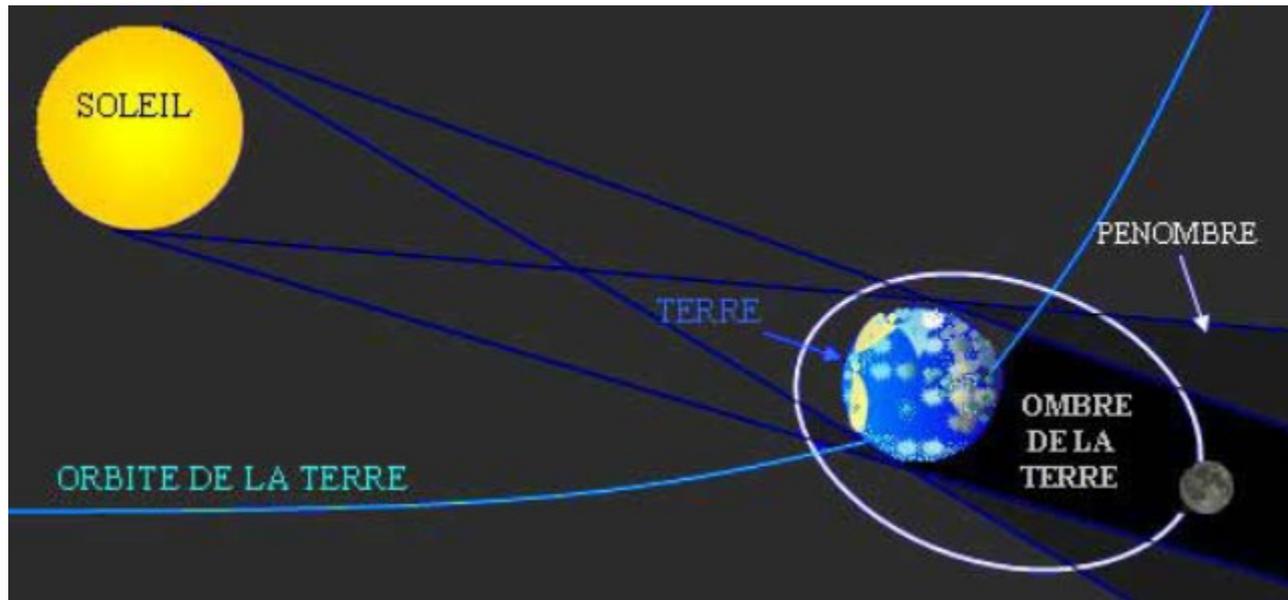
Distance Terre-Lune

- Aristarque de Samos (310-230 av. JC)
- Exercice :
 - Vitesse de la Lune dans le plan du ciel est de 1 \emptyset lunaire/h
 - Ombre terrestre = cylindre
 - Éclipse dure ≈ 3 h,
 - Rayon de la Terre $R \approx 6400$ km, \emptyset lunaire $\approx 0.5^\circ$
 - Diamètre lunaire D (en km) ? Distance d Terre-Lune ?
- Solution :
 - $3D=2R \Rightarrow D \approx 4270$ km (3474 km – 20% d’erreur)
 - $\tan(0.5^\circ \text{ en rad.}) = D/d \approx 0.5 \times \pi / 180 \Rightarrow$
 $d \approx 490000$ km (384400 km – 30% d’erreur)



Distance Terre-Lune

Hipparque (190-125 av. JC) améliore la mesure en supposant que l'ombre de la Terre est un cône

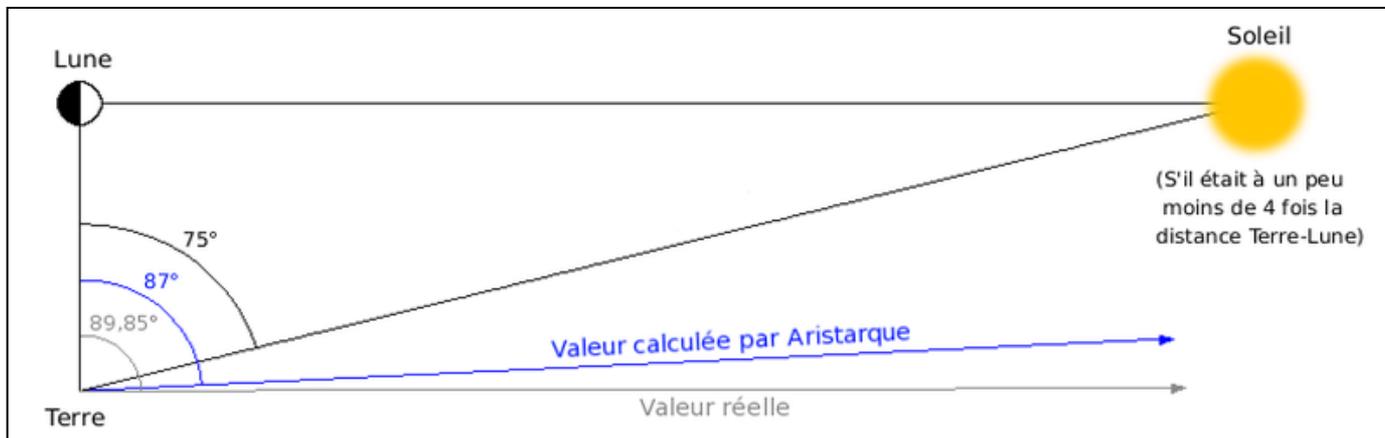
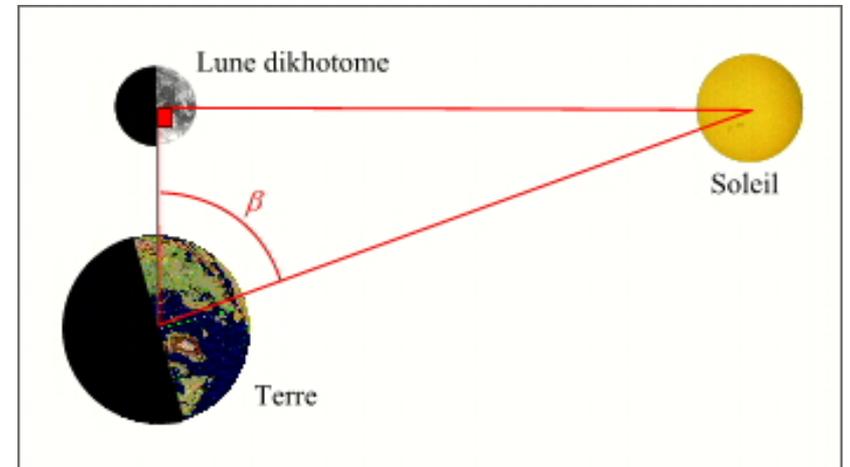




Distance Terre-Soleil

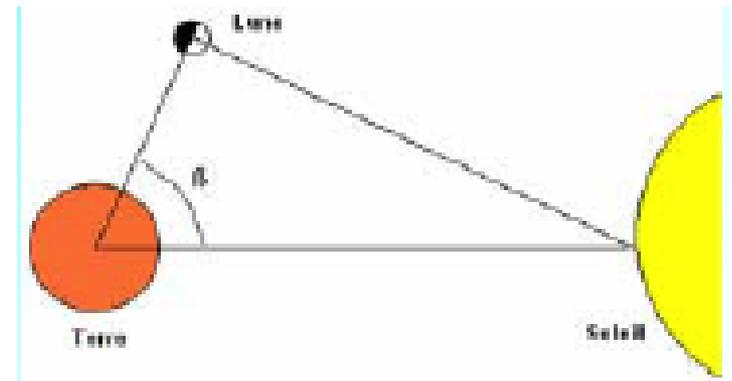
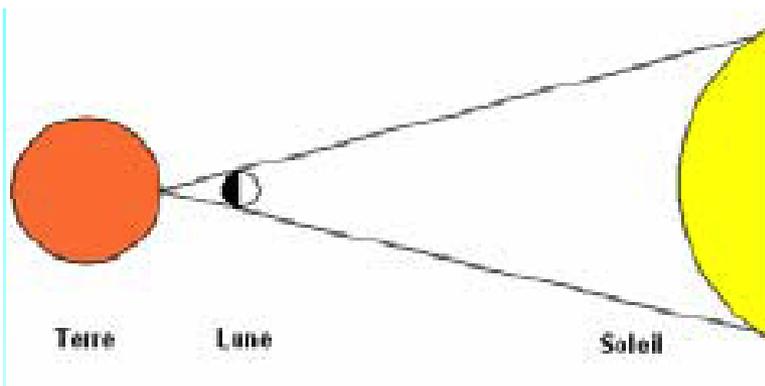
■ Aristarque de Samos (310-230 av. JC)

- $\beta \approx 87^\circ$
- $d_{TS}/d_{TL} = 1/\sin(90^\circ - \beta) \approx 19$
 $\Rightarrow d_{TS} \approx 10.000.000 \text{ km}$
(150.000.000 km)



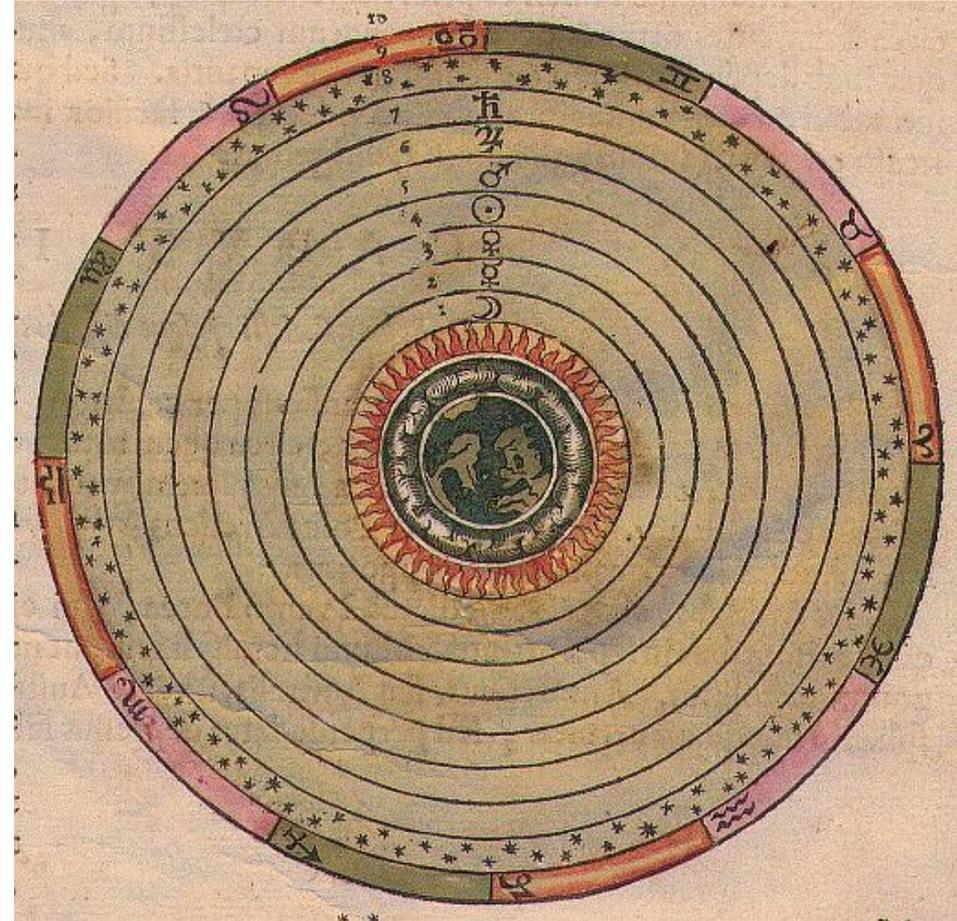
Aristarque de Samos (310-230 av. J.-C.)

- Estimation taille Soleil > taille de la Lune
- Estimation distance Soleil
- C'est donc autour du Soleil que doit tourner les planètes.
- "*Les Hypothèses*" (livre disparu) cité par Archimède dans son traité de l'Arénaire
- 1^{er} système héliocentrique, mais orbite circulaire



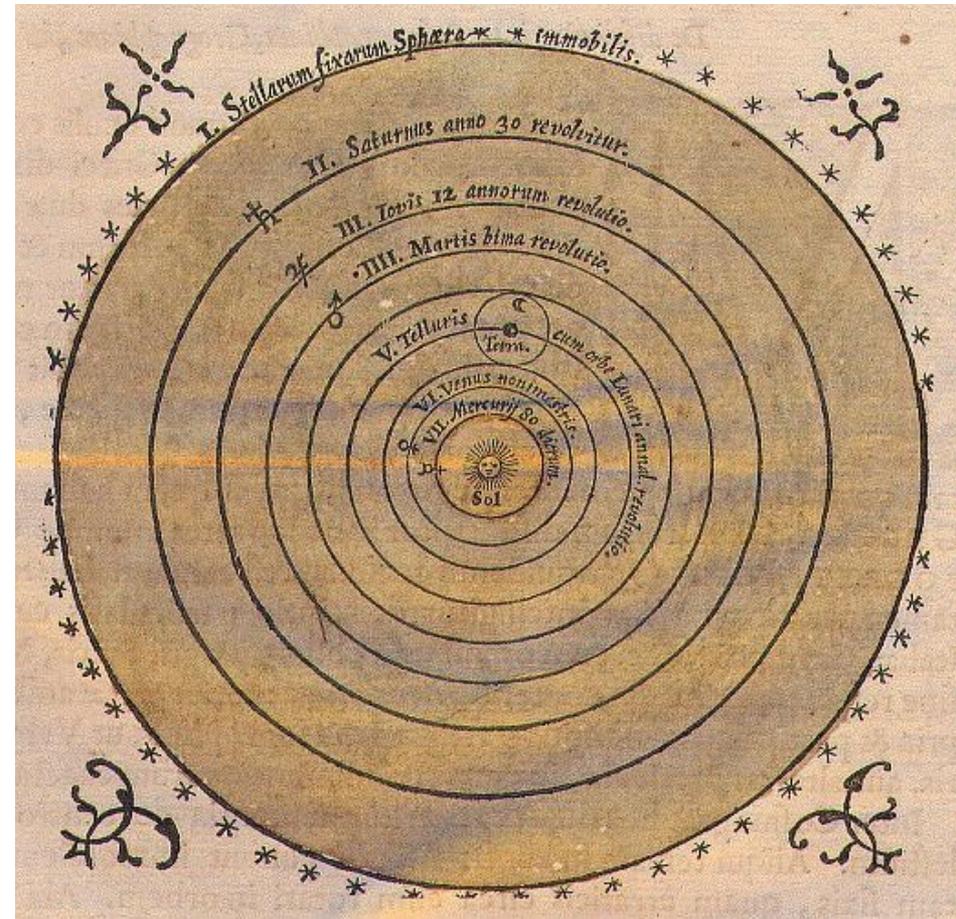
Les épicycles de Ptolémée (100-178)

- Ptolémée, « *Almagest* » : théorie des épicycles
- Mvt très complexe des planètes
- Système de référence pendant plus de 1000 ans
- **2^{ème} révolution** : Galilée, mais changement profond déjà amorcé par Copernic et Kepler



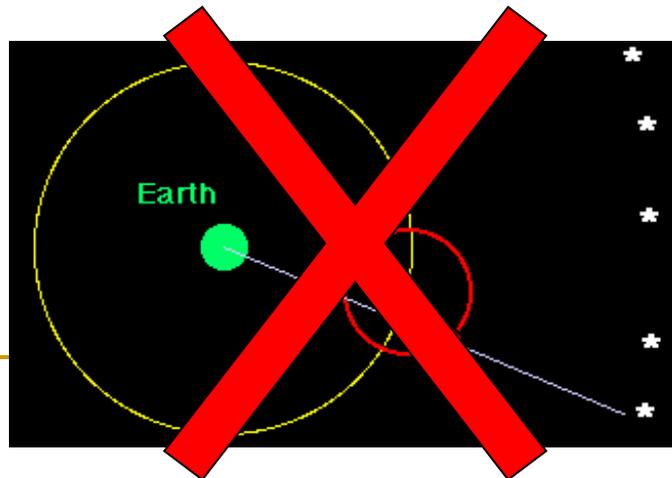
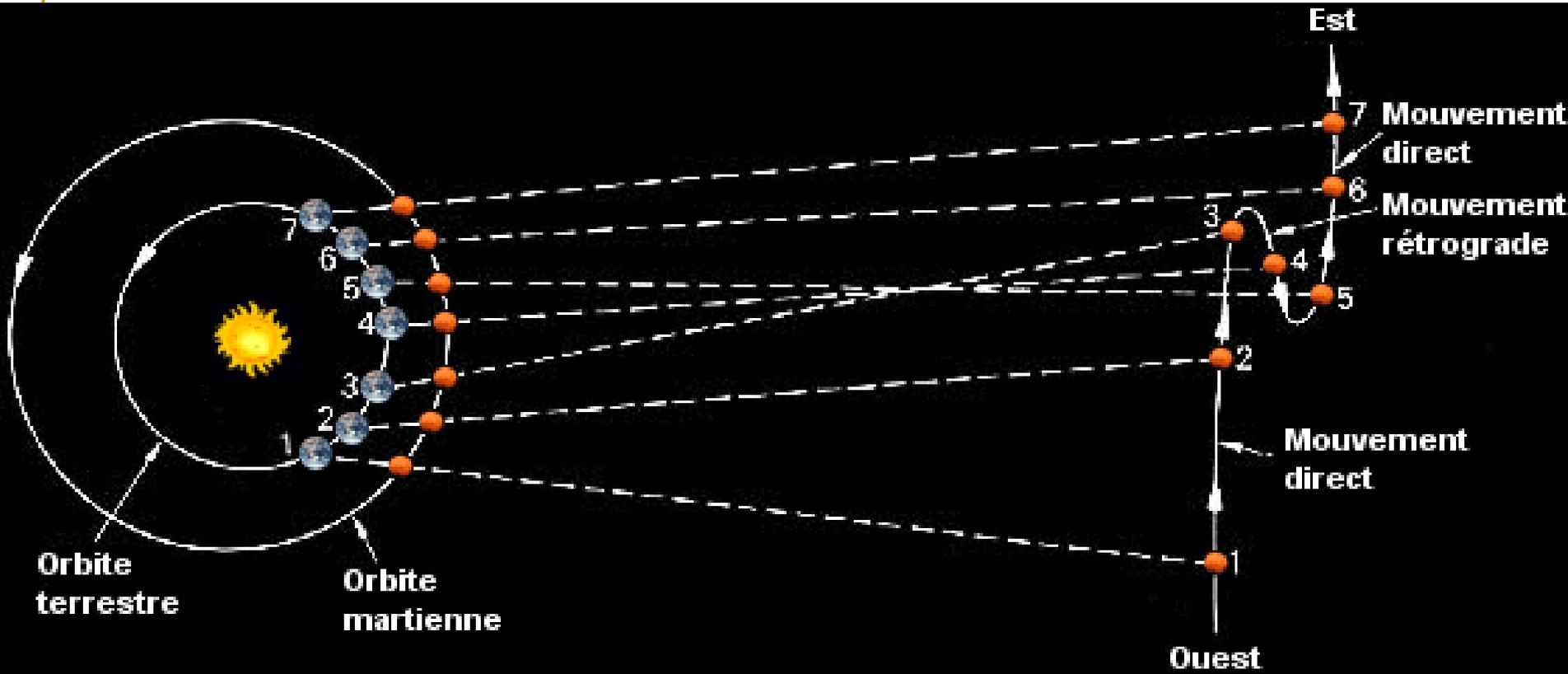
La révolution copernicienne – la théorie héliocentrique

- Copernic (1473-1543) : « *De Revolutionibus Orbium Caelestium* » (1543) : La Terre n'est pas au centre de l'Univers, mais elle orbite autour du Soleil comme les autres planètes
- Tjrs trajectoires circulaires!

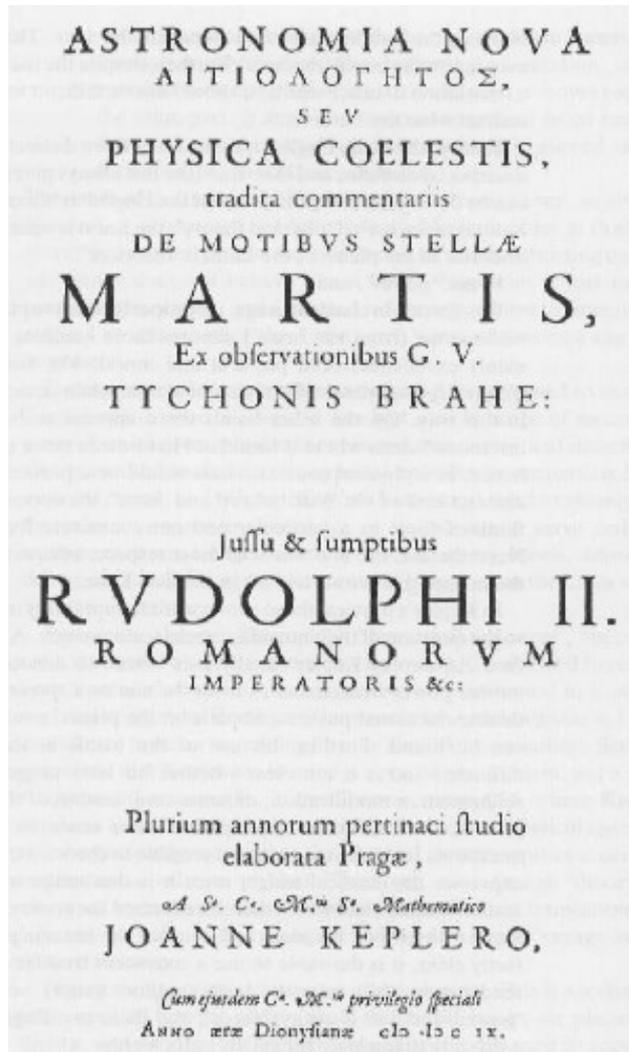




- Système centré autour du Soleil
- La Terre est une planète (la 3^{ème})
- Mouvement de la Terre:
 - Rotation journalière
 - Rév. annuelle autour du S.
- Mvt céleste circulaire et uniforme
- Univers fini
- Rotation quotidienne de la sphère fixe des étoiles



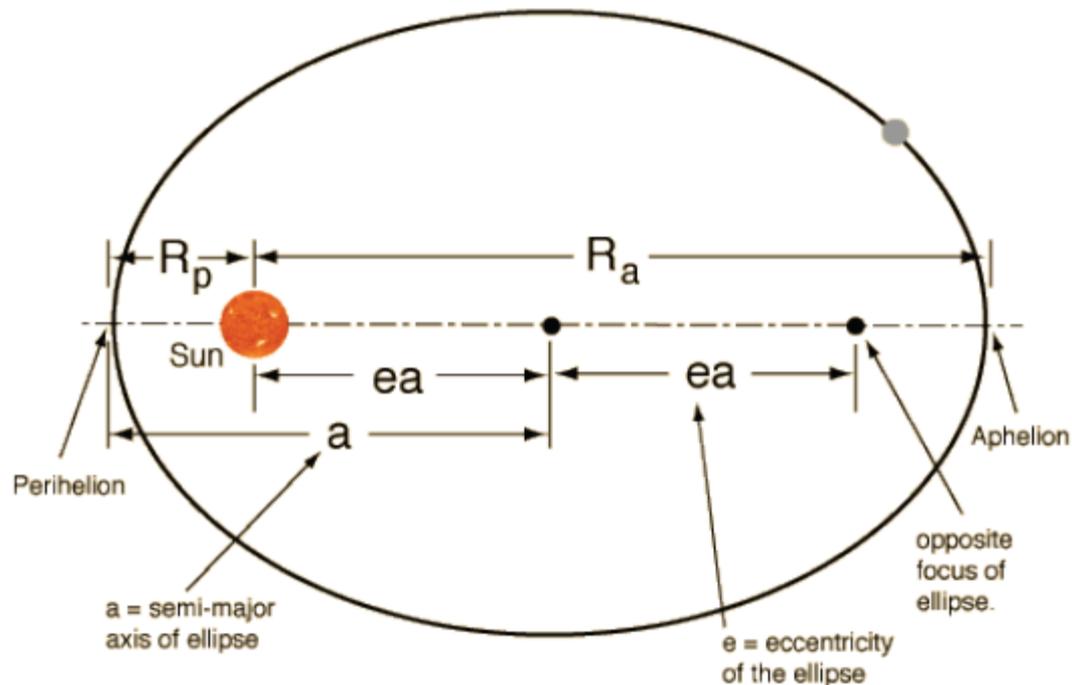
Les lois de Kepler I (1571-1630)



- Assistant de Tycho Brahé, Prague
- Brahé lui donne le mouvement observé particulièrement compliqué de Mars à comprendre
- Kepler croît au modèle de Copernic, mais dans le détail, orbite circulaire ne marche pas
- Idée de l'orbite elliptique
- A partir des observations, il établit 3 lois

Les lois de Kepler II (1571-1630)

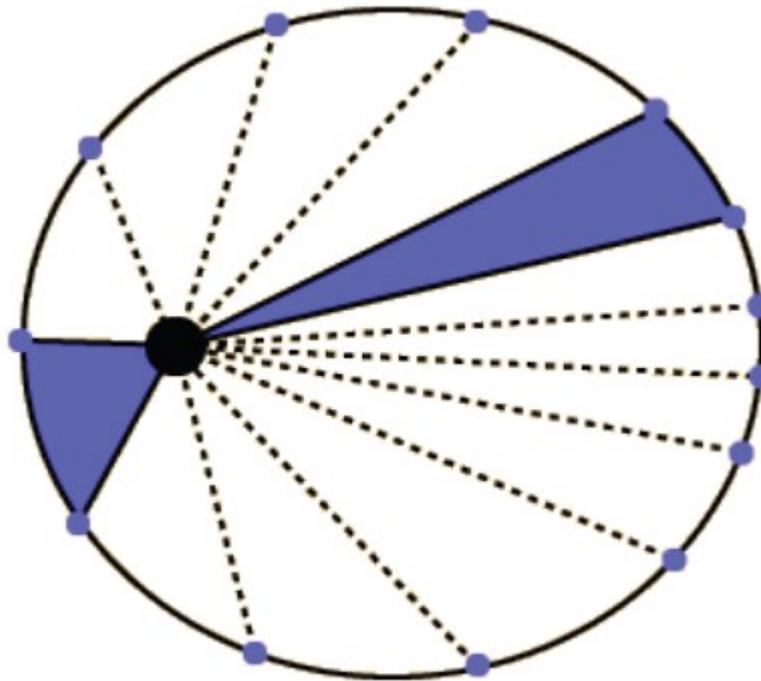
1^{ère} loi : orbite elliptique des planètes avec
Soleil au foyer



$$R_a = a(1+e) \quad R_p = a(1- e)$$

Les lois de Kepler II (1571-1630)

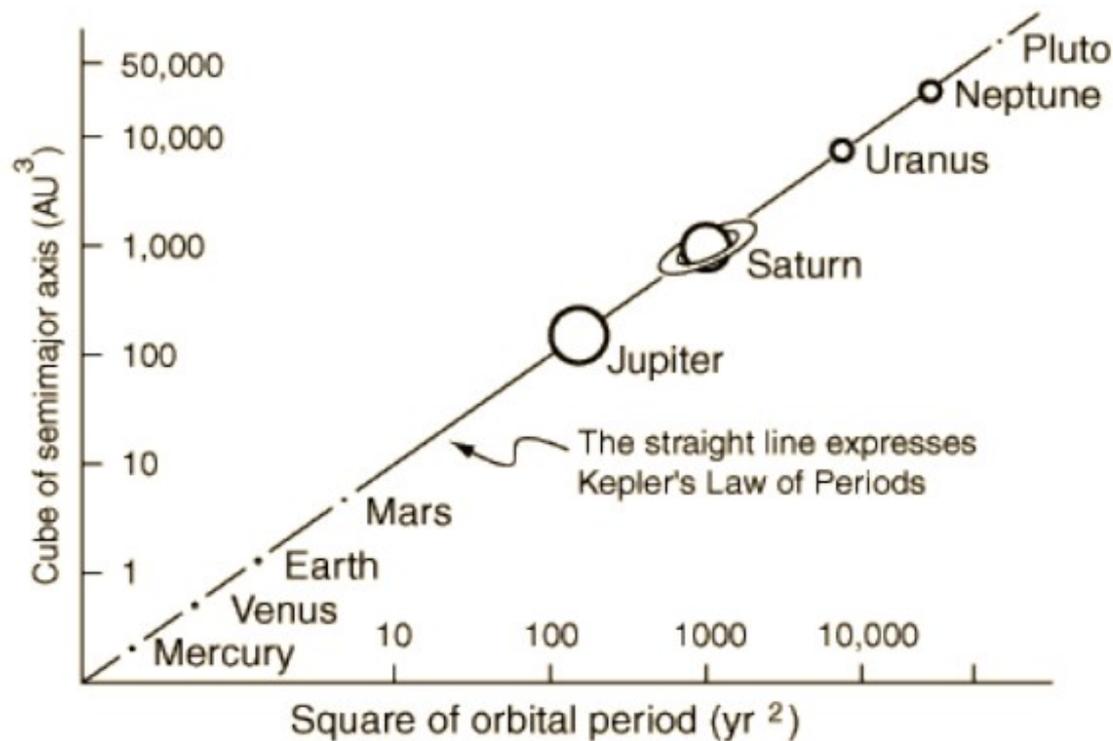
2^{ème} loi : une ligne qui joint une planète au Soleil balaie des aires égales en des temps égaux



Les lois de Kepler II (1571-1630)

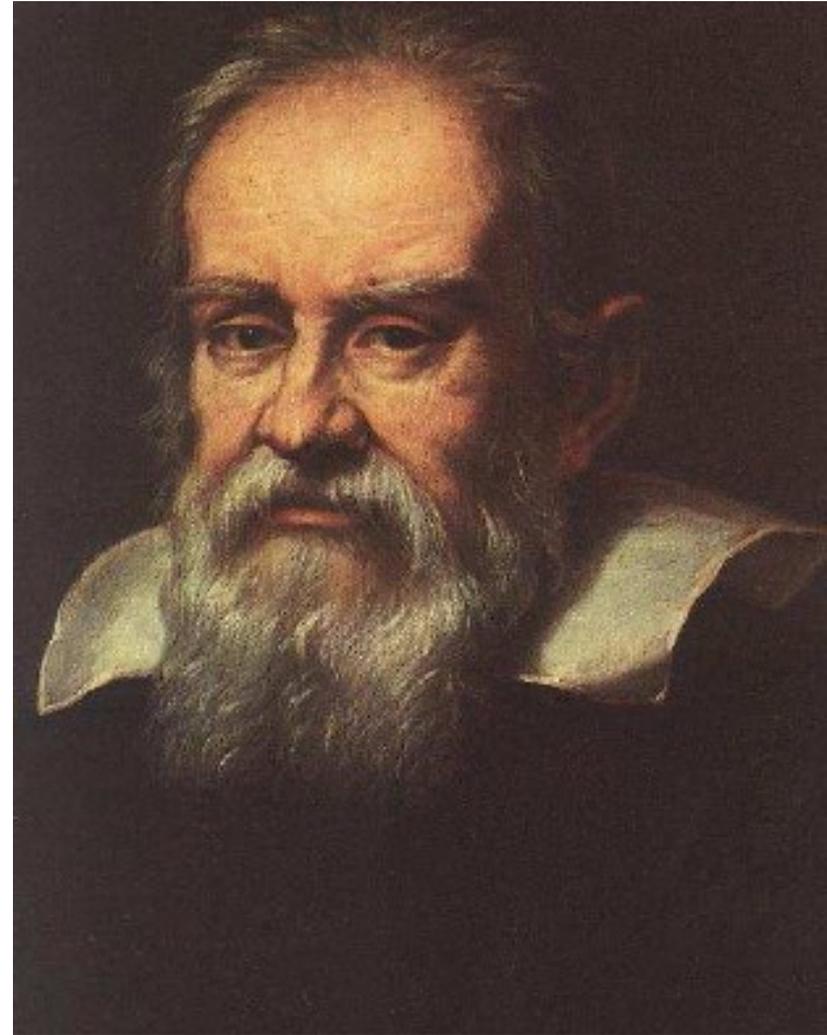
3^{ème} loi : relation Période-Distance

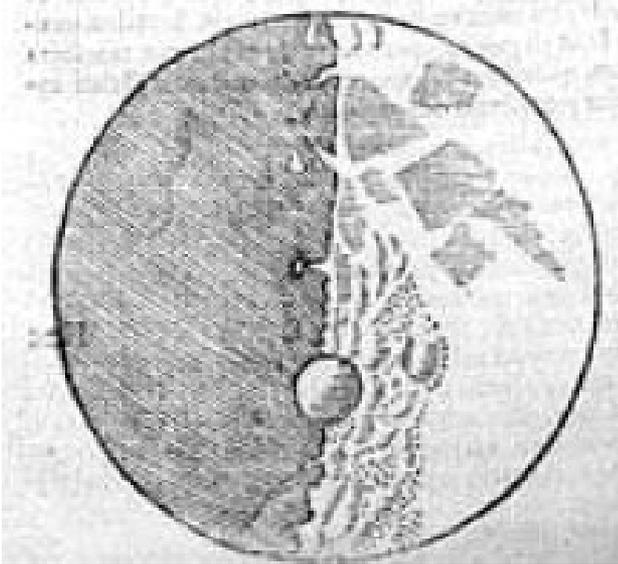
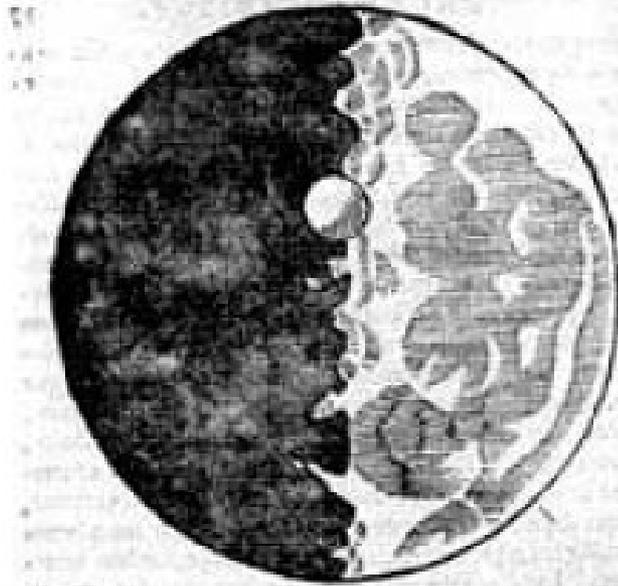
$$T^2/a^3 = 4\pi/GM_S$$



Galilée(1564-1642)

- 1^{ère} lunette astronomique
- Montagnes et cratères lunaires
- Tâches solaires
- Satellites de Jupiter
- Phases de Venus
- Confirme le système copernicien
- Condamné par l'église en 1633





Hæc enim macula ætæ secundam quadraturam nigri-
 ribus quibusdam tenuiss circumvallata conspicitur, qui
 tanquam aliffima montium juga ex parte Solis averta ob-
 scurores apparent, qui vero Solem respiciunt, lucidiores
 existant, eorum oppositum in cavitatibus accidit, quarum
 pars Soli averta splendida apparet. obscura vero ac umbræ-
 la, que ex parte Solis sua est. Luminosa deinde lumino-
 sa superficie, cum partem tota fere dicta macula tenebris
 est obducta, clavis montium dorsa eminenter tenebras
 ferunt. Hinc duplitem apparentiam sequenti figuræ
 demonstrat.

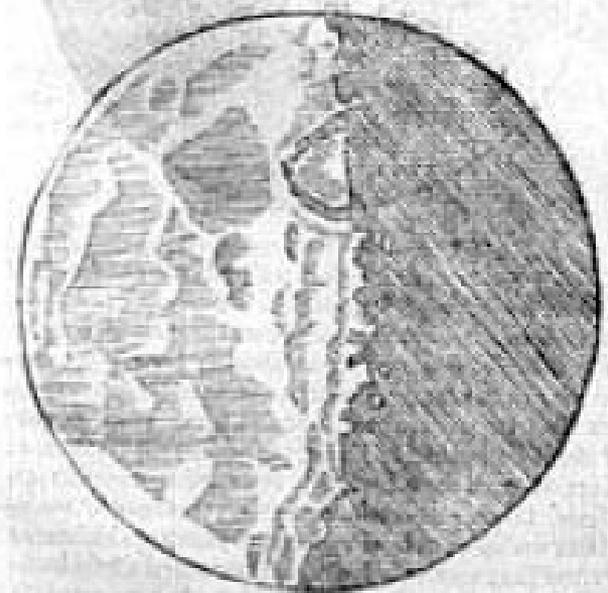
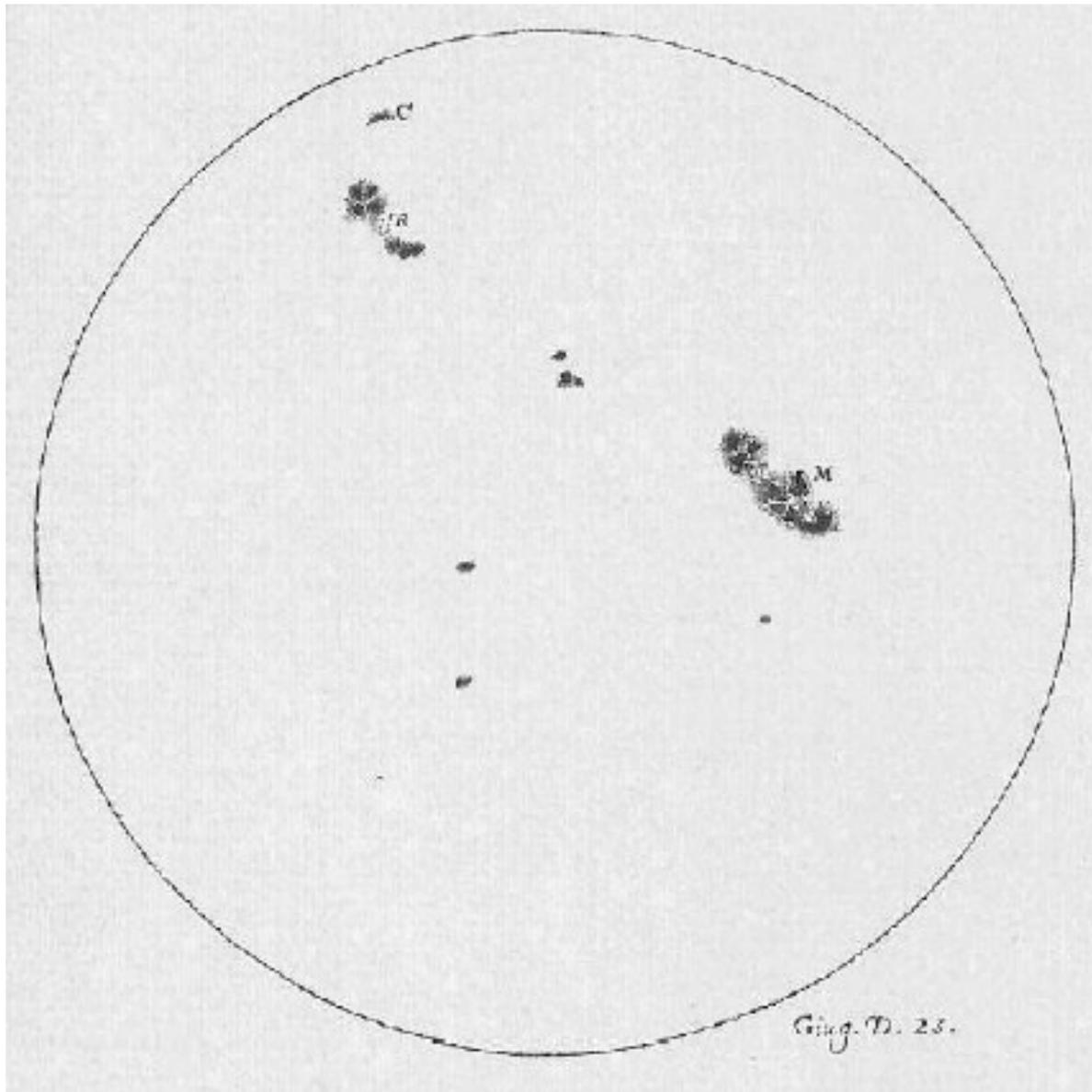
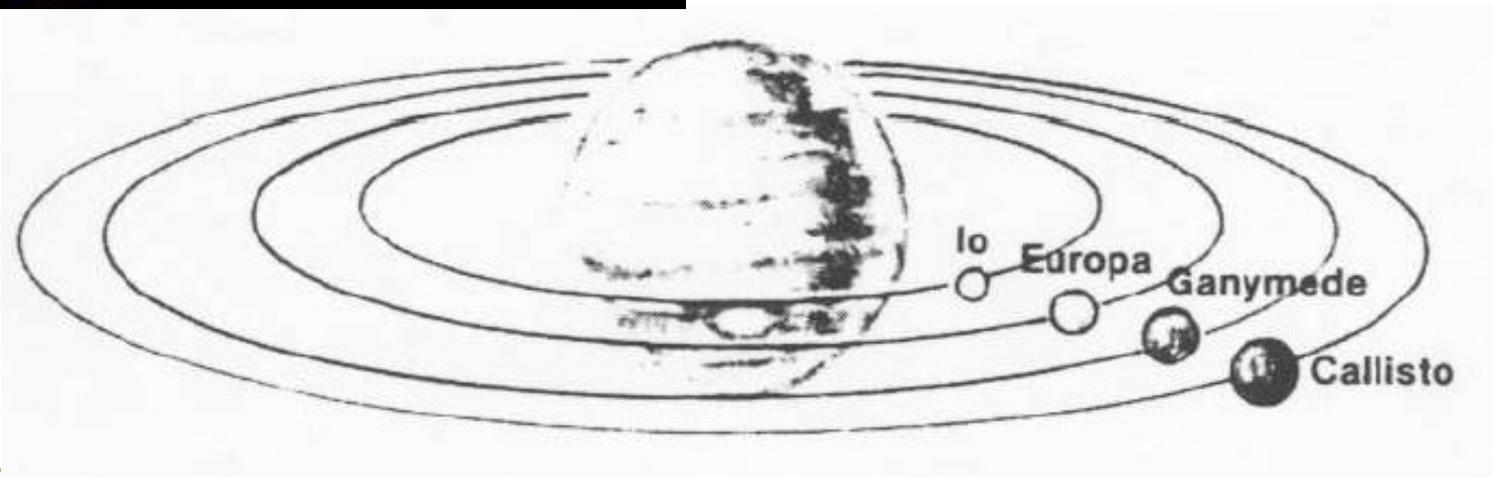


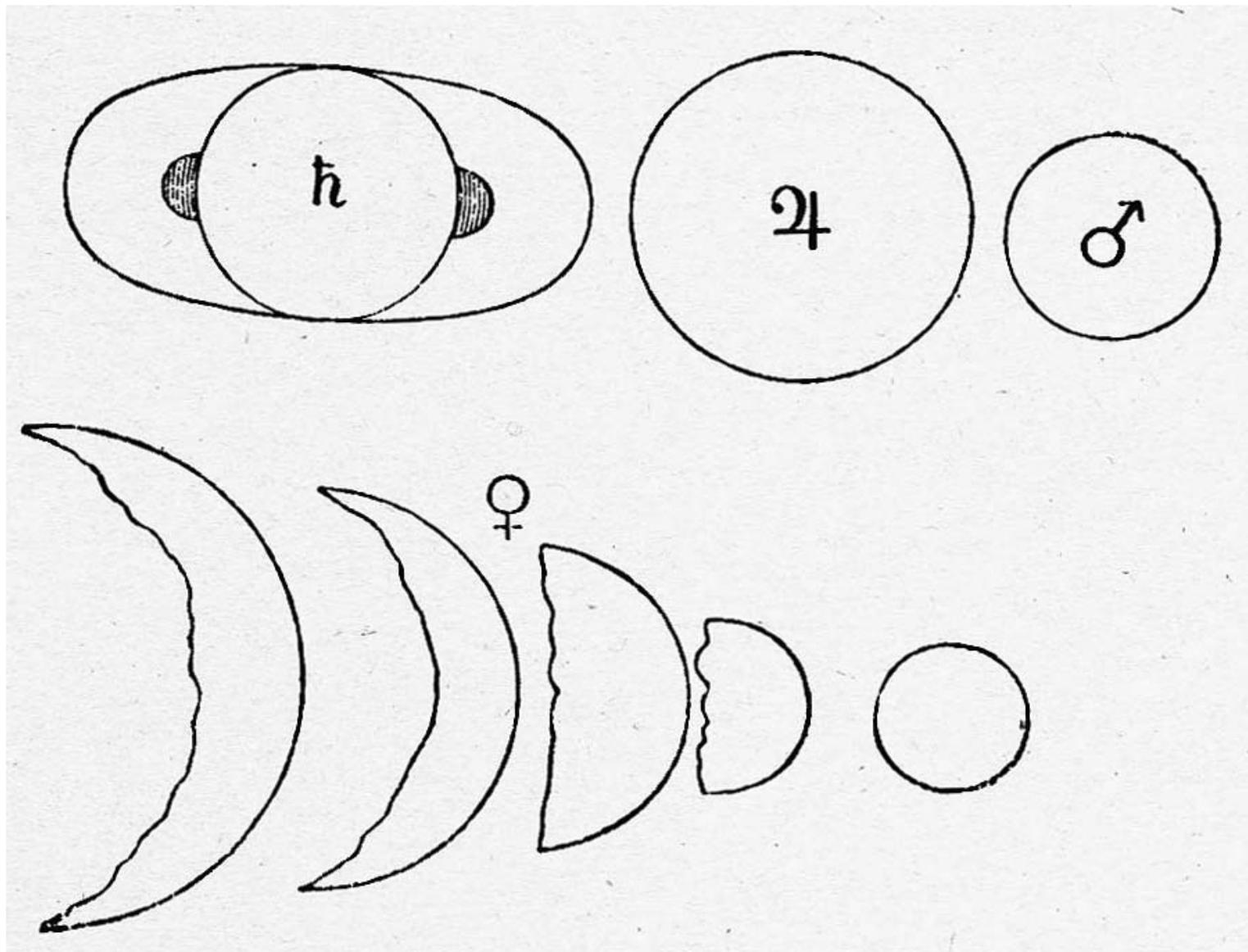
Fig. 1. Utium



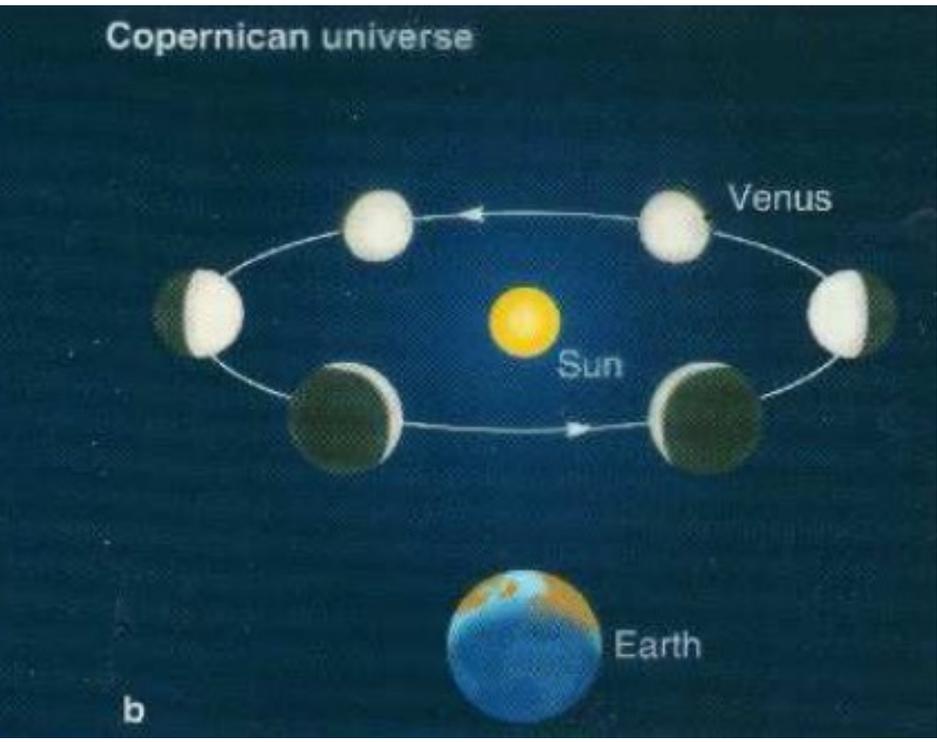
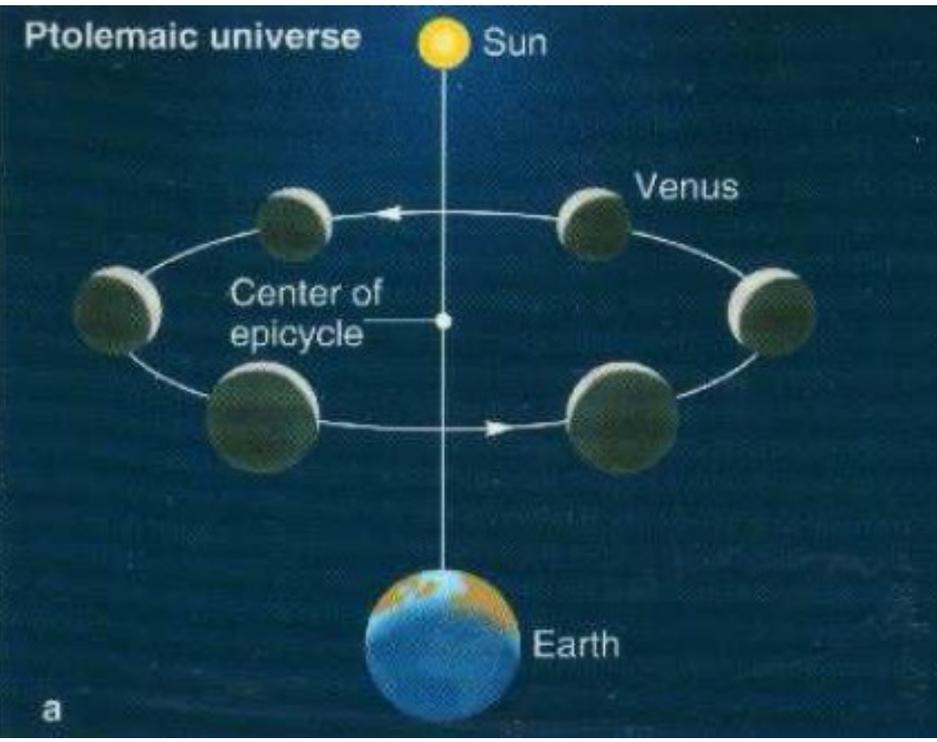


- Mini système solaire
- Confirme l'hyp. Coper.
 - Sat. autour d'une planète différente de la Terre
 - La Lune n'est plus anormale





Venus



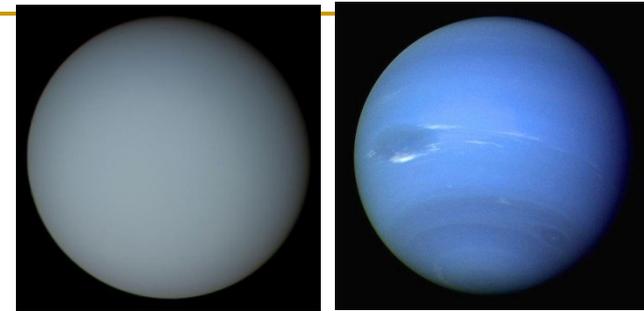
Giordano Bruno (1548-1600)



- Convaincu que Copernic a raison (1585 : « L'Infini, l'univers et les mondes »)
- Si la Terre n'est plus le centre du monde, peut-être y a-t-il d'autres planètes comme la Terre avec éventuellement une vie similaire (voire supérieure) à la notre ?
- Il finit sur le bûcher en 1600 !!



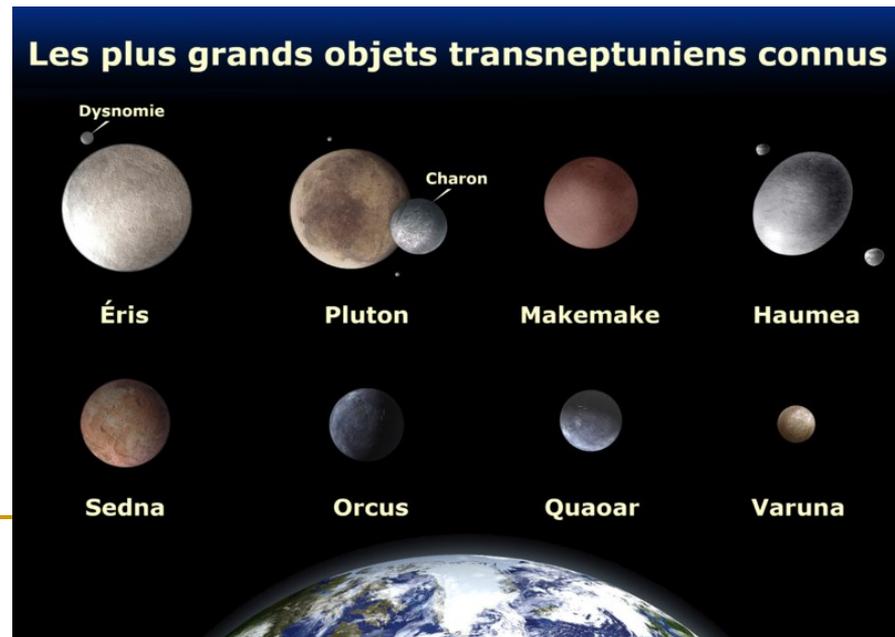
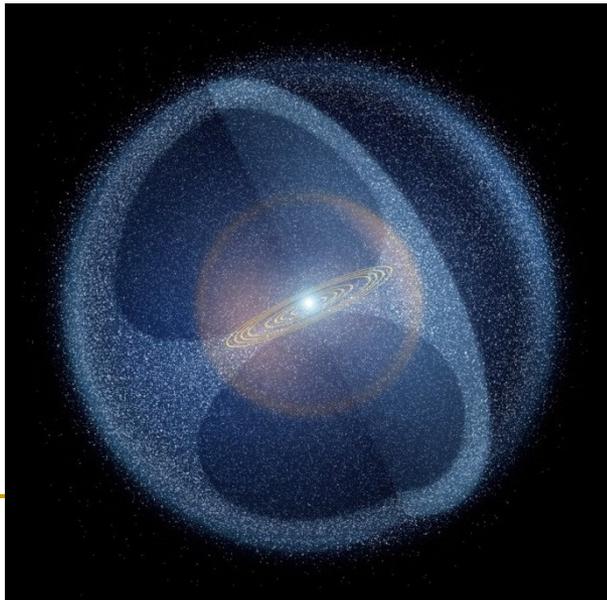
- Uranus : 13 mars 1781 par W. Herschel
- Neptune : 31 août 1846 par U. Le Verrier



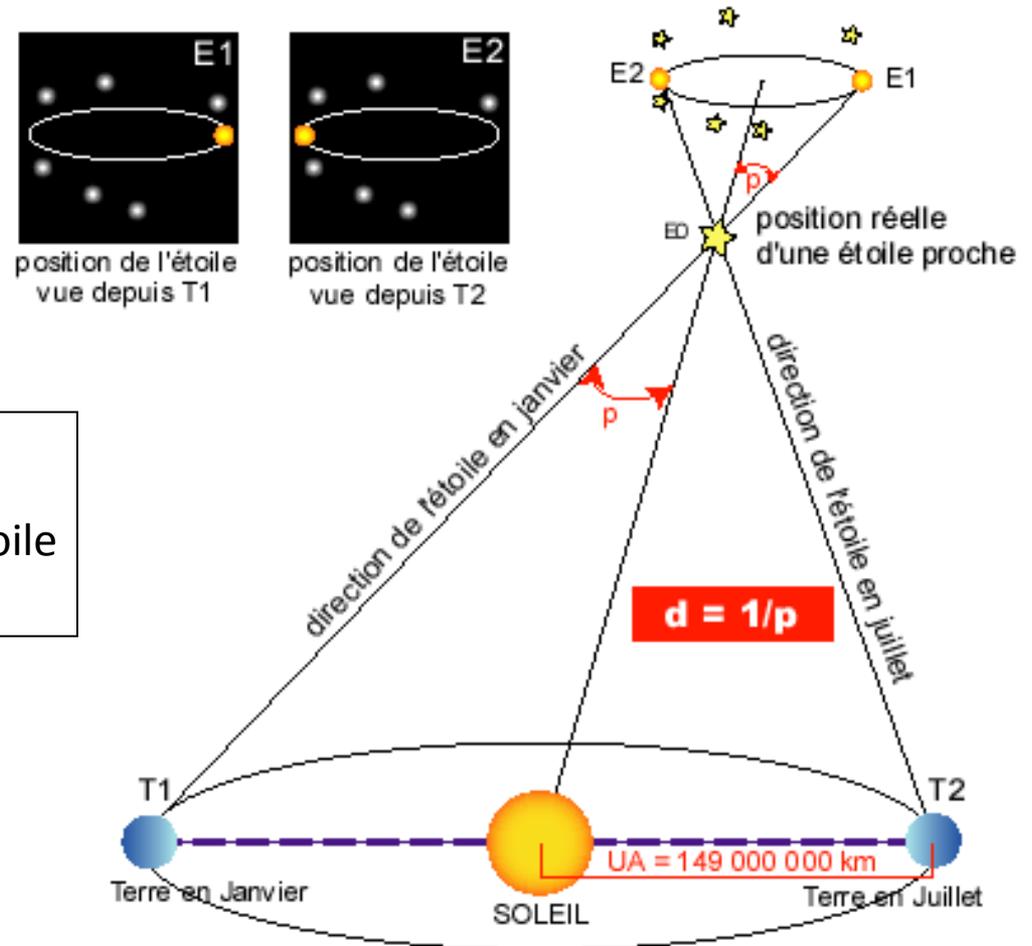
- Planètes naines et petits corps :
 - Pluton : 18 février 1930 par C.W. Tombaugh
 - Ceinture d'astéroïdes
 - Objets transneptuniens
 - Comètes (nuage de Oort ~1950)



- 1^{ère} planète extrasolaires : 1995 (M. Mayor & D. Queloz))



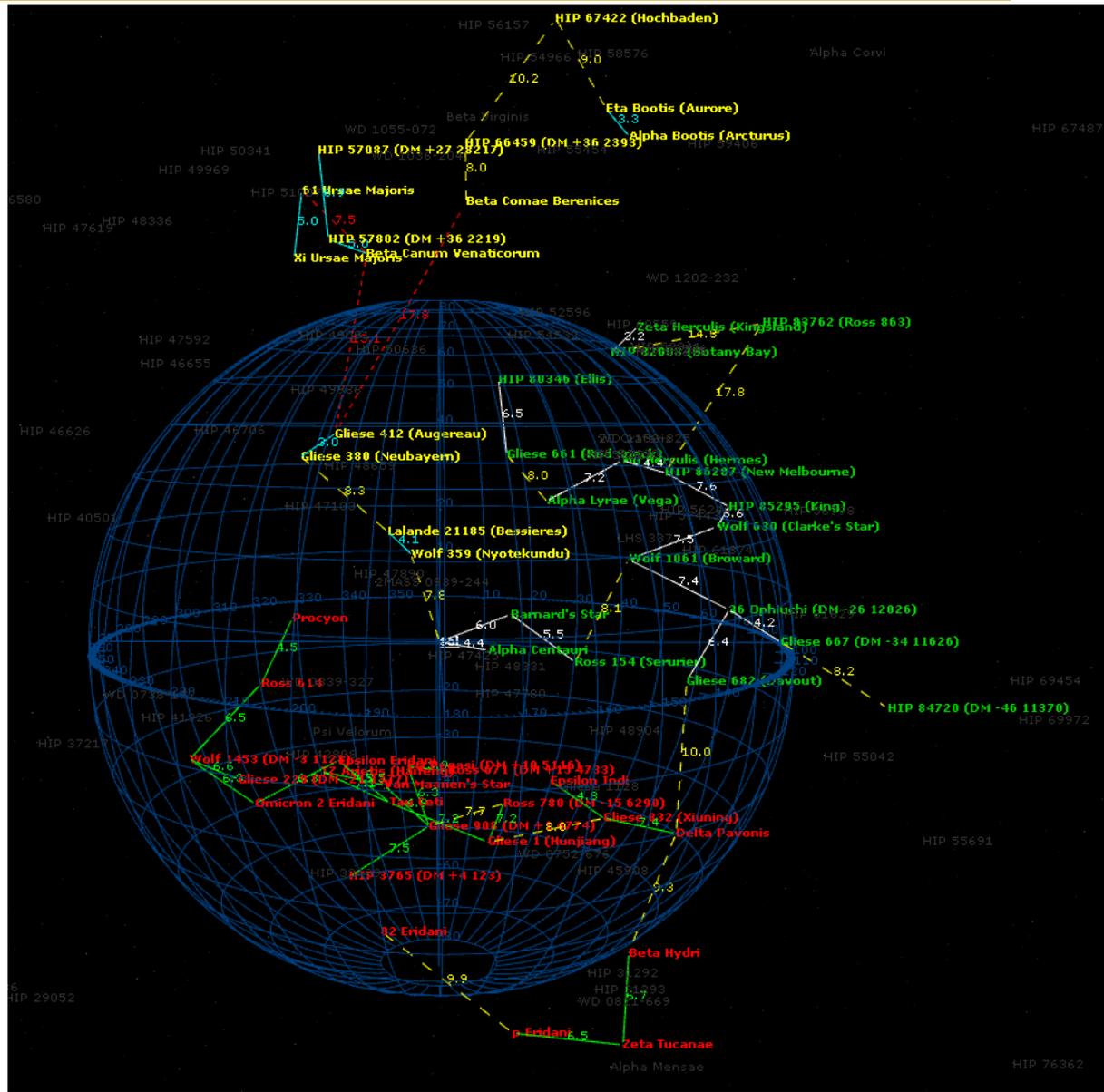
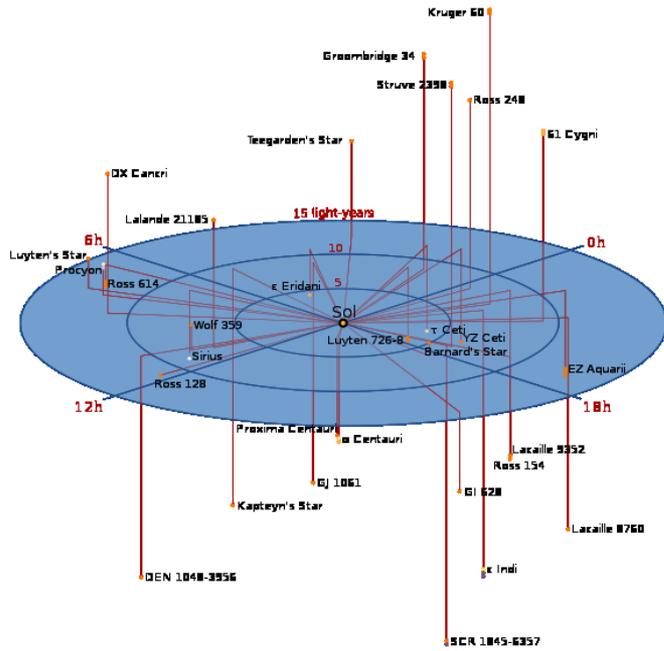
Et après... les étoiles et les galaxies !



XVIIIe : parallaxe diurne de la Lune

1838 : 1^{ère} parallaxe annuelle d'étoile
(F. Bessel) – binaire 61 du Cygne

L'angle de parallaxe (p) est mesuré à 6 mois d'intervalle en secondes d'arc.
La distance depuis laquelle cet angle vaut exactement 1" est appelé **parsec**
(3,26 a.l.).

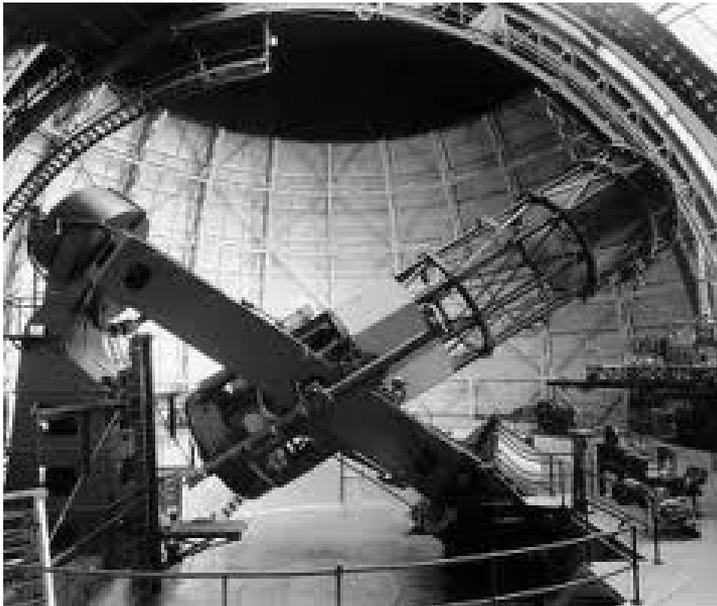


Gaia (19 décembre 2013) :
Cartographie de plus d'un milliard d'étoiles

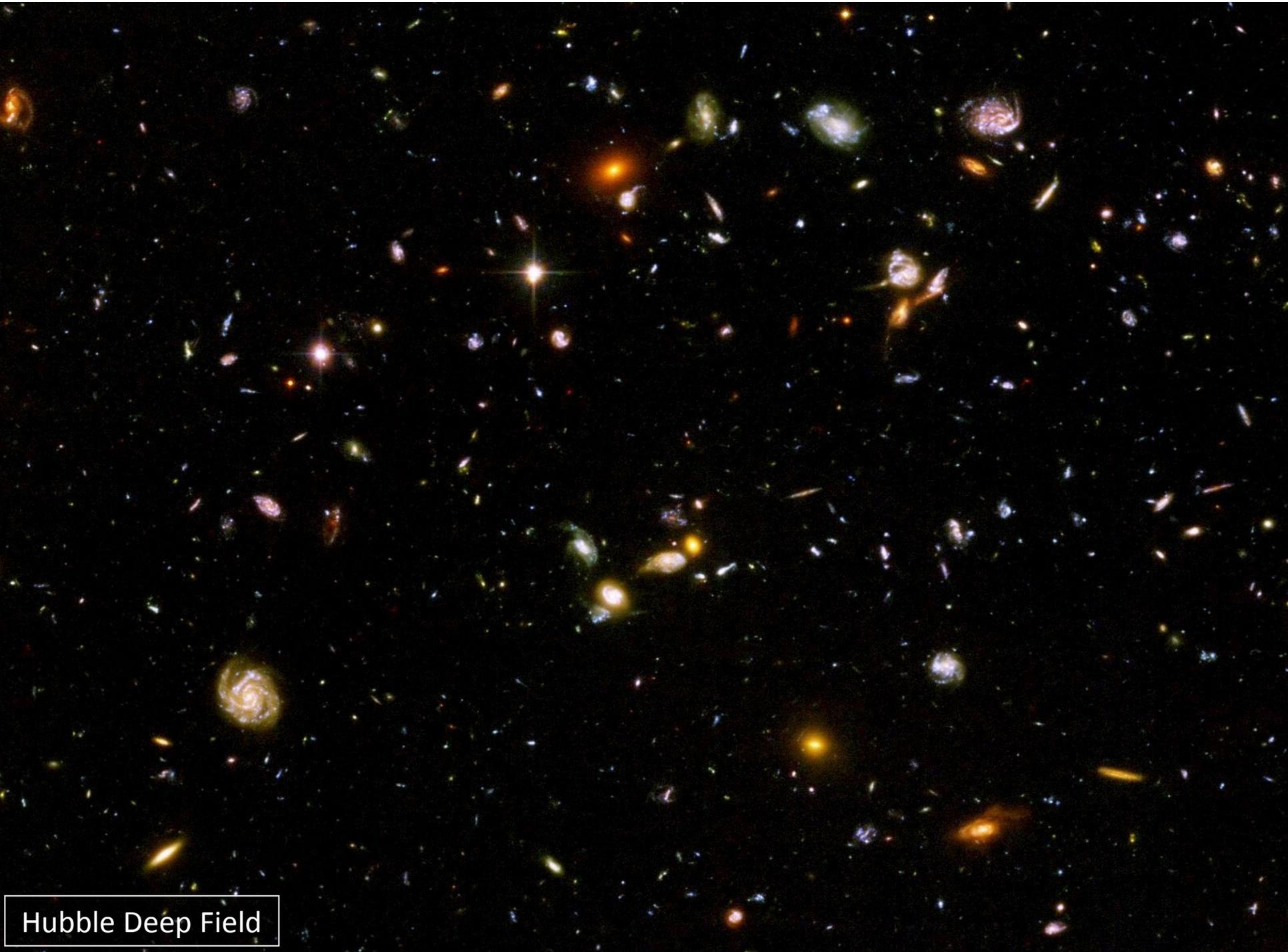
Et après... les étoiles et les galaxies !



Edwin Hubble (1889-1953)



- Mont Wilson: télescope Hooker de 250 cm, le plus puissant au monde à l'époque
- Observation de Céphéides dans les « nébuleuses »
⇒ Chandelles stellaires (mesure de la distance)
- 1925 : découverte des galaxies (« univers-îles ») et début de classification
- 1929 : loi de Hubble – expansion de l'Univers

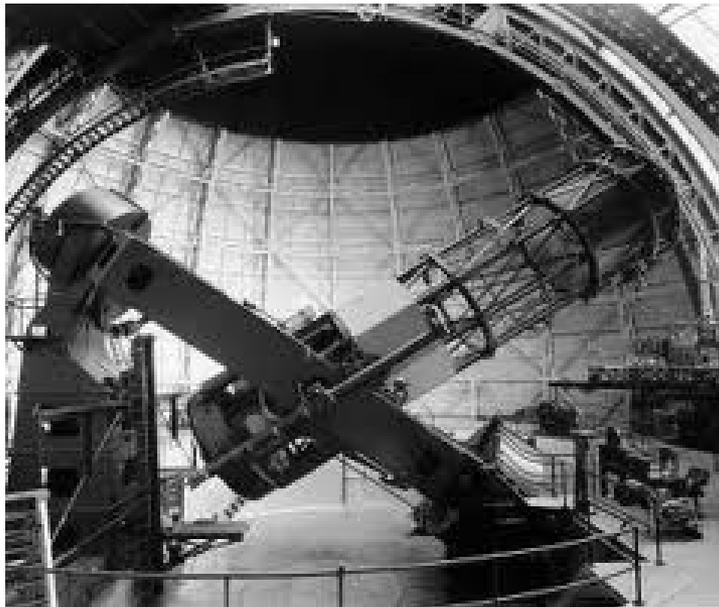


Hubble Deep Field

Et après... les étoiles et les galaxies !



Edwin Hubble (1889-1953)



- Mont Wilson: télescope Hooker de 250 cm, le plus puissant au monde à l'époque
- Observation de Céphéides dans les « nébuleuses »
⇒ Chandelles stellaires (mesure de la distance)
- 1925 : découverte des galaxies (« univers-îles ») et début de classification
- 1929 : loi de Hubble – expansion de l'Univers
- 1905 et 1915 : Einstein, lois de la relativité restreinte et générale

