



Le Système Solaire

Georges Kordopatis
(gkordo@oca.eu)

Observatoire de la Côte d'Azur.

<https://lagrange.oca.eu/fr/enseignement-lagrange/licence-1-uns>

But/Interet

- A partir de quelles observations connait-on le système solaire?
- Ordres de grandeurs des distances et tailles dans le système solaire



Ecliptic

Procyon
Canis Minor

Gemini

Jupiter

Capella

Auriga

Monoceros

Sirius

Betelgeuse

Orion

Mars

Venus
Saturn

Mercury

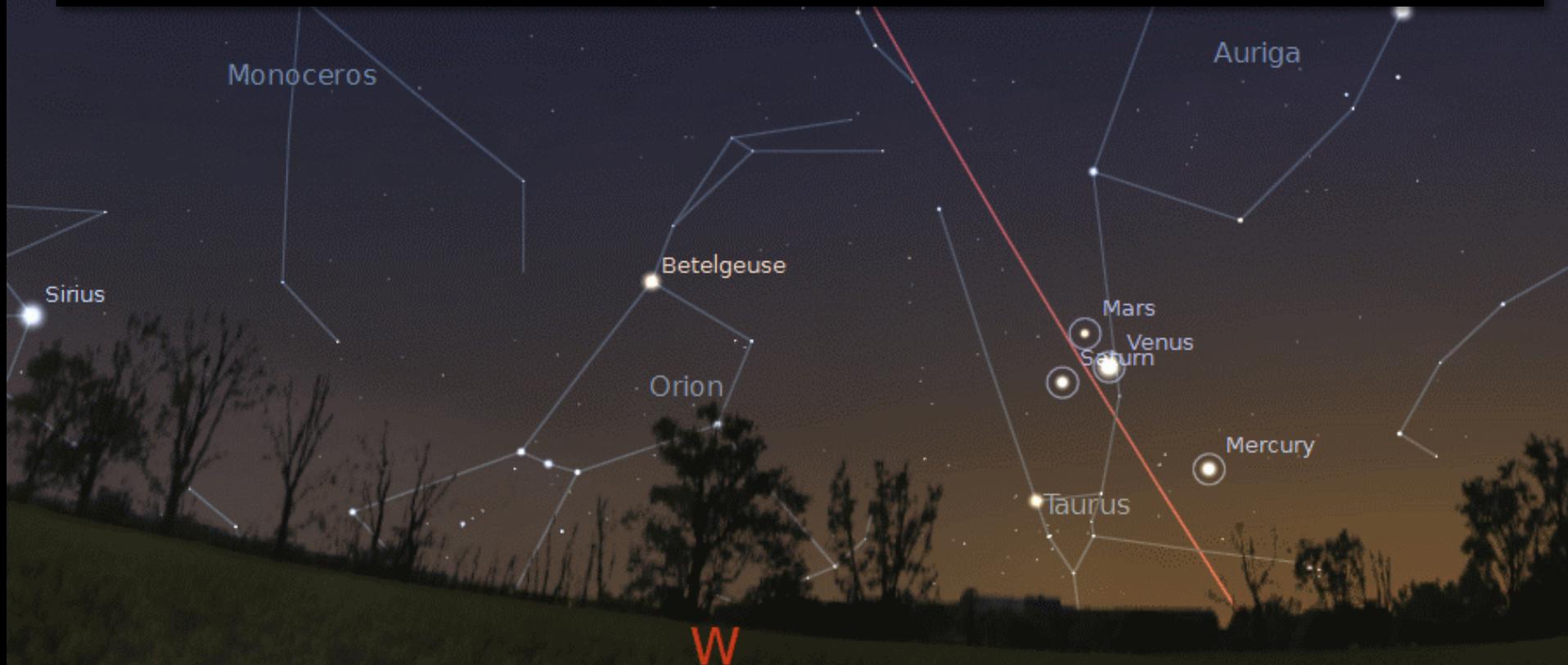
Taurus

W

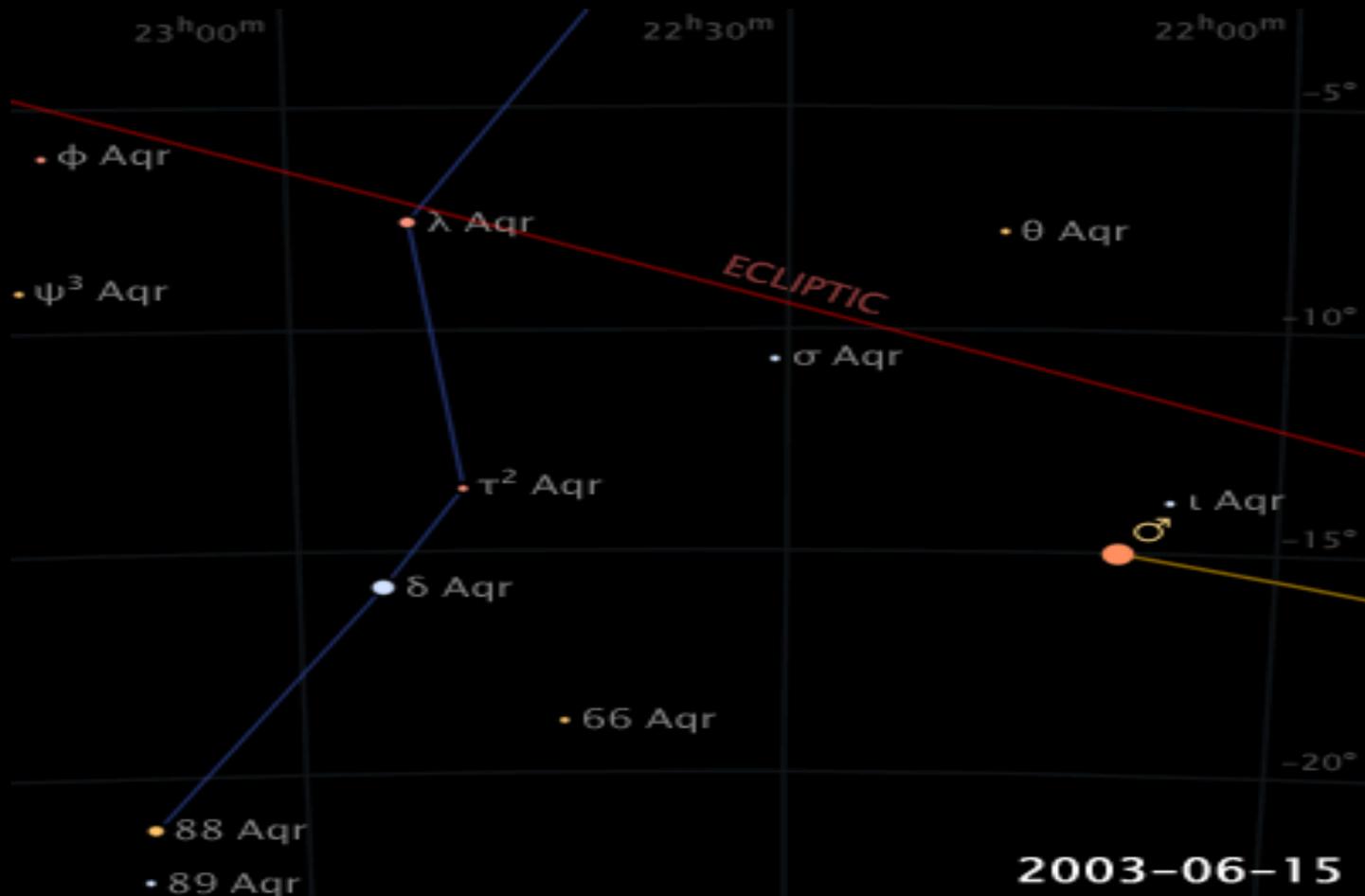
7 anomalies dans la sphère des étoiles fixes

→ 7 jours de la semaine :

Lune, Mars, Mercure, Jupiter, Vénus, Saturne, Soleil.
Lundi, Mardi, Mercredi, Jeudi, Vendredi, *Saturday, Sunday*



Astres errants, appelés en grec **πλανήτης**, planètes.



Ces corps célestes errent, mais pas n'importe où..
On n'en a jamais vu dans la Grande Ourse !

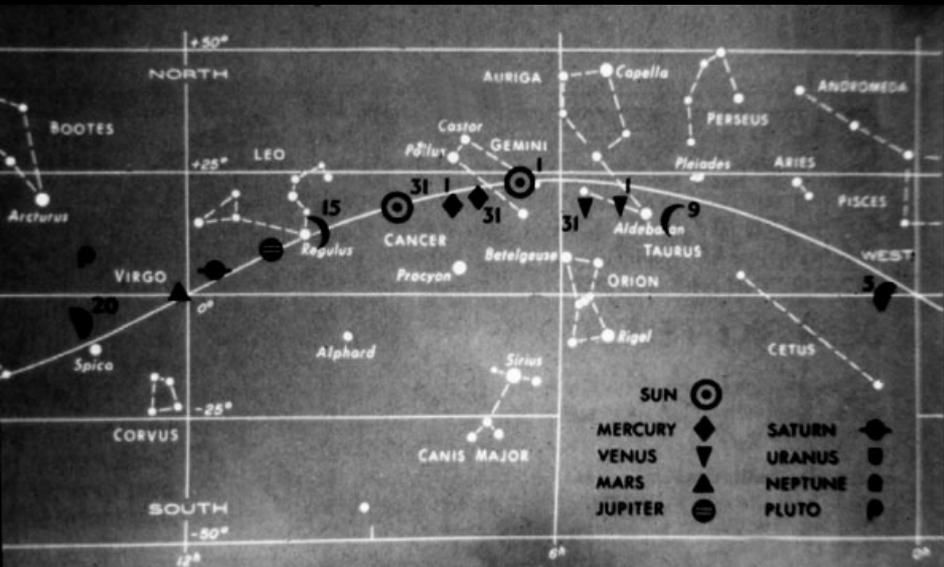
L'ÉTOILE MYSTÉRIEUSE



Capella

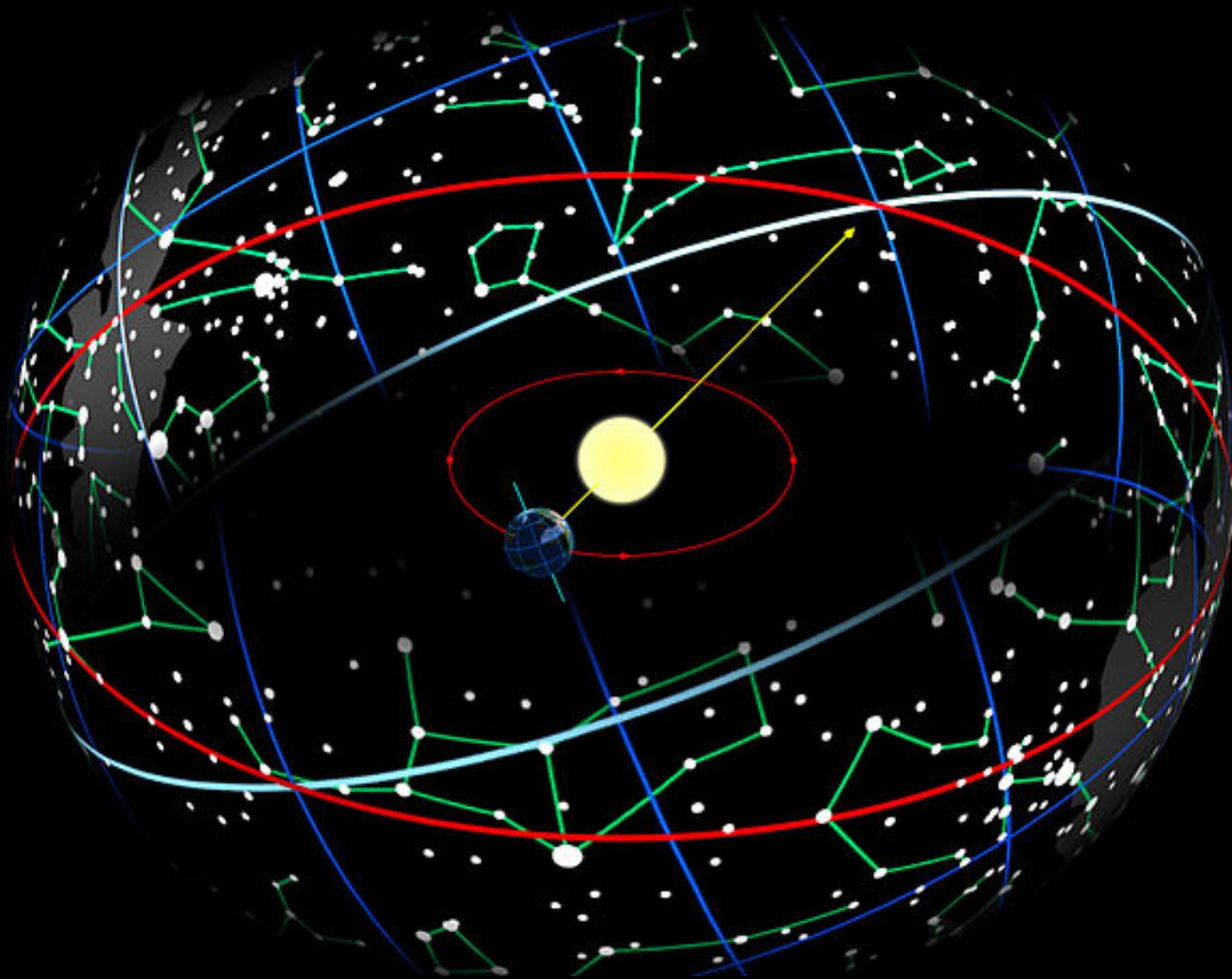
Sirius

Les planètes sont dans le *plan de l'écliptique*, dont l'intersection avec la sphère céleste marque le zodiaque.



Le système Solaire est plat !

Mouvement apparent des planètes



Les planètes se « trouvent » le long de l'elliptique

Le système solaire, vu par la tranche



ecliptic



Saturn

Mars

Venus

Mercury

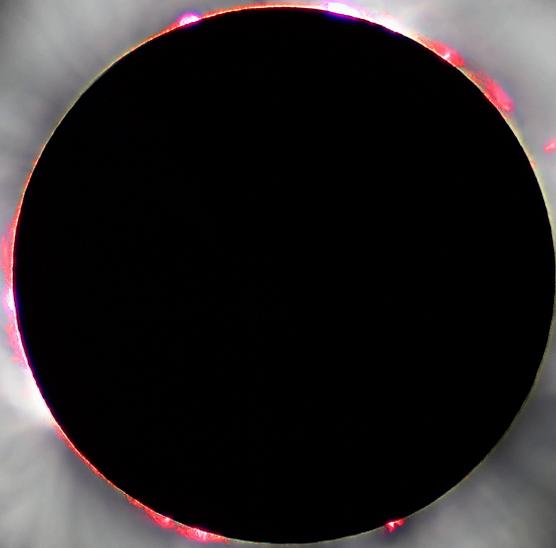
Lumière zodiacale, système solaire vu par la tranche!



Historique: les planètes

- Le système solaire est plan.
- Mais qui tourne autour de qui ?
- Quelle est la taille du système solaire ?
- Quelles sont ces planètes exactement ?
- À quoi ressemblent-elles ?

Le Soleil a le même diamètre angulaire que la Lune.



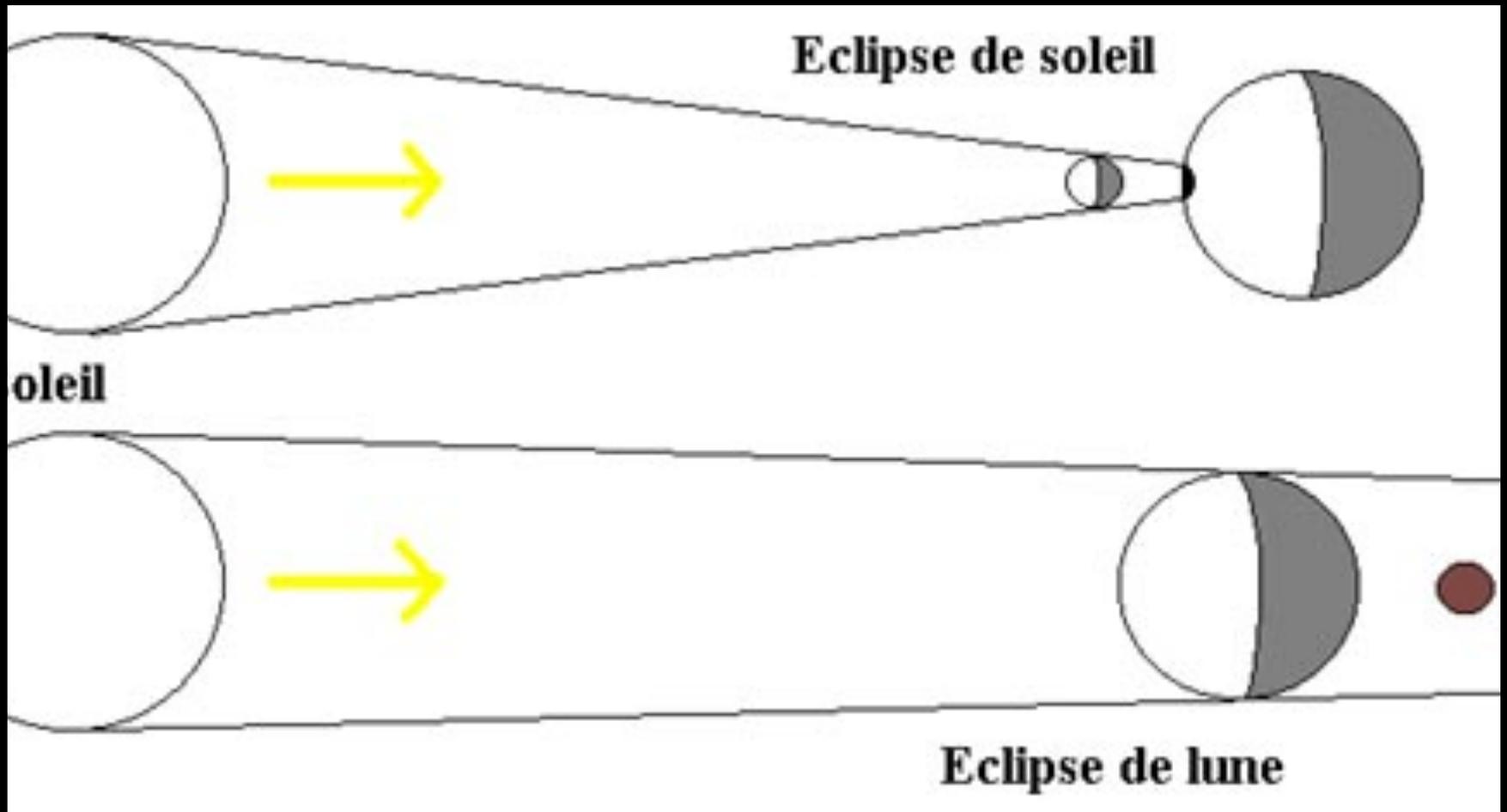
Eclipse de lune



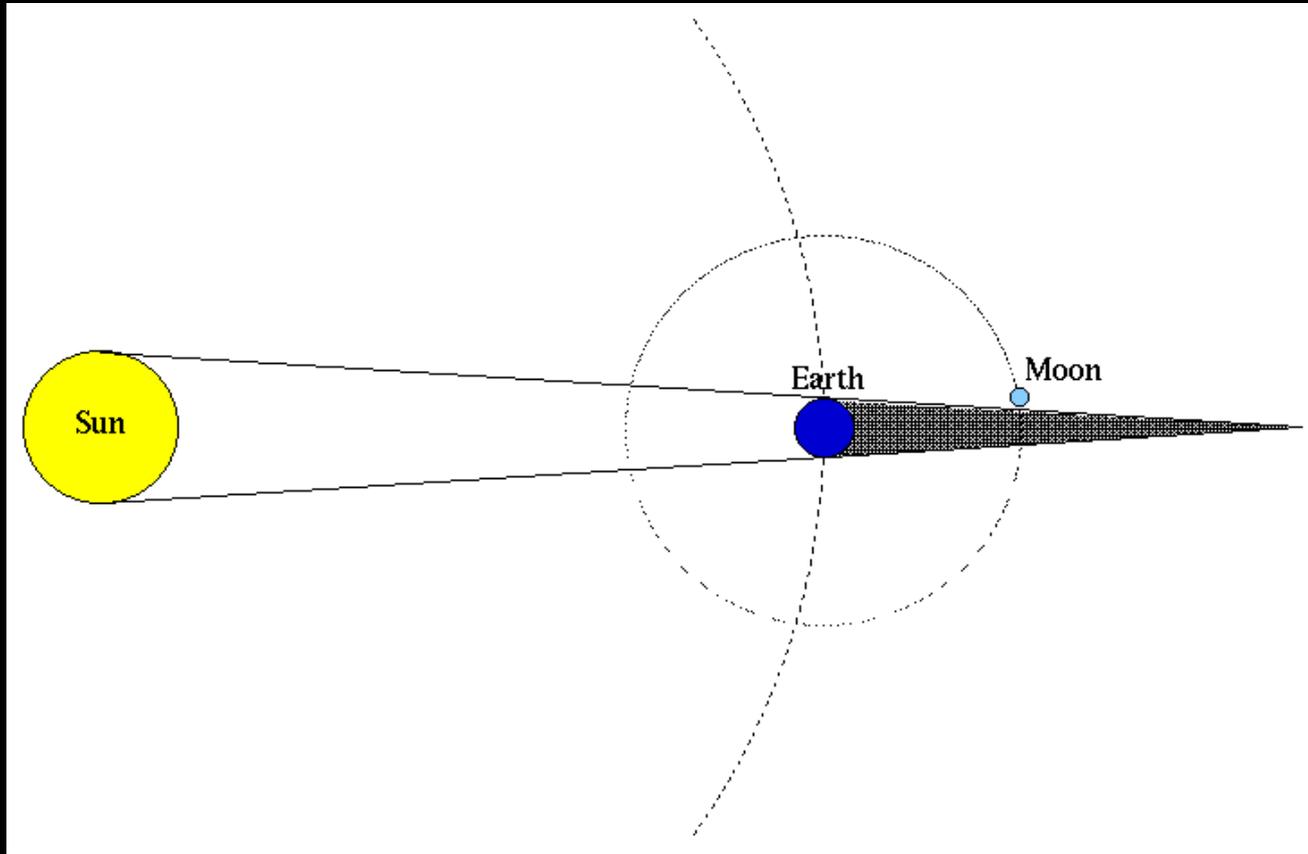
Exercice

- Dessiner le schéma d'une éclipse de soleil et d'une éclipse de lune

Eclipses de soleil et de lune



Mesure du rapport de taille entre la terre et la lune

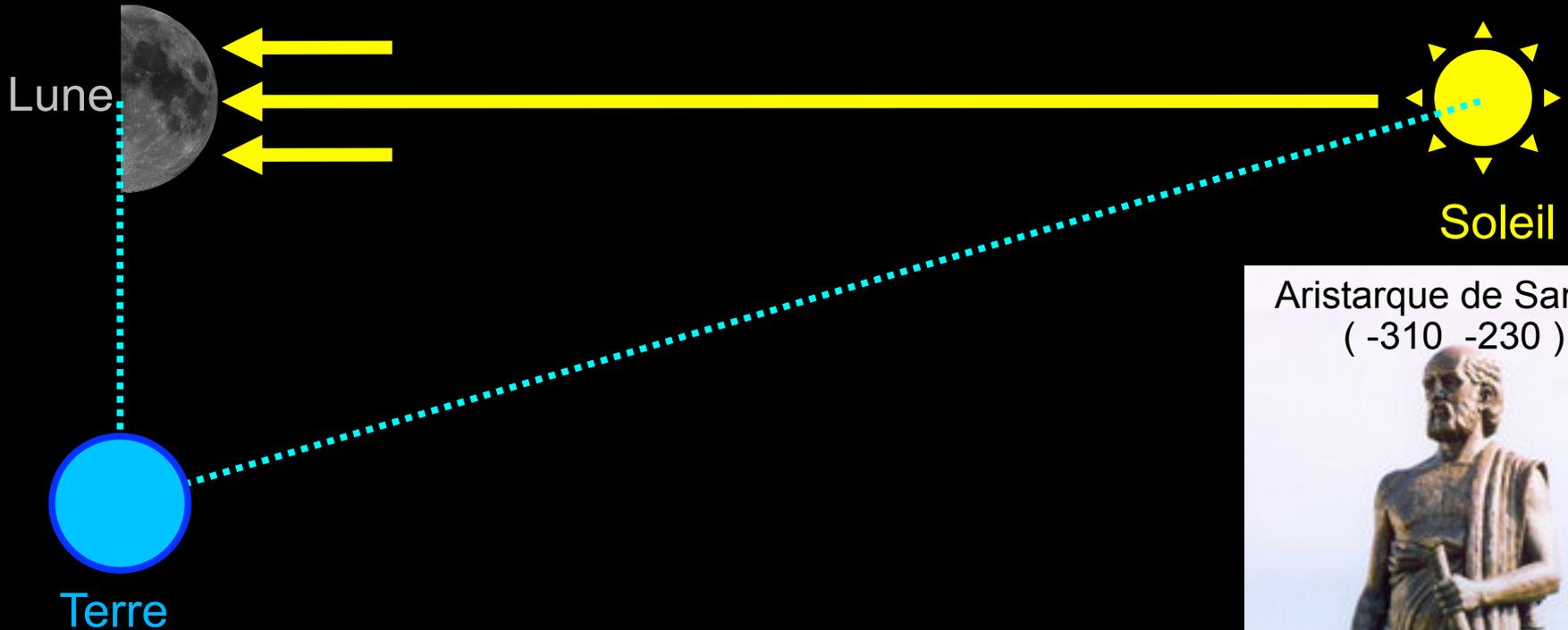


Aristarque de Samos
(-310 -230)



Mesure du temps de passage de la lune dans
l'ombre de la terre,
La lune est 3 fois plus petite que la terre
(en fait 4)

Au premier quartier, que peut-on dire du triangle TLS ?
Si l'angle LTS est 89.853° , à quelle distance est le Soleil ?



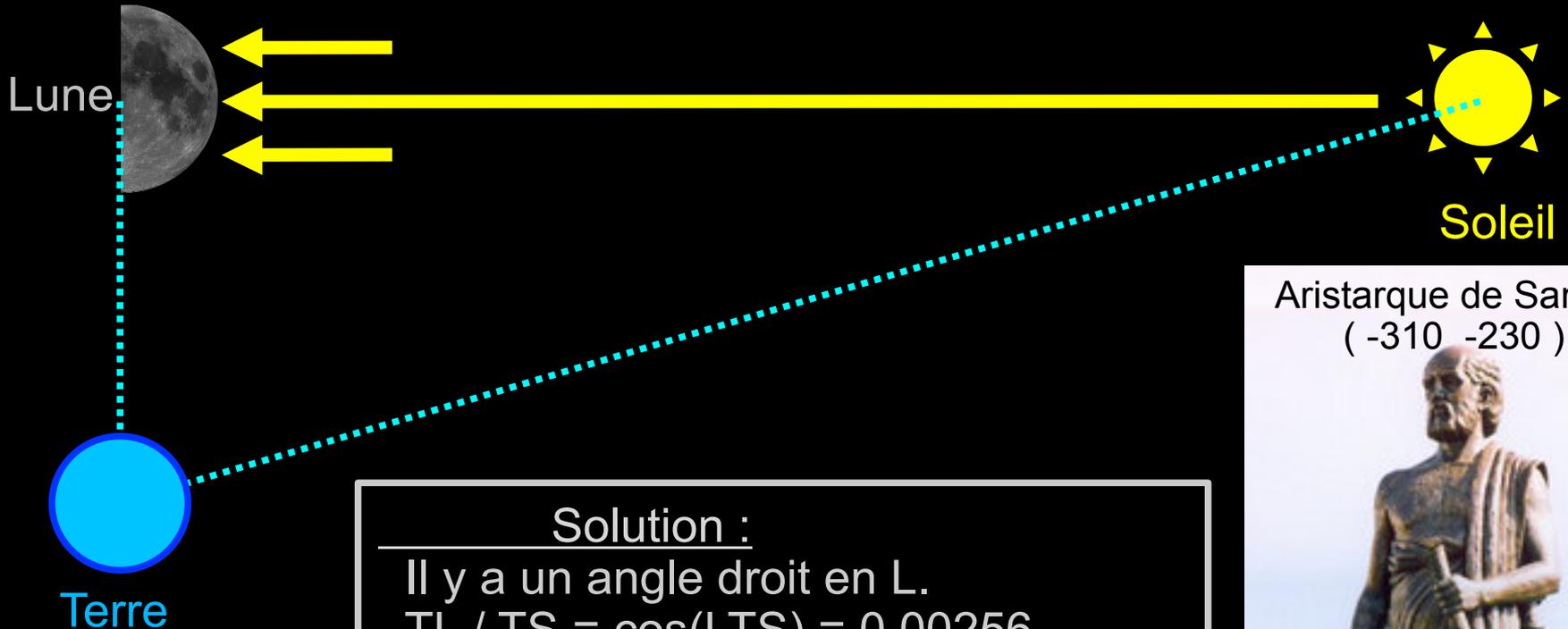
Aristarque de Samos
(-310 -230)



(Σελήνη = Σέλας ηλίου = reflexion de la lumière du Soleil)

Au premier quartier, que peut-on dire du triangle TLS ?

Si l'angle LTS est 89.853° , à quelle distance est le Soleil ?



Solution :

Il y a un angle droit en L.

$TL / TS = \cos(LTS) = 0,00256$.

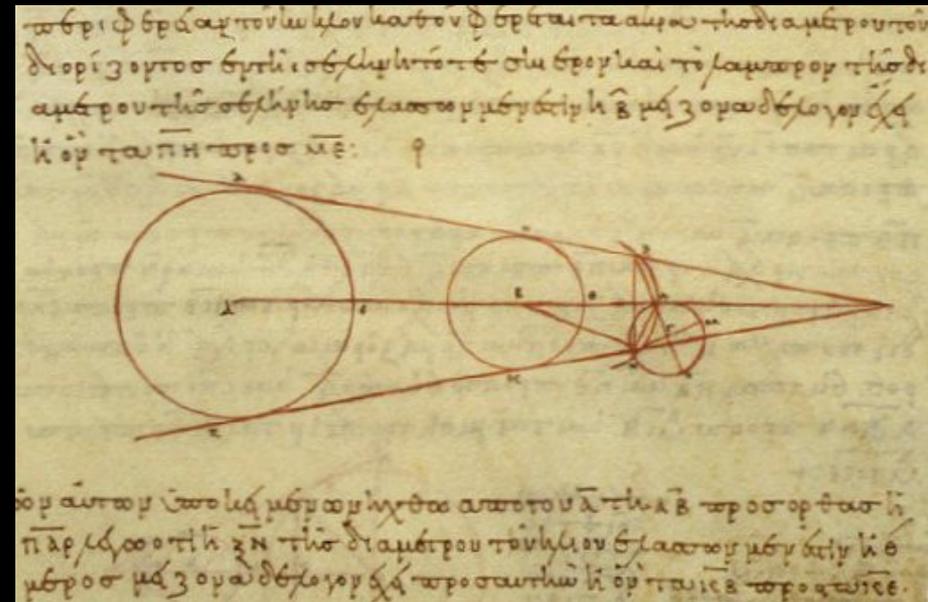
Donc $TS = 390 \times TL$.

Le Soleil est ~ 400 fois plus loin, donc plus gros que la Lune (car ils ont le même diamètre angulaire), donc ~ 100 fois plus gros que la Terre.

Aristarque de Samos
(-310 -230)



Le Soleil est 100 fois plus gros que la Terre,
un million de fois plus volumineux, donc beaucoup plus lourd ;
donc la Terre tourne autour du Soleil...



Aristarque de Samos
(-310 -230)

Ératosthène

(-276 -194)



- La circonférence de la Terre.

Exercice :

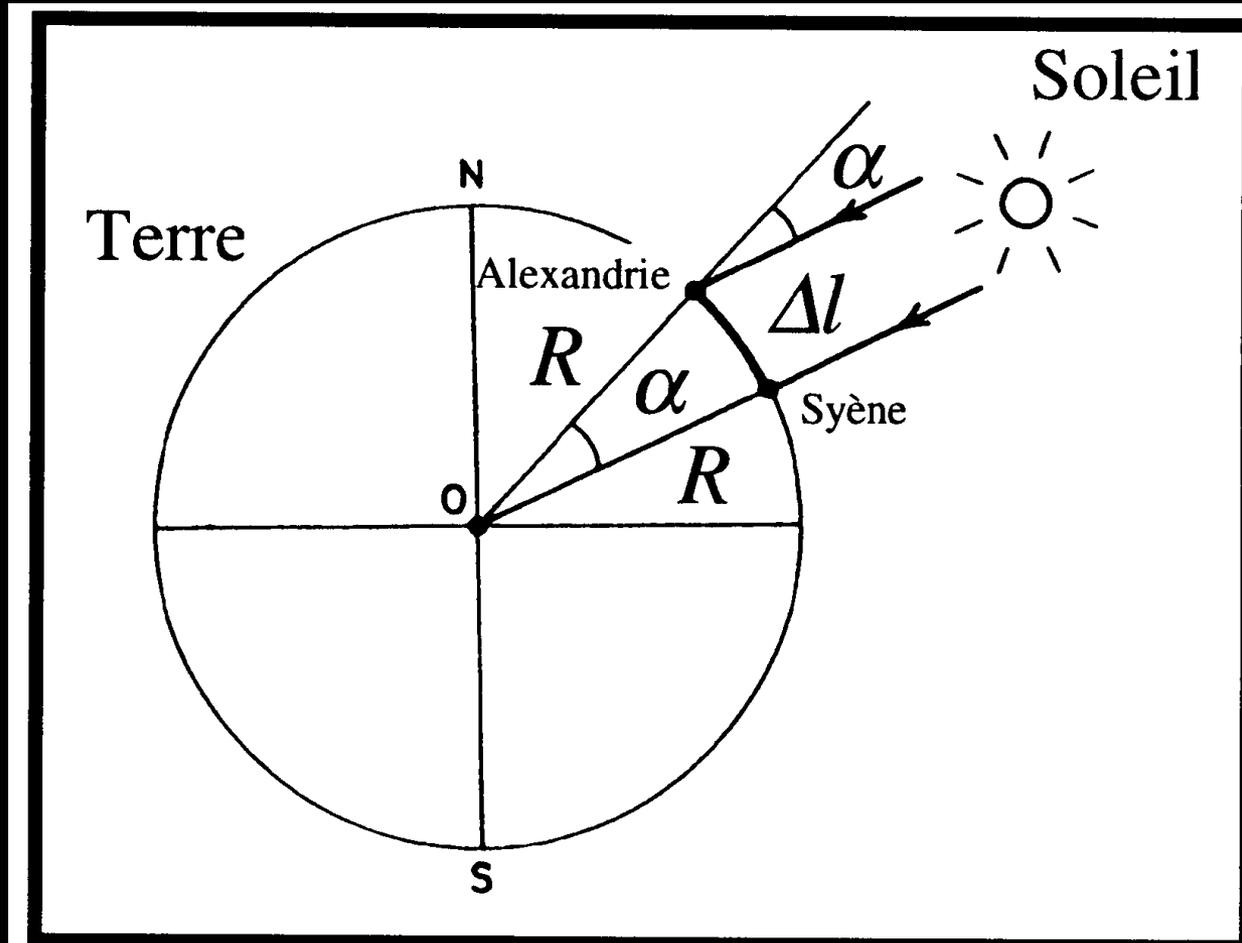
Sachant que

$$\alpha = 8^\circ$$

$$\Delta l = 889\text{km}$$

Que vaut la
circonférence
de la Terre ?

Son rayon ?



Ératosthène

(-276 -194)



- La circonférence de la Terre.

Exercice :

Sachant que

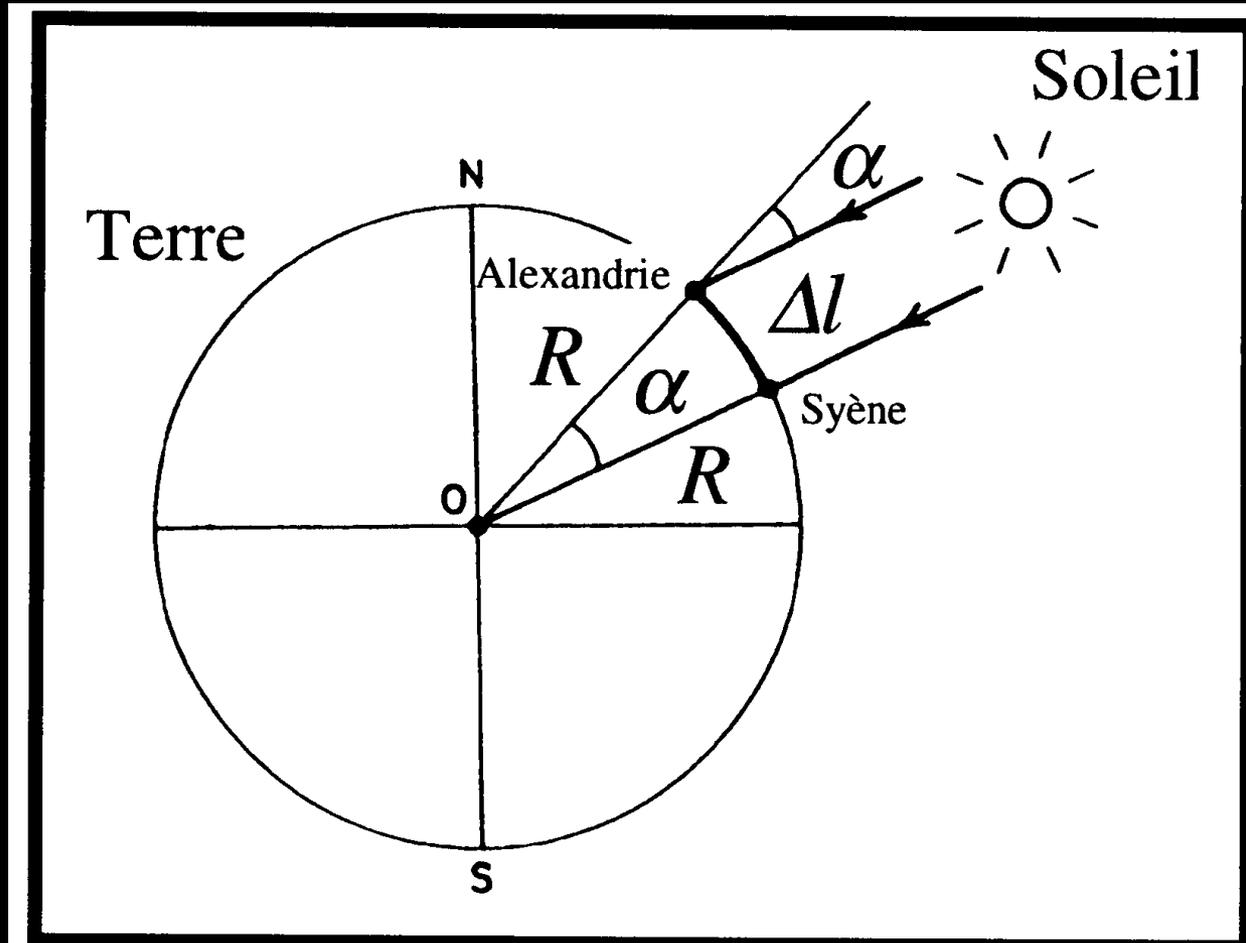
$$\alpha = 8^\circ$$

$$\Delta l = 889 \text{ km}$$

Que vaut la
circonférence
de la Terre ?

Son rayon ?

$$L = \alpha \cdot R \Rightarrow R = 6367 \Rightarrow p \sim 40\,000 \text{ km}$$



Aristarque

- **La distance de la Lune (et du Soleil) :**
- La Lune apparaît aussi grande qu'un bâton de 90cm placé à 100m (diamètre apparent = $0,5^\circ$).
Sachant qu'elle est 4 fois plus petite que la Terre, à quelle distance se trouve-t-elle ?
- (en vrai: diamètre = **3 476 km** et distance = **384 000 km**)
- En déduire la distance Terre – Soleil, appelée *Unité Astronomique* (rappel: TS = 390 TL).
- (1 U.A. = **150 millions de kilomètres**)

Les anciens grecs

• Résumé :

• À partir de simples observations, et de raisonnements astucieux ne nécessitant aucune connaissance mathématique au delà du niveau collège, nous avons déterminé :

• - que le Système solaire est plat

• - que la Terre est ronde, de circonférence 40000 km,

• - que la Lune est 4 fois plus petite que la Terre,

• - que le Soleil est 100 fois plus gros que la Terre,

• => la Lune tourne autour de la Terre, qui tourne autour du Soleil

• - la distance Terre-Lune et la distance Terre-Soleil.



Aristote

Et pourtant:

Aristote (-384 -322) considère que la Terre est immobile et au centre de l'Univers.

Séparation absolue entre le monde terrestre imparfait, changeant et le monde céleste parfait, éternel.

Les seuls mouvements célestes possibles sont les mouvements circulaires, uniformes.

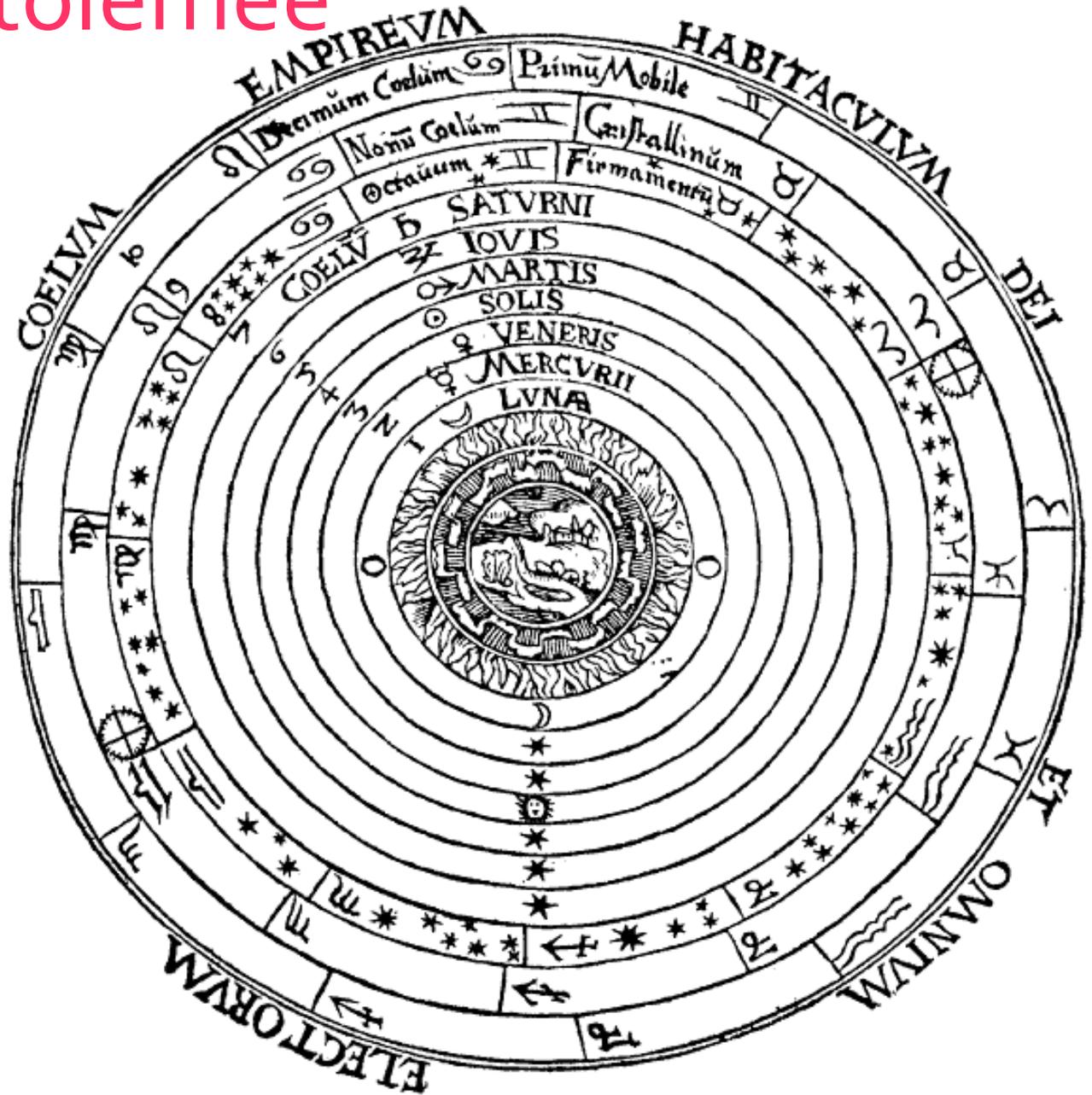


Ptolémée

Ptolémée

(100 – 170) : modèle géocentrique.

Problèmes :
Prédictions imprécises,
Usage nécessaire d'épicycles toujours plus nombreux...





Copernic (1473,1543)

Systeme Copernicien

- Planètes en orbites circulaires
- autour du Soleil.
- *De Revolutionibus Orbium Coelestium* , publié à sa mort.
- Systeme plus simple, donc adopté (rasoir d'Occam).

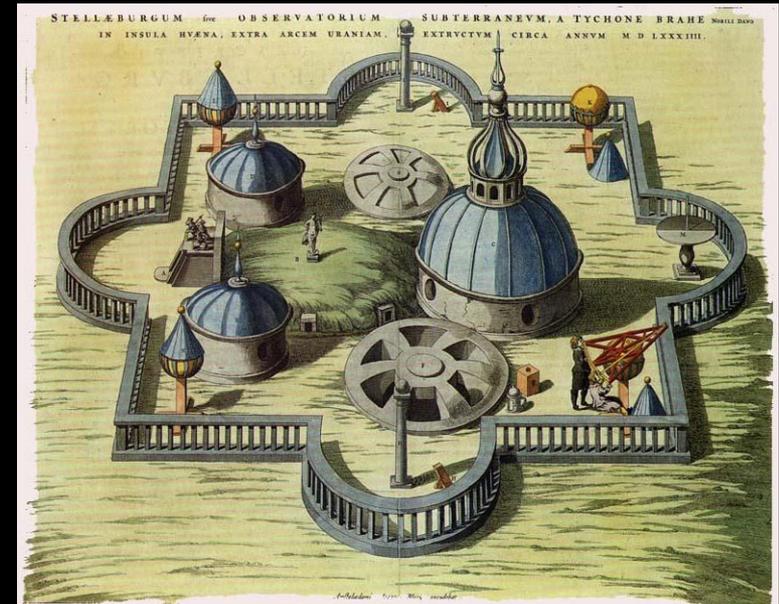
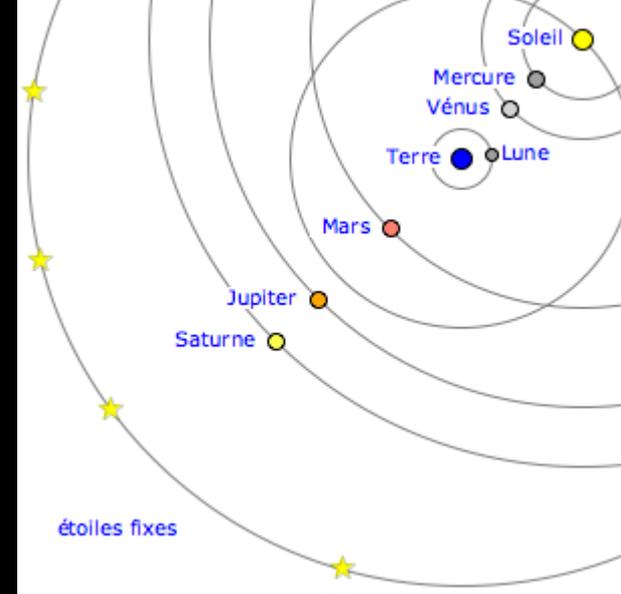
Tycho Brahé

(1546 -1601)

- Astronome danois. Ses observations confirment que les planètes tournent autour du soleil.



- Mais il pense que le soleil tourne autour de la Terre, immobile.



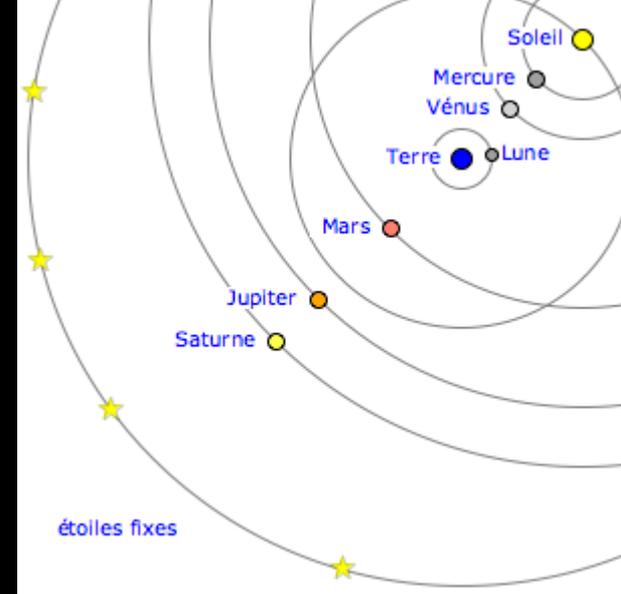
Tycho Brahé

(1546 -1601)

- Astronome danois. Ses observations confirment que les planètes tournent autour du soleil.



- Mais il pense que le soleil tourne autour de la Terre, immobile.



Képler

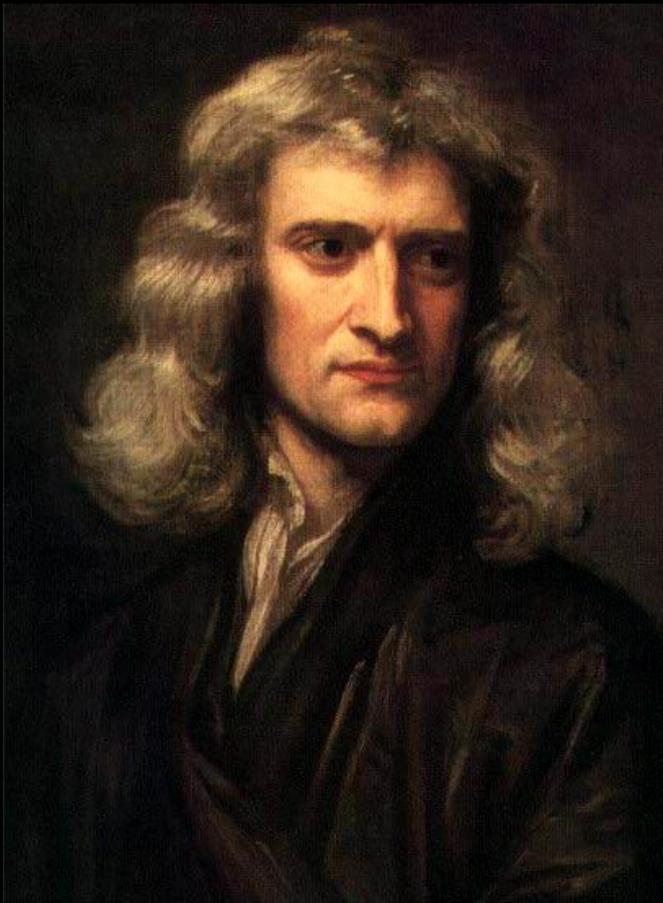
(1571 ; 1630)

- Des observations de Tycho Brahé, on peut déduire trois propriétés des orbites des planètes.
- Trois lois de Képler (1609) :
- 1) Les orbites des planètes sont des ellipses, dont le Soleil occupe l'un des foyers
- 2) Le carré de la période est proportionnel au cube de la taille de l'orbite (plus on est près du soleil, plus on tourne vite)
- 3) Loi des aires.



Gravitation universelle

- La loi de Newton de la gravitation universelle (1687) explique mathématiquement les 3 lois de Képler.

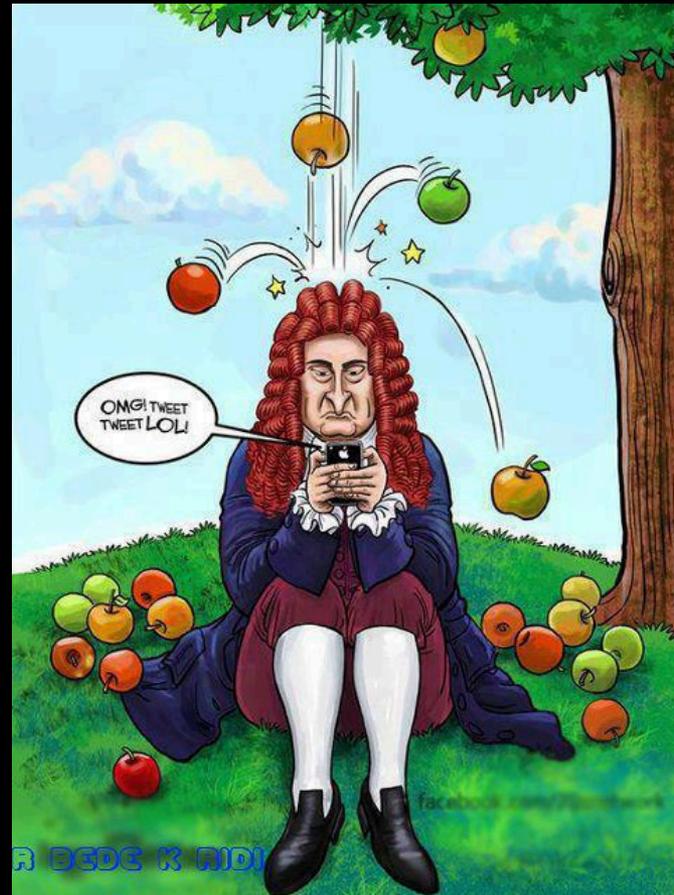
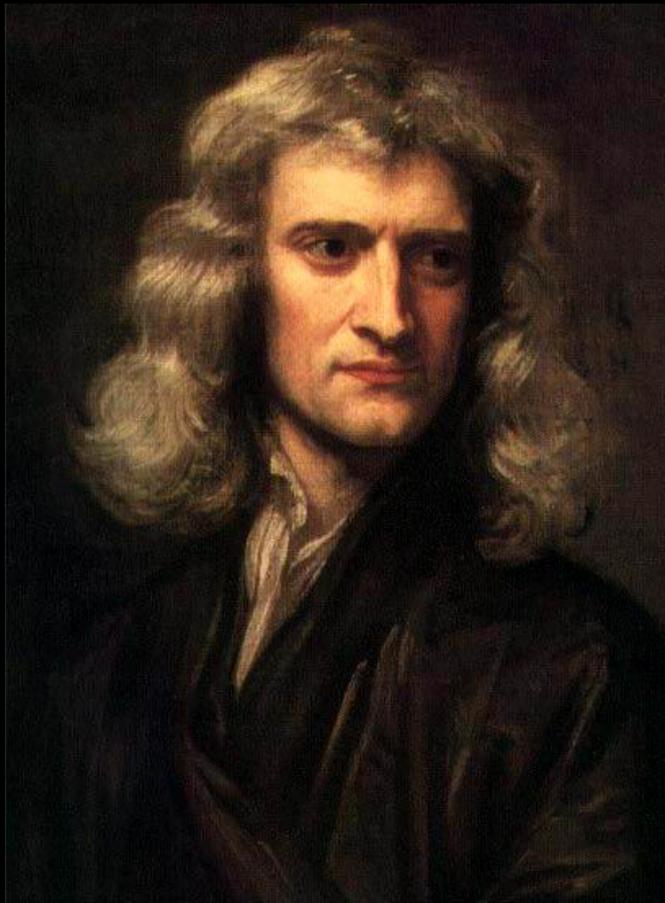


$$F_g = G M_s m / r^2$$



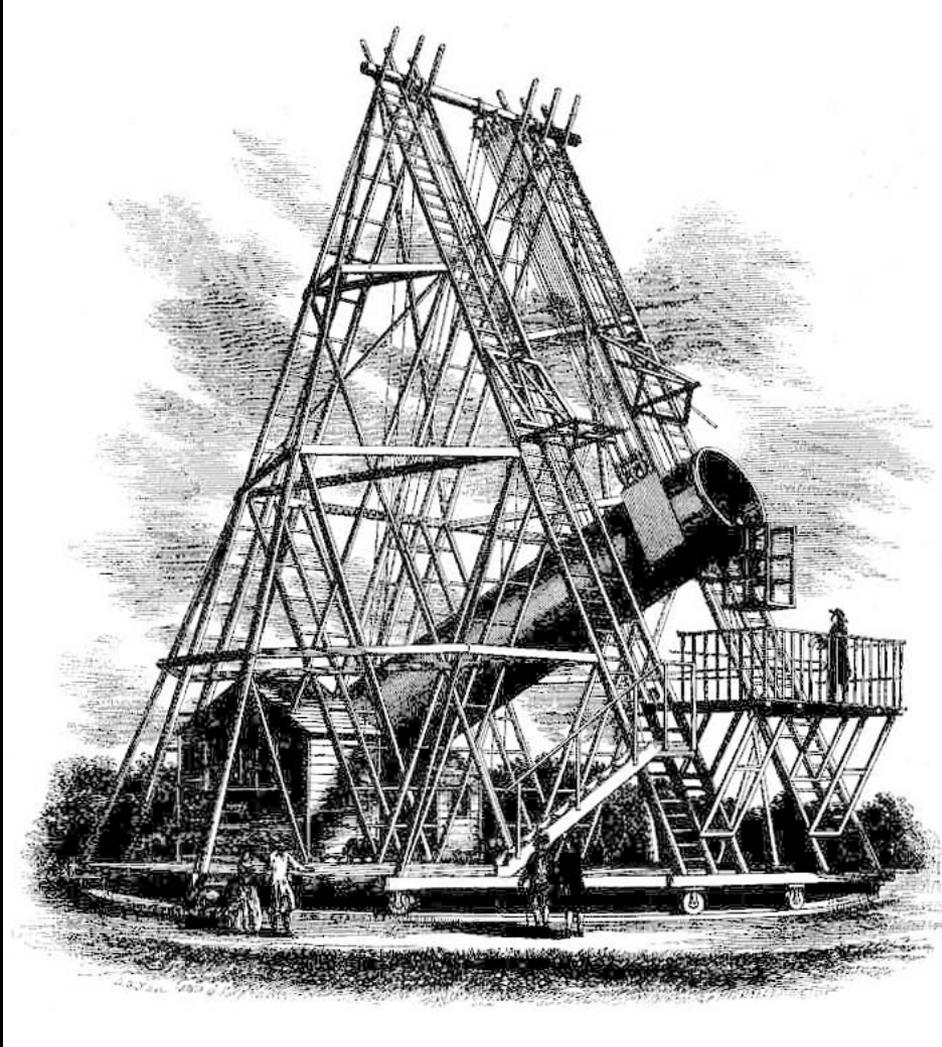
Gravitation universelle

- La loi de Newton de la gravitation universelle (1687) explique mathématiquement les 3 lois de Képler.



Découvertes de planètes invisibles

- Herschel découvre par hasard **Uranus** en 1781.



Découvertes de planètes invisibles

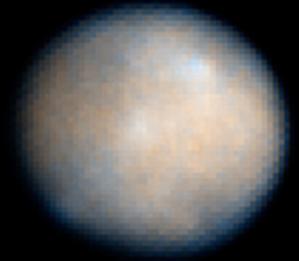
- L'orbite d'**Uranus** ne peut pas s'expliquer par la loi de Newton.
- Il y a une autre planète qui perturbe son mouvement !
- Découverte de **Neptune** en 1846 par Le Verrier et Galle.



Triomphe de la science et de la mécanique céleste!

Découvertes de planètes invisibles

- **Céres** est découverte en 1801,
- planète manquante entre Mars et Jupiter !

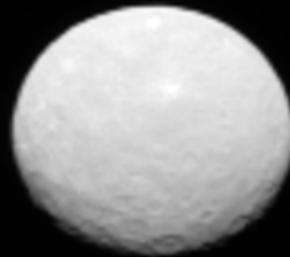


Ceres • January 24, 2004
HST ACS/HRC

- Puis **Pallas** (1802), **Junon** (1804),
- **Vesta** (1807)...
- 100 astéroïdes connus en 1868 !
- Plus de 140 000 actuellement...
- Céres n'est donc pas une planète,
- mais le plus gros corps de la
- Ceinture d'Astéroïdes.

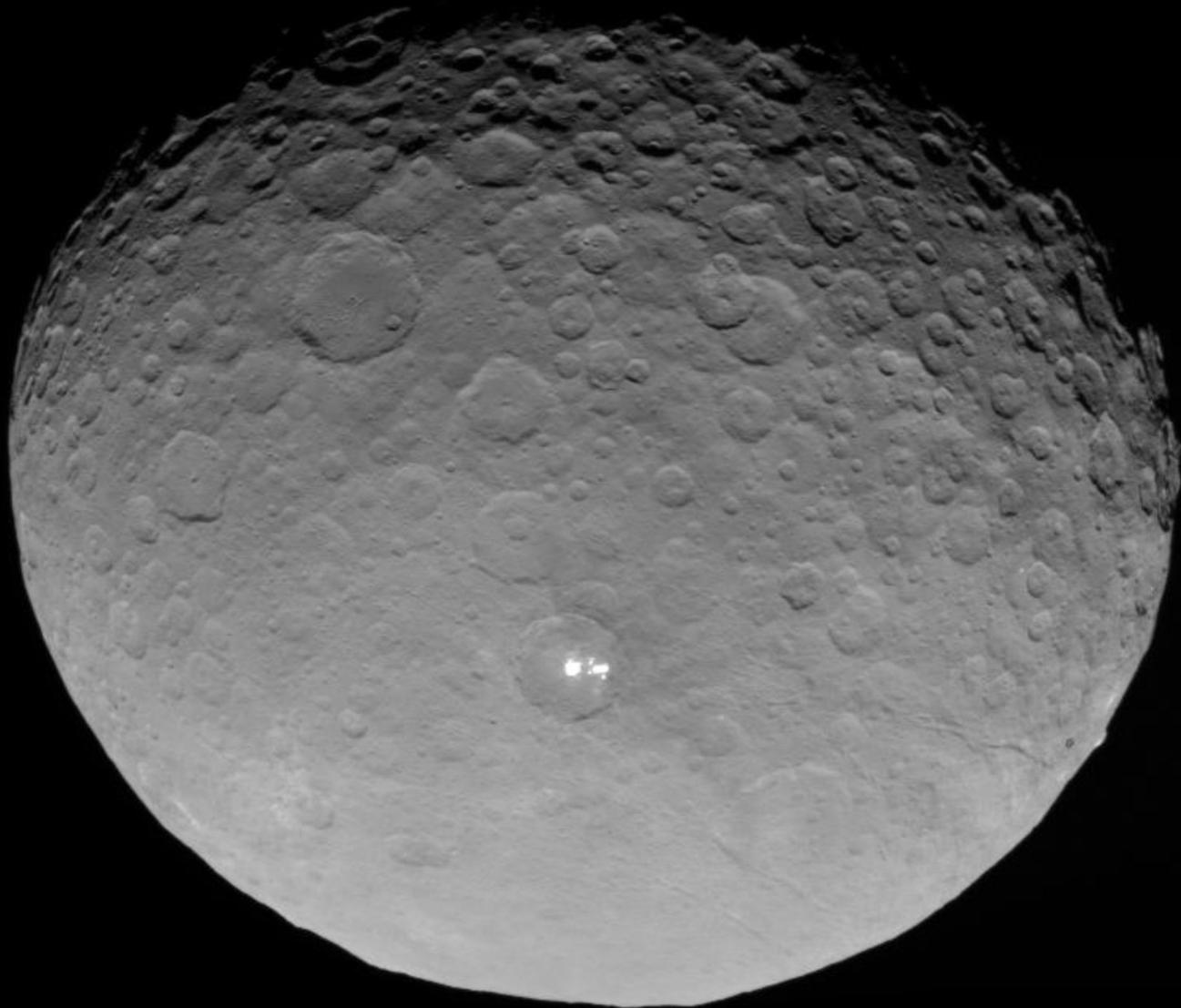


Ceres

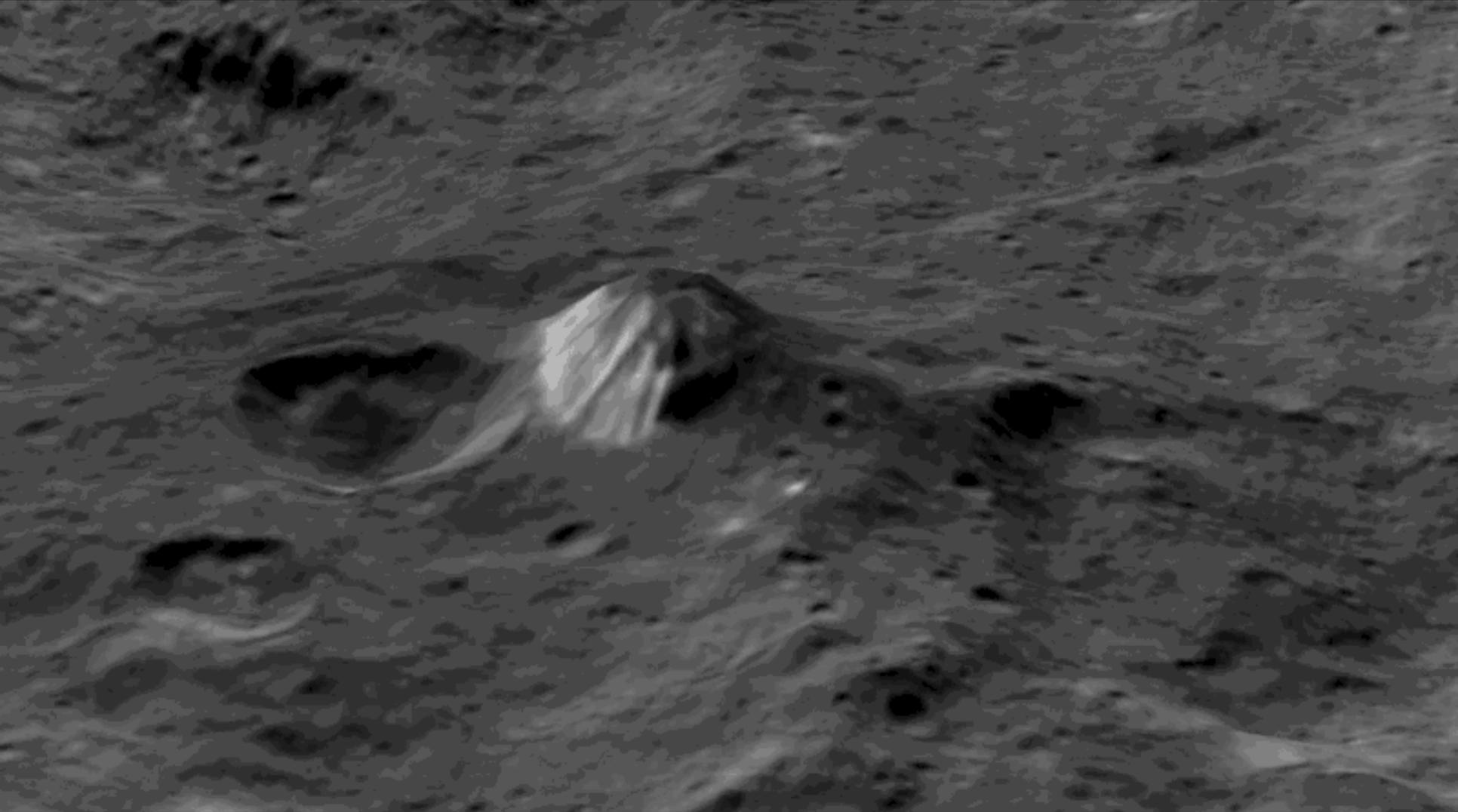


Dawn: 23 AVRIL 2015

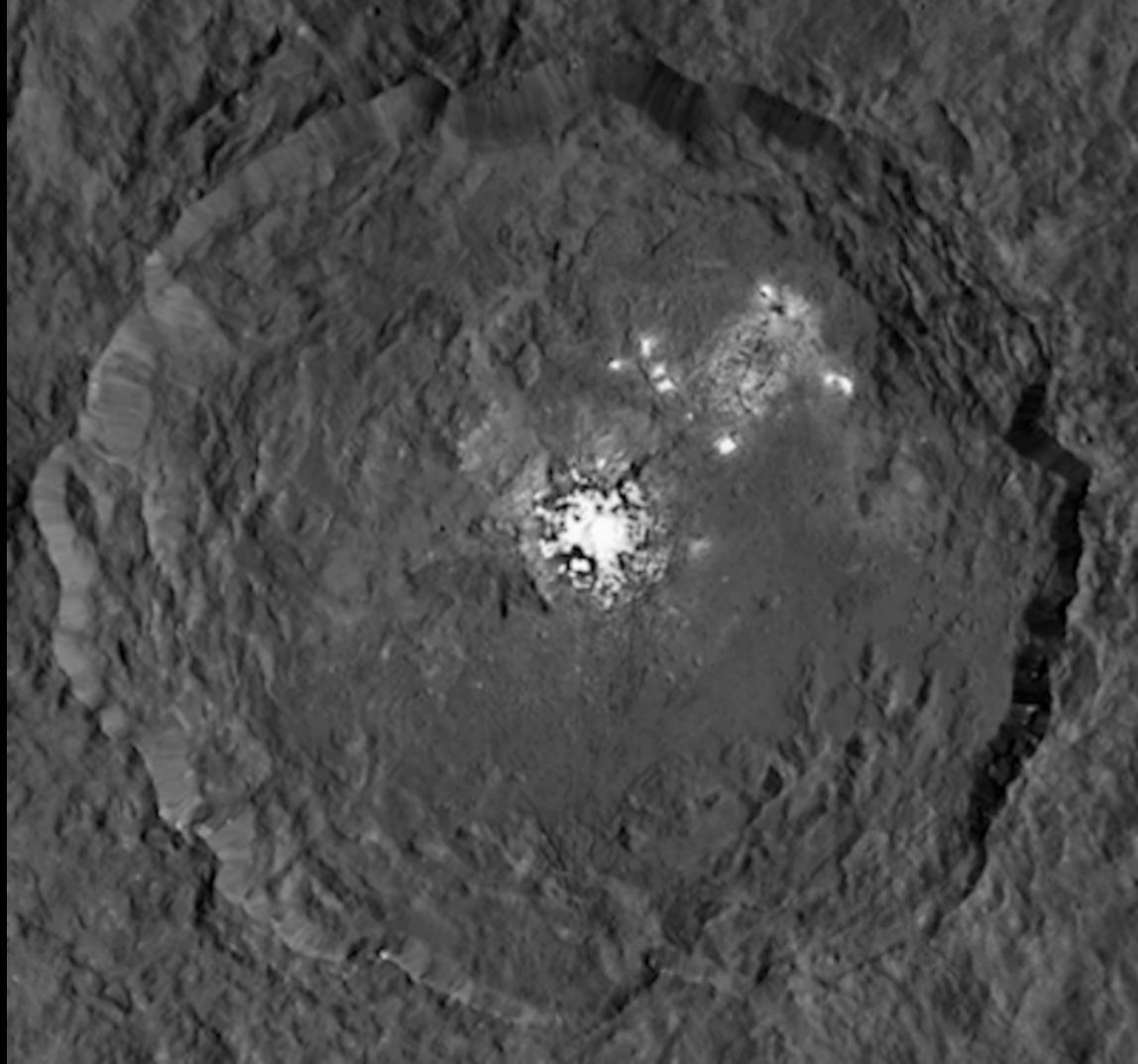
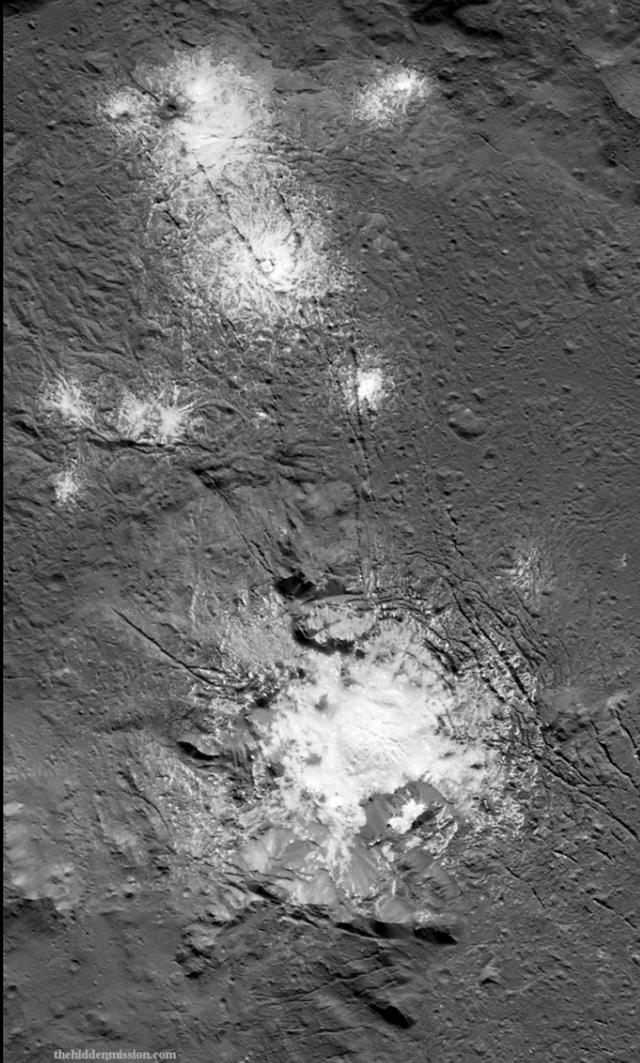
Ceres



Ceres



Ceres



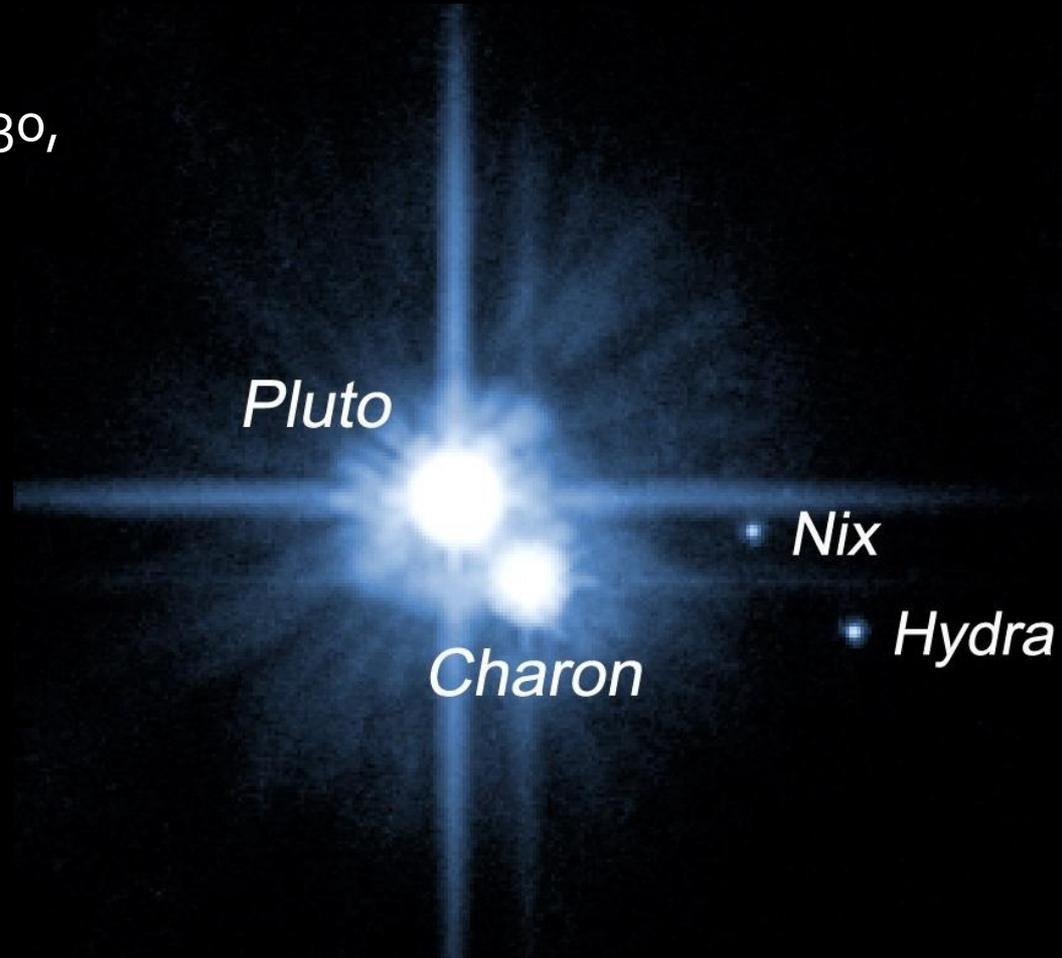
Découvertes de planètes invisibles

- **Pluton** est découverte en 1930
nouvelle planète au-delà de
Neptune !



Découvertes de planètes invisibles

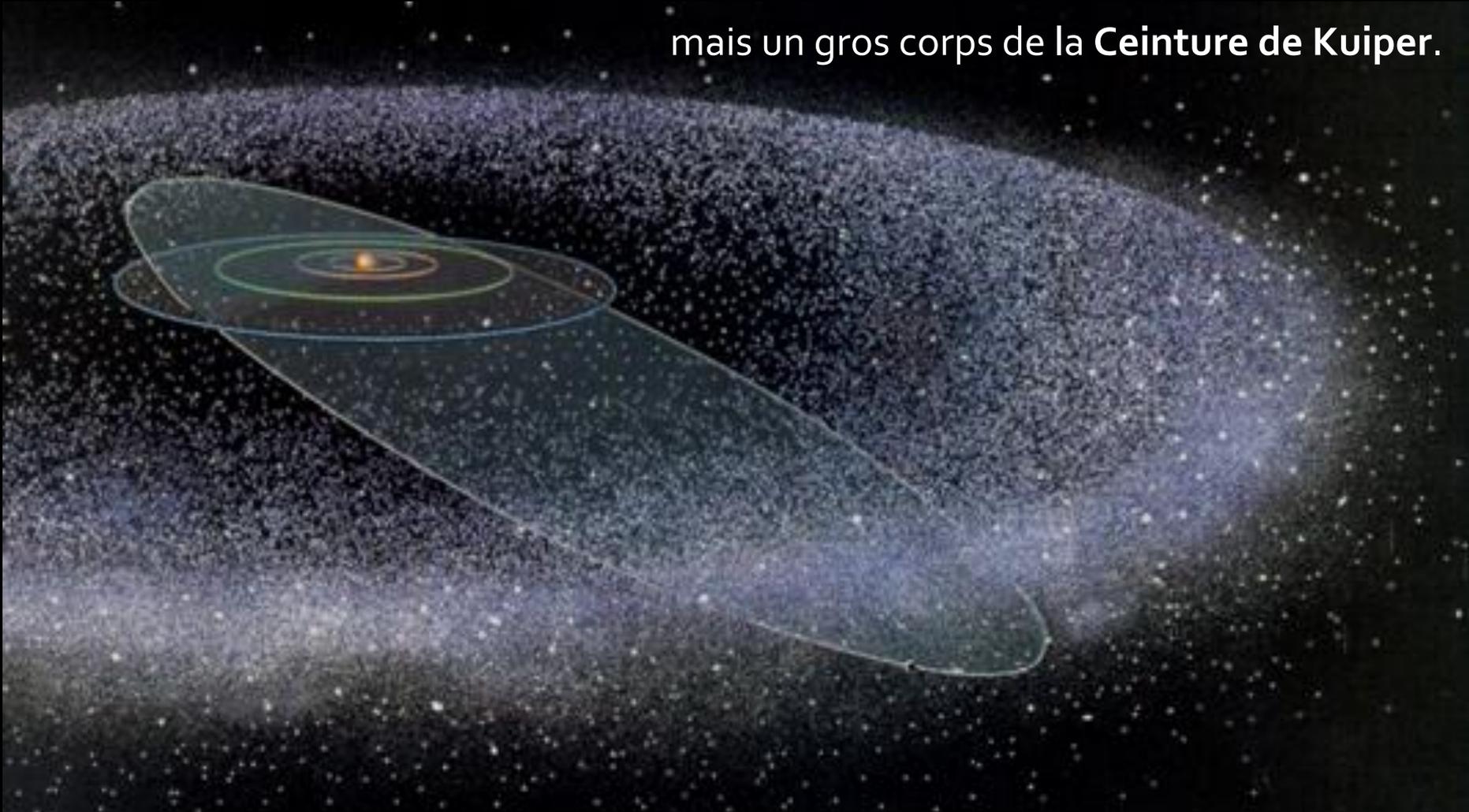
Pluton est découverte en 1930,
nouvelle planète au-delà de
Neptune !



- Puis Éris, Sedna, Quaoar ...
- 1000 objets trans-neptuniens connus actuellement...

Découvertes de planètes invisibles

- Pluton n'est donc pas une planète, mais un gros corps de la **Ceinture de Kuiper**.







Définition PLANÈTE par l'UAI



- Une planète est un corps céleste qui
 - (a) est en orbite autour du Soleil
 - (b) a une forme sphérique (gravité dominante)
 - (c) qui a "nettoyé" le voisinage de son orbite.



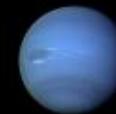
Il y a 8 planètes dans le système solaire.

Définition PLANÈTE NAINE par l'UAI

- Une planète naine est un corps céleste qui
(a) est en orbite autour du Soleil

(b) a une forme sphérique

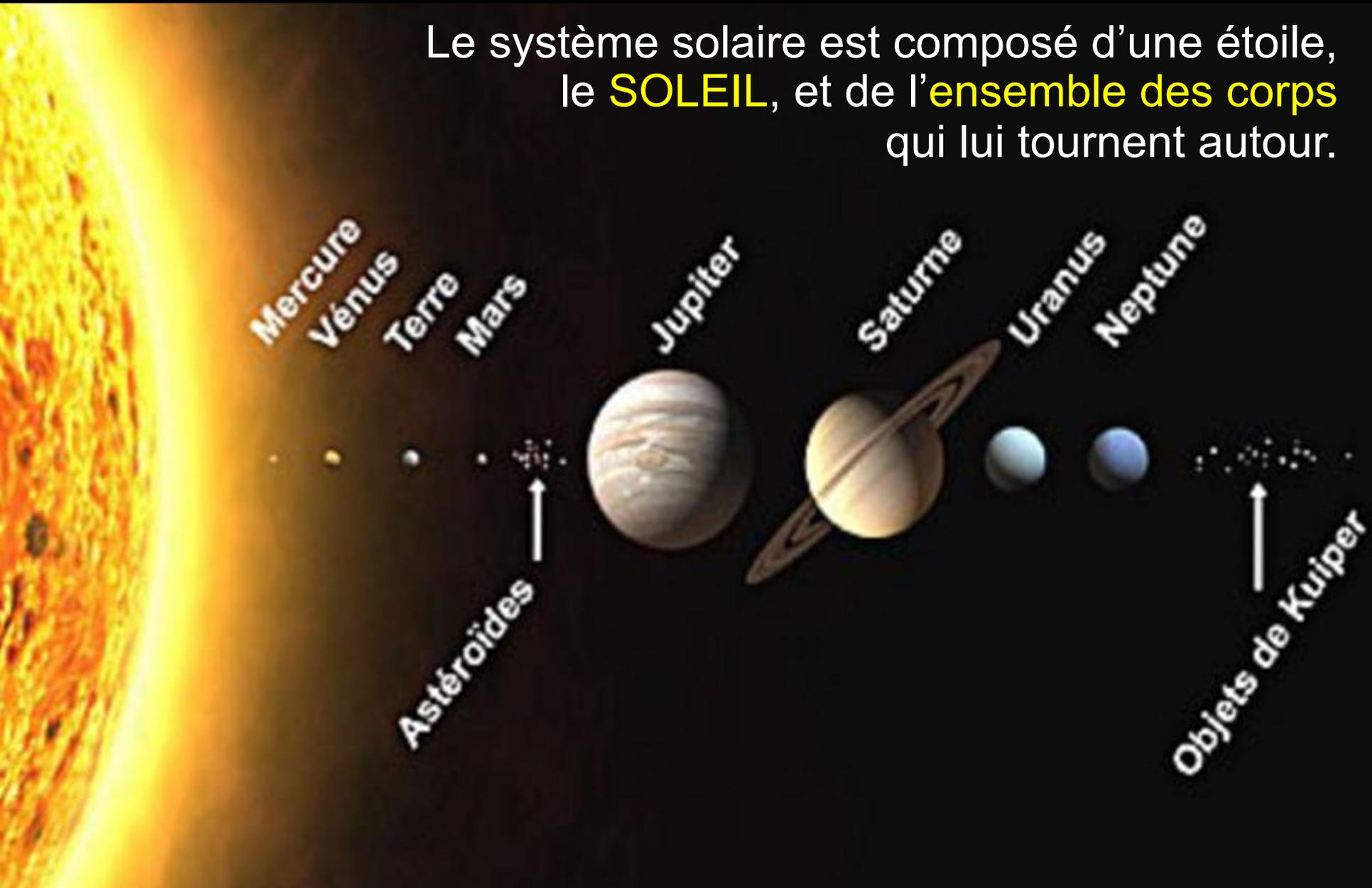
(gravité dominante)



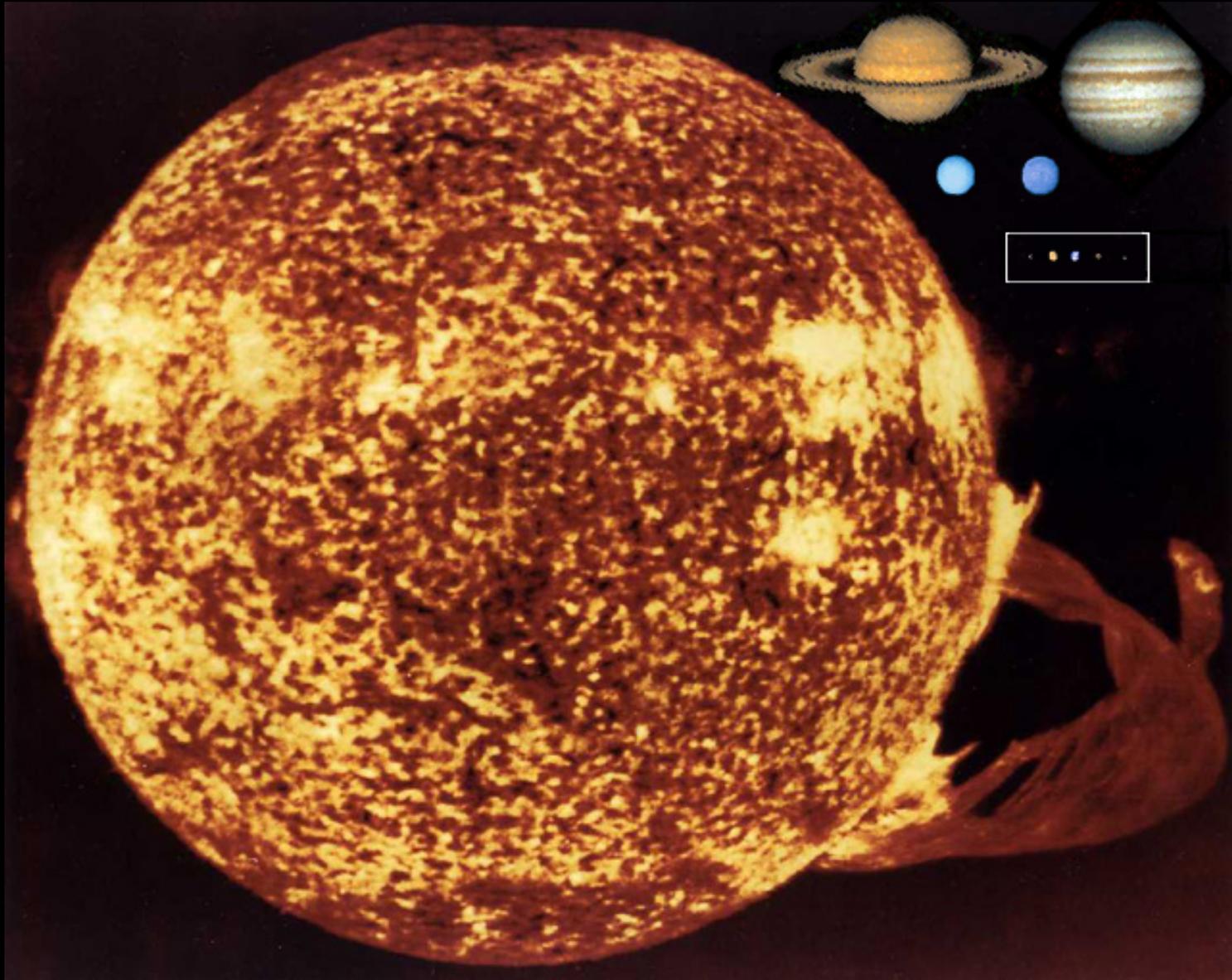
Exemple : Cères, Pluton, Éris...

BILAN SYSTÈME SOLAIRE

Le système solaire est composé d'une étoile, le **SOLEIL**, et de l'**ensemble des corps** qui lui tournent autour.



BILAN SYSTÈME SOLAIRE



BILAN SYSTÈME SOLAIRE

Diamètre du Soleil	=	1 300 000 km.
Diamètre de la Terre	=	12 756 km.
Distance Terre-Lune	=	384 000 km.
Distance Terre-Soleil	=	150 000 000 km = 1 UA.
Soleil - Jupiter	=	5,2 UA.
Soleil - Neptune	=	30 UA.

Si 1 UA = 1 m, le Soleil fait 1cm, la Terre 0,1 mm, et Neptune $\frac{1}{2}$ mm à 30 m...

Le système solaire est essentiellement vide !

BILAN SYSTÈME SOLAIRE

Le système solaire est composé d'une étoile, le **SOLEIL**, et de l'**ensemble des corps** qui sont soumis à l'attraction gravitationnelle du soleil.

Cela s'étend jusqu'à 20 000 milliards de km, soit ~130 000 UA, ou 2 années-lumière.

1 année-lumière = distance parcourue par la lumière en un an, à la vitesse de 300 000 km/s = 10 000 000 000 000 km.

Terre-Lune = 1,3 seconde - lumière

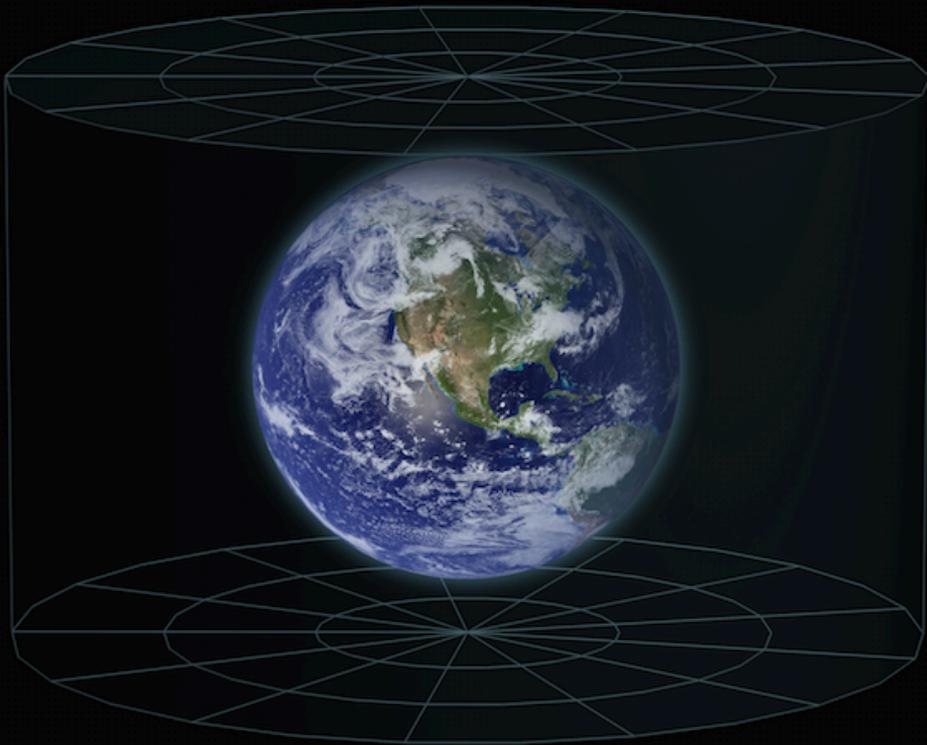
Soleil-Terre = 8 min 20 sec - lumière

Soleil-Neptune = 4h 10 min - lumière.

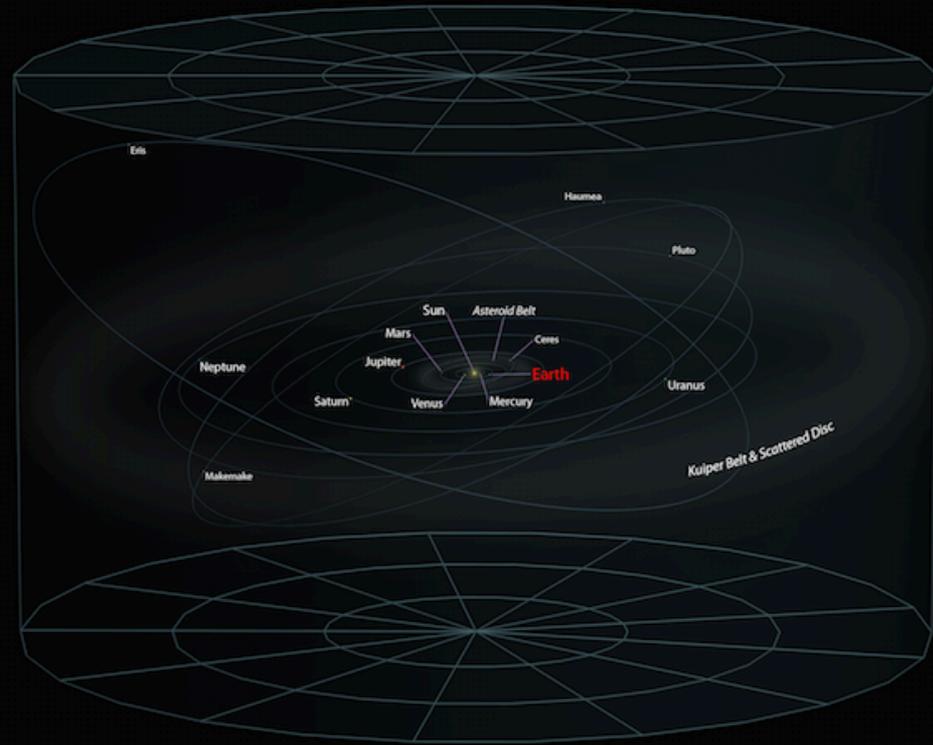
Soleil – Proxima du Centaure = 4,3 années-lumière.

Le système solaire est essentiellement petit !

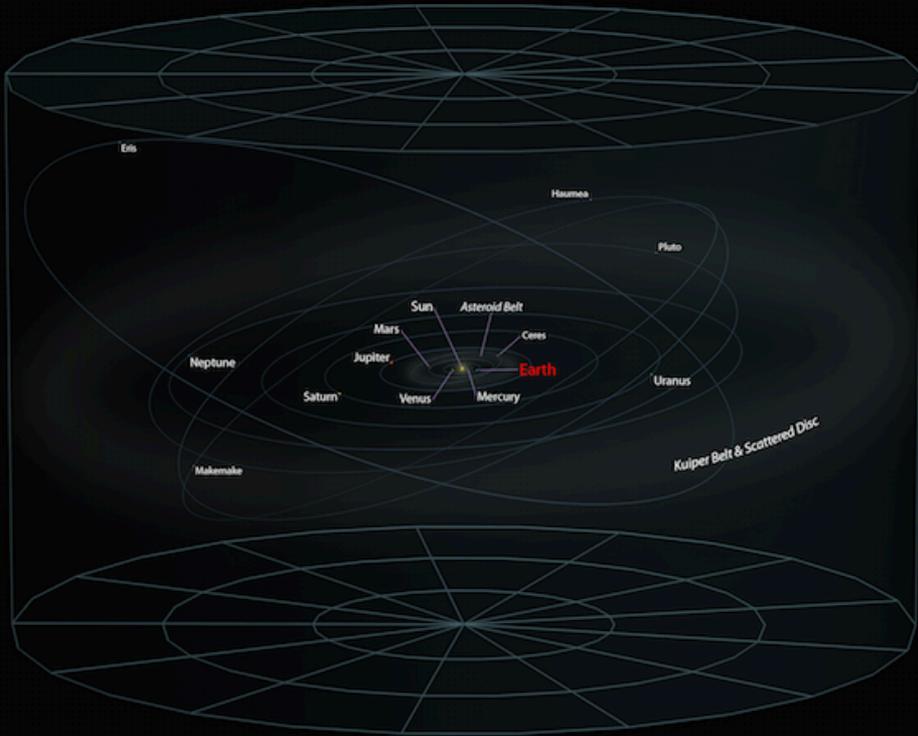
Earth



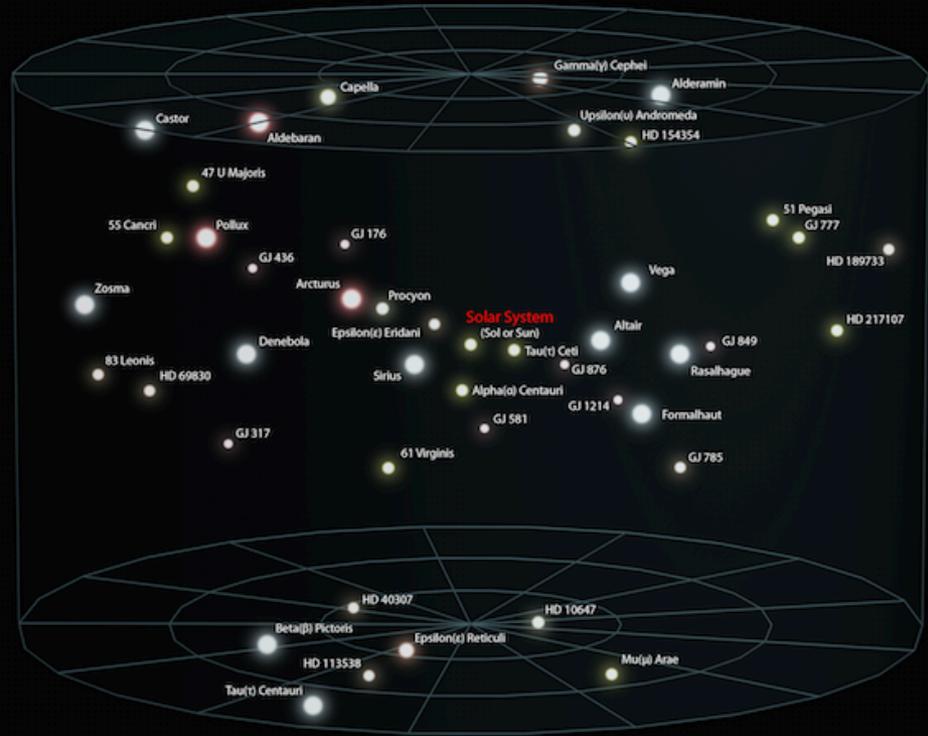
Solar System



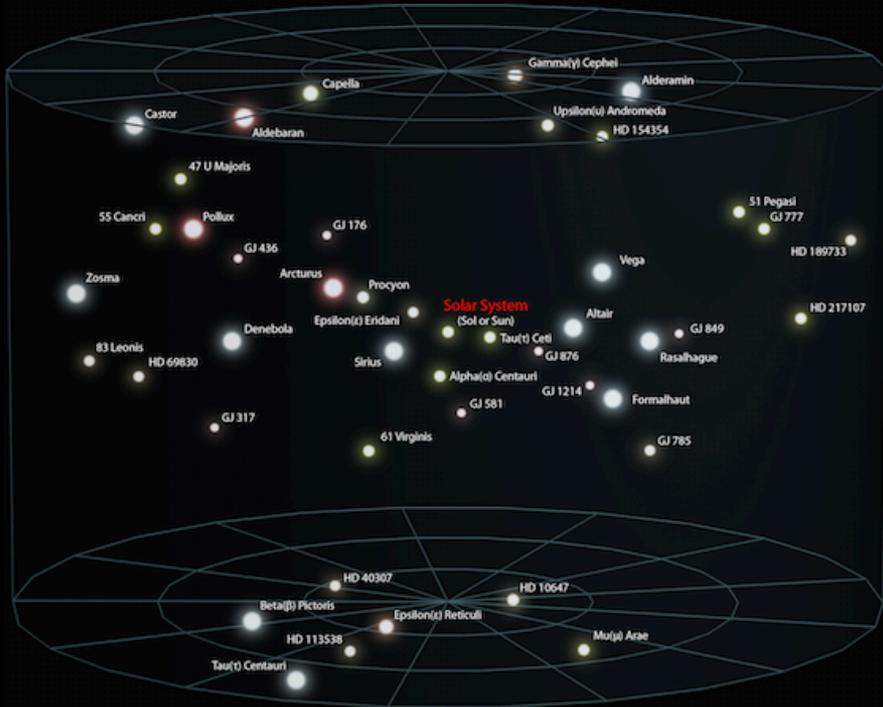
Solar System



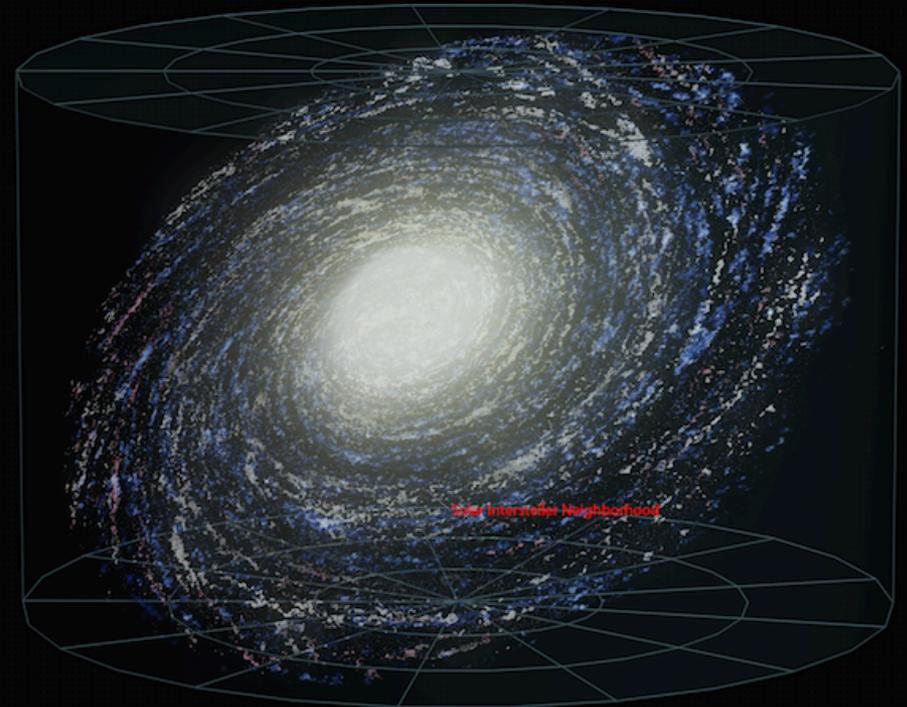
Solar Interstellar Neighborhood



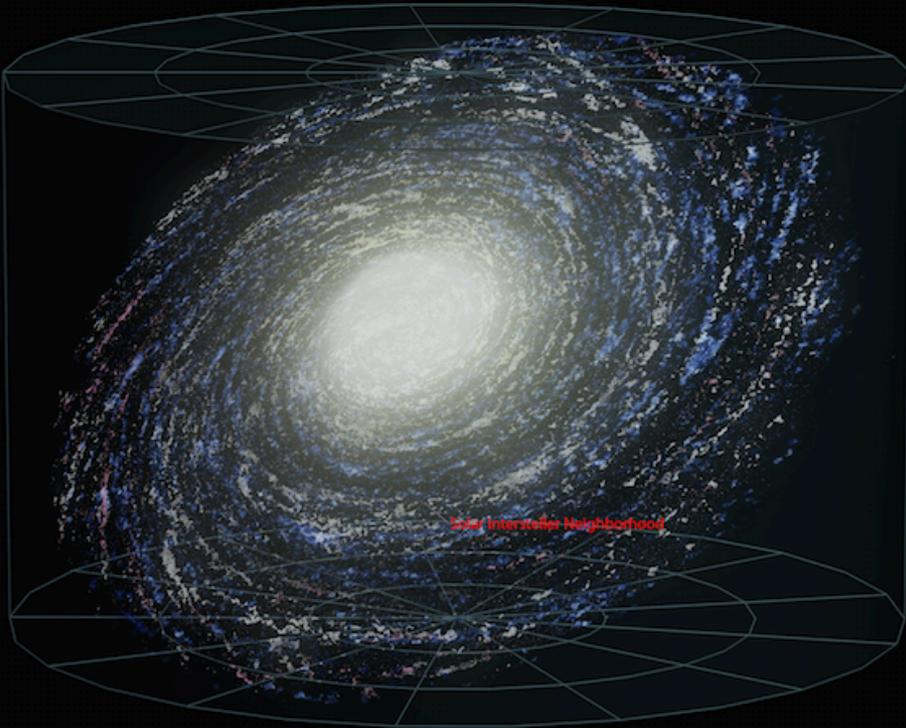
Solar Interstellar Neighborhood



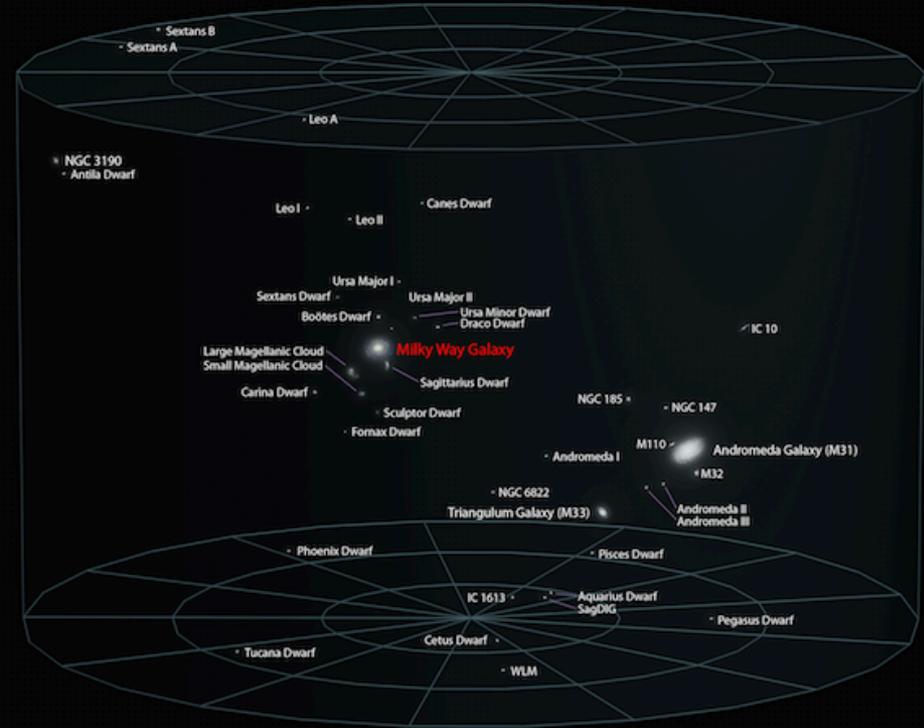
Milky Way Galaxy



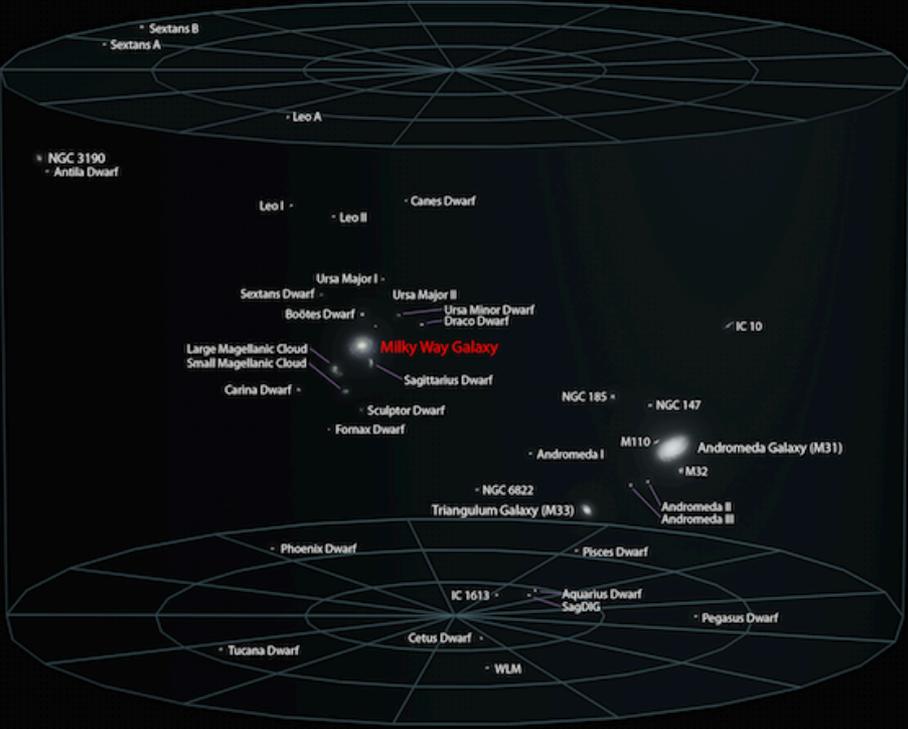
Milky Way Galaxy



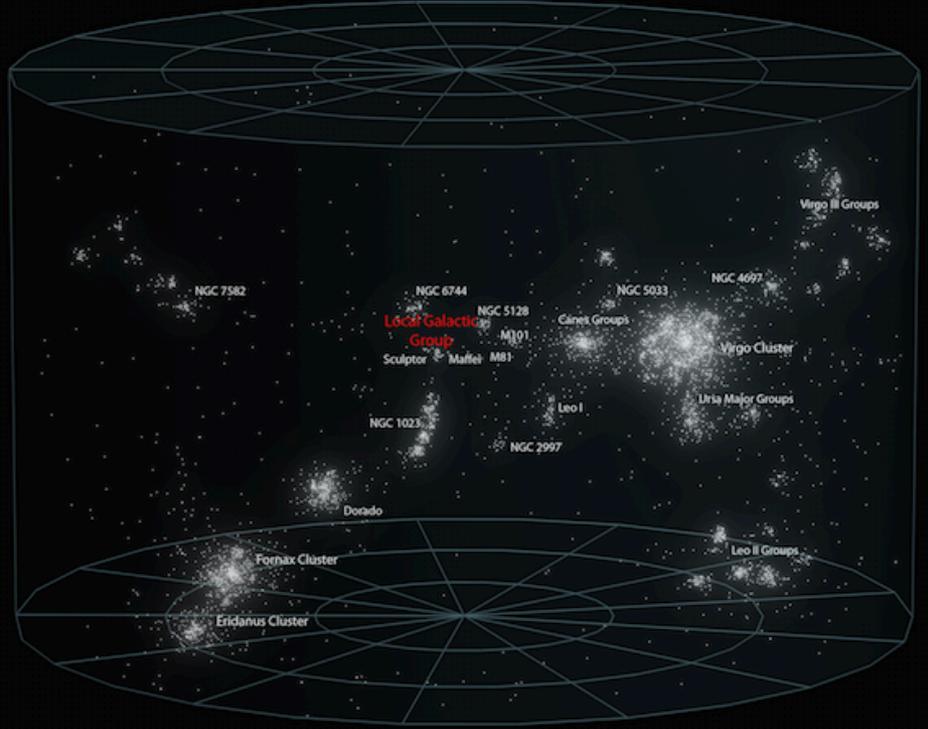
Local Galactic Group



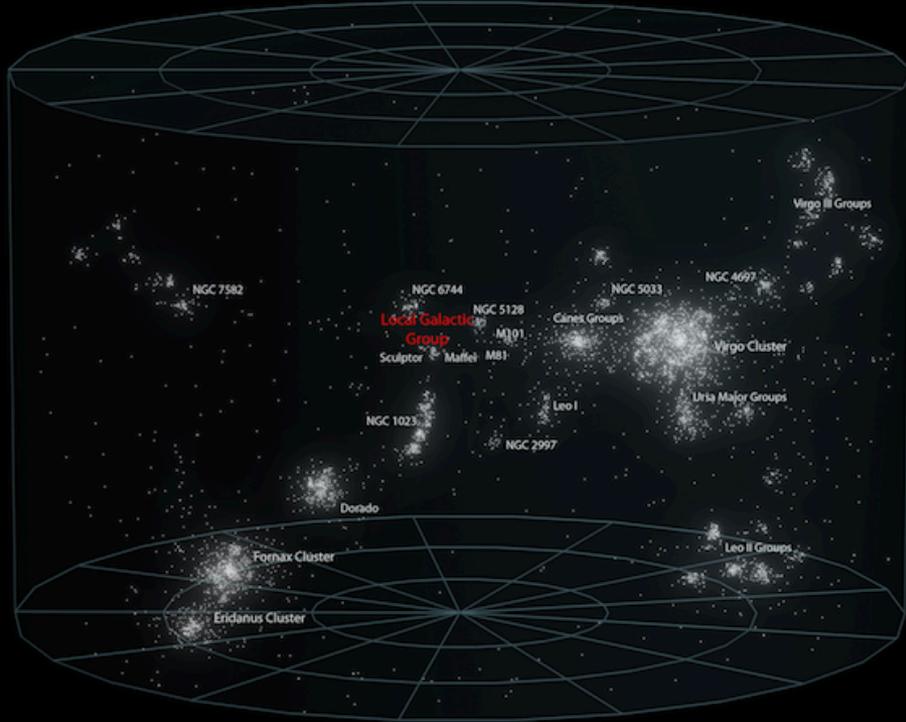
Local Galactic Group



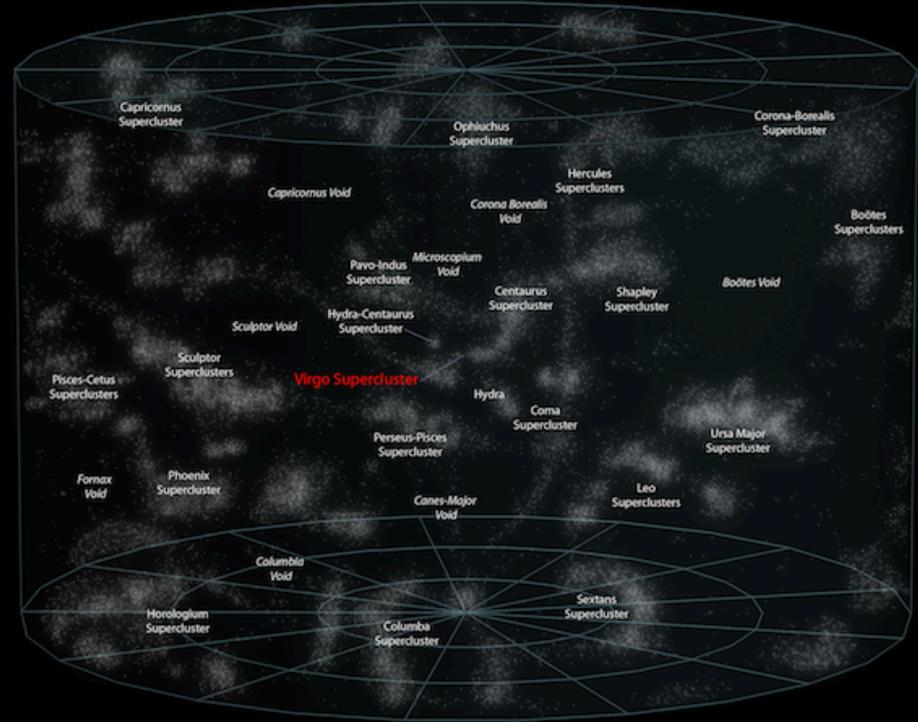
Virgo Supercluster



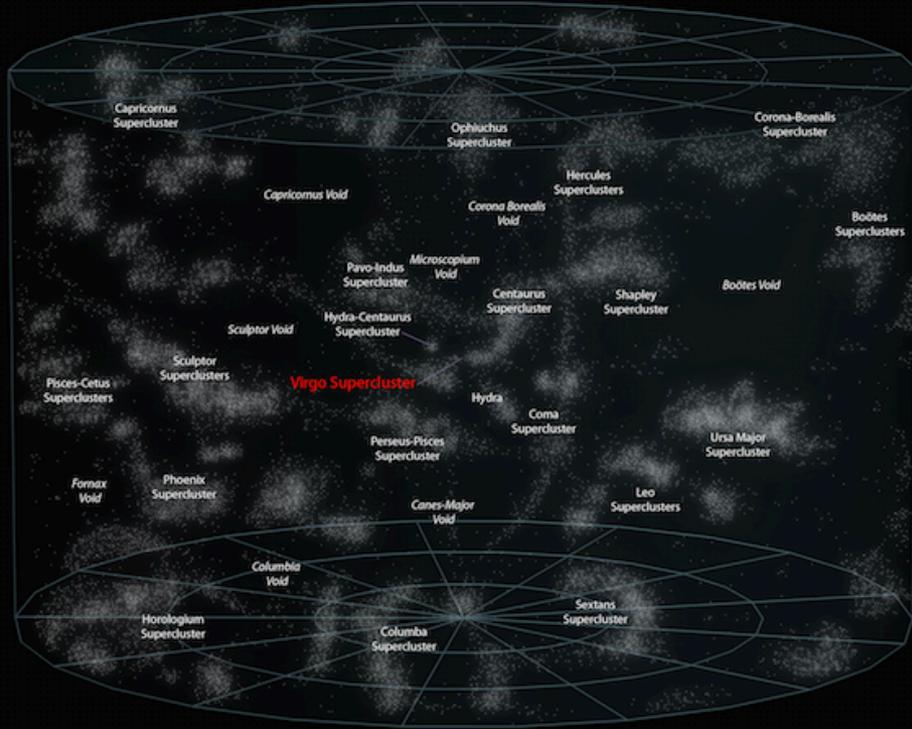
Virgo Supercluster



Local Superclusters



Local Superclusters



Observable Universe

