

# Séminaire général sur l'astronomie

Module Recherche en physique moderne RECH 601

David Sanchez([david.sanchez@lapp.in2p3.fr](mailto:david.sanchez@lapp.in2p3.fr))

# Histoire et préhistoire de l'astronomie



Stonehenge (2800/2100 Av JC)



Keops (2600 Av JC)

Caractéristiques de la période:

- Structure servant de moyens de mesure
- Relations mystiques aux astres (pas d'étude pour connaître ce que sont ces astres, on observe et on interprète les volontés divines)

Fort lien Astronomie/Astrologie

# Antiquité

Mésopotamiens (3000 avant notre ère - an 100 de notre ère ): Approche pragmatique, calendrier, prédiction des éclipses, horoscope (qui était considéré comme une science), durée du jour.



Chine, l'astronomie s'est développée entre –2000 et –500 dans le même but

Mesure indirecte du diamètre terrestre par Ératosthène, vers 220 av. J.-C.

Début de la navigation à l'aide des astres



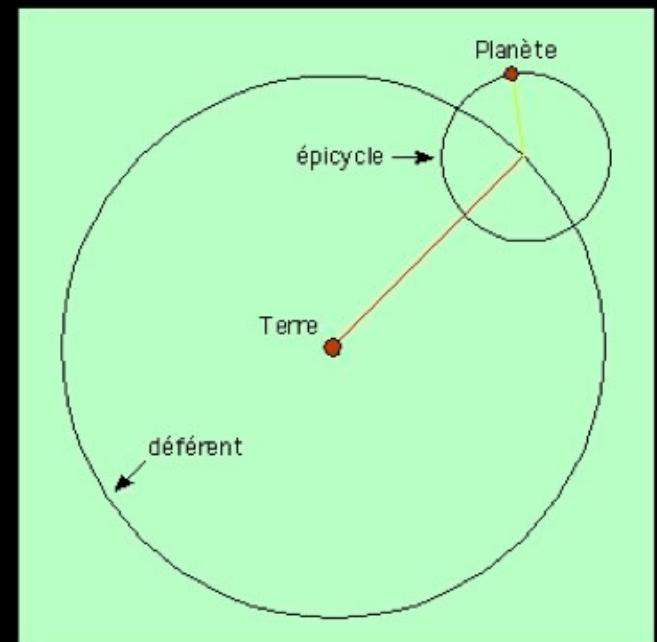
# Géocentrisme et épicycles

Ptolémée (100-168) : système géocentrique basé sur les épicycles.

Le monde supralunaire est supposé parfait et le cercle est considéré comme la figure parfaite

Ptolémée reproduit ainsi le mouvement des planètes (du grec *planeta* = errant)

Le modèle est sans cesse compliqué pour être « sauvé ».

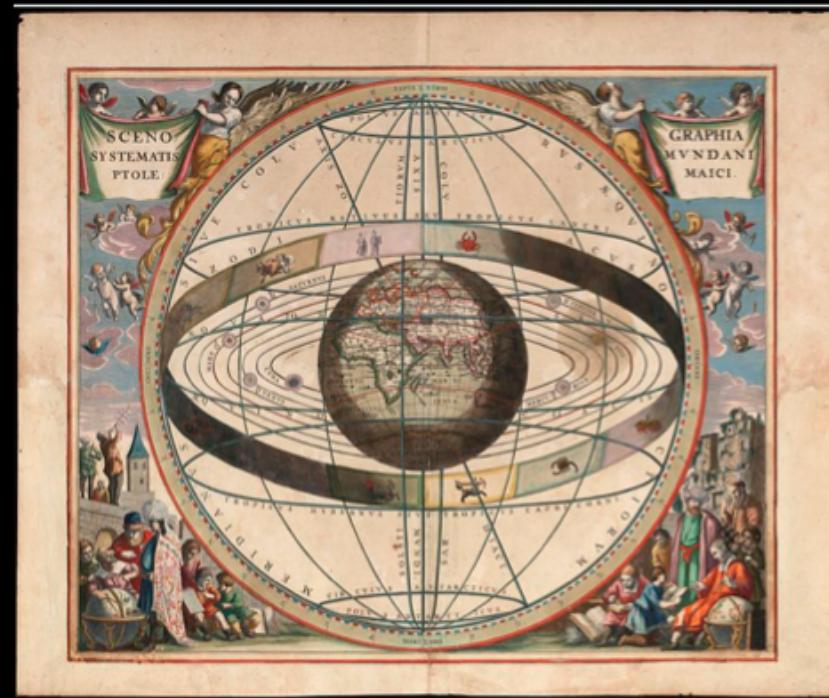


# Géocentrisme

Travaux de Ptolémée repris par les perses et essor de l'astronomie dans le monde arabe pendant le moyen âge.

- Abou Masar (795–886) décrit le phénomène des marées
- Abd al Rahman al Sufi (903–986) établit un catalogue d'étoiles

La vision géocentrique au cours pendant 1300 ans environ, notamment soutenu par l'église en Europe.



# Du géocentrisme à l'Héliocentrisme

1543: Copernic place le Soleil est au centre du système solaire (*Des révolutions des orbes célestes*)



Nicolas Copernic (1473–1563)

# Naissance d'une science

Galilée: naissance de la physique moderne, fondée sur l'expérience, et de l'astrophysique, fondée sur l'observation et l'utilisation de la physique comme cadre d'interprétation.



La lunette de Galilée (1609)

Le relief de la Lune  
Les taches solaires  
Les satellites de Jupiter  
Les phases de Vénus

Galilée (1564-1642)

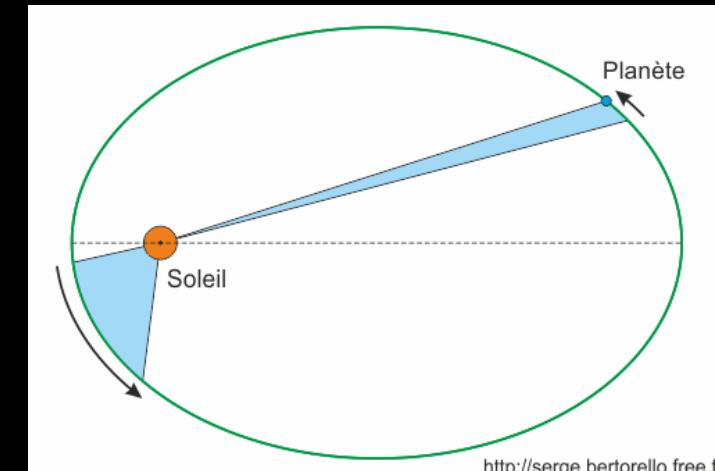


# Du géocentrisme à l'Héliocentrisme

Tycho Brahe : premières mesures de distance  
Observations précises de Mars

Kepler (son assistant) énonça ensuite les 3 lois de l'astronomie qui portent son nom:

- Les planètes se déplacent le long d'ellipses dont le Soleil occupe l'un des foyers.
- Les aires balayées par les rayons vecteur en des temps égaux, sont égales (loi des aires).
- Les carrés des périodes de révolution des planètes sont proportionnels aux cubes de leurs demi-grand axes :  $T^2/a^3 = \text{Cte.}$



# Astronomie Moderne

Lois de mouvement (mécanique classique, 1687)

Loi de la gravitation universelle

Optique : théorie de la couleur

Le télescope

Calcul infinitésimal

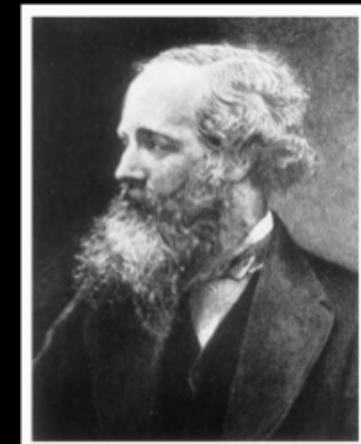
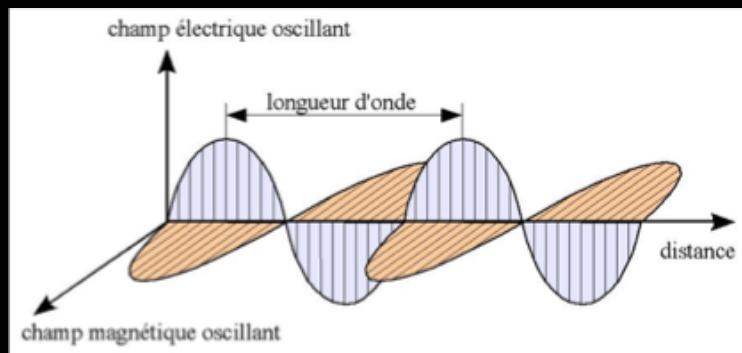
$$F_{A/B} = F_{B/A} = G \frac{m_A m_B}{d^2}$$



Newton (1643-1727)

Les lois de Kepler sont démontrées par Newton

1860: Maxwell décrit que la lumière est une onde électromagnétique



# Instrumentation

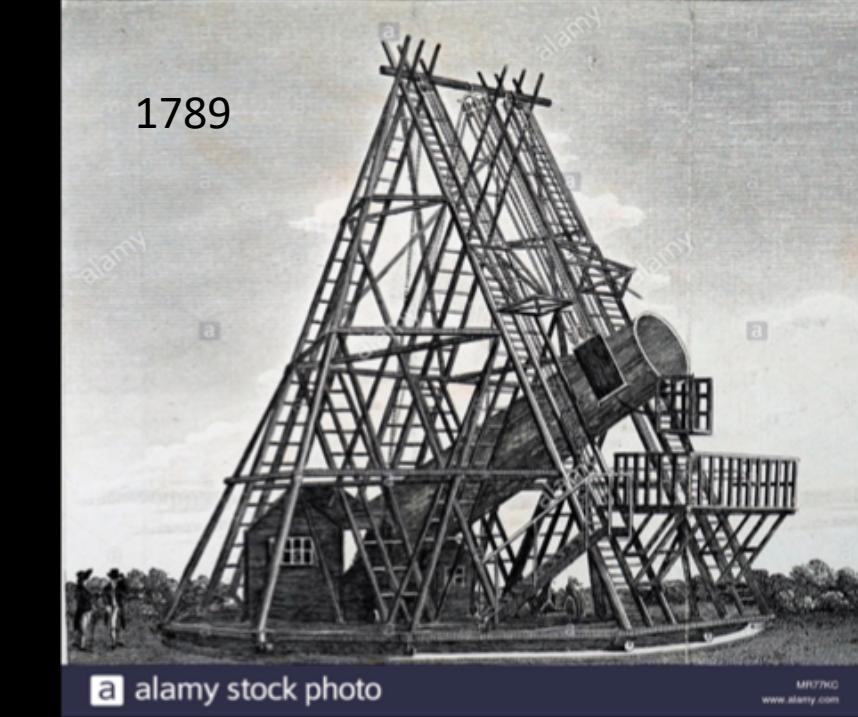


Télescope de Newton



années 1920

Hubble, mont Wilson

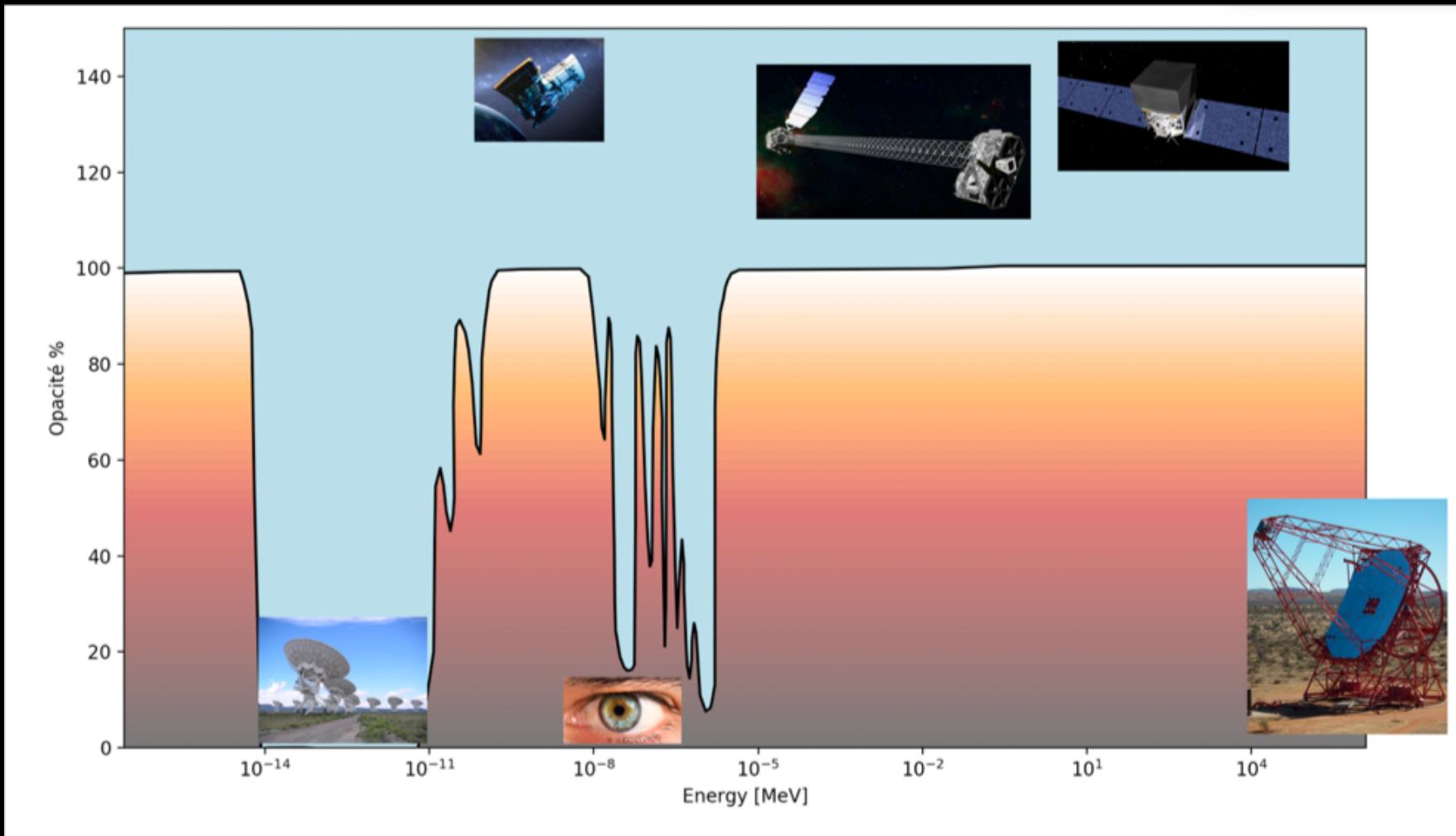


Telescope de Hershel  
12 m de focale

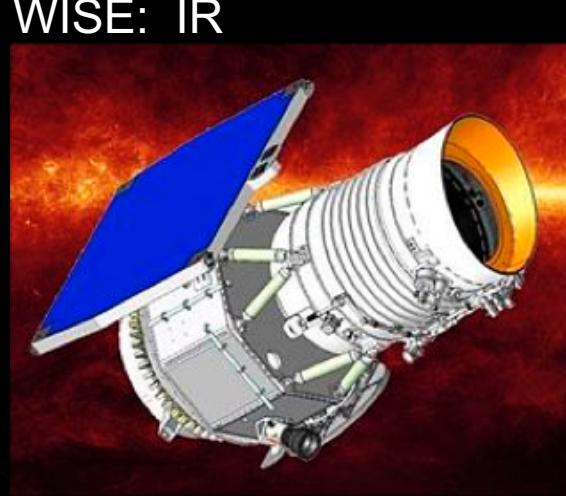
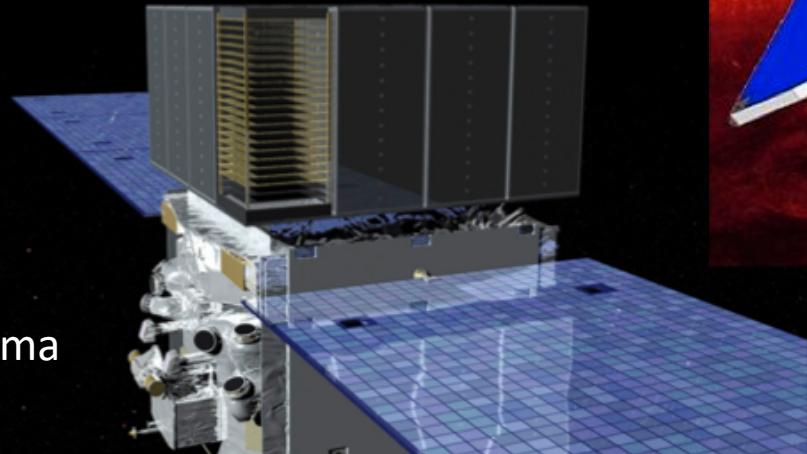


VLT. Aujourd'hui

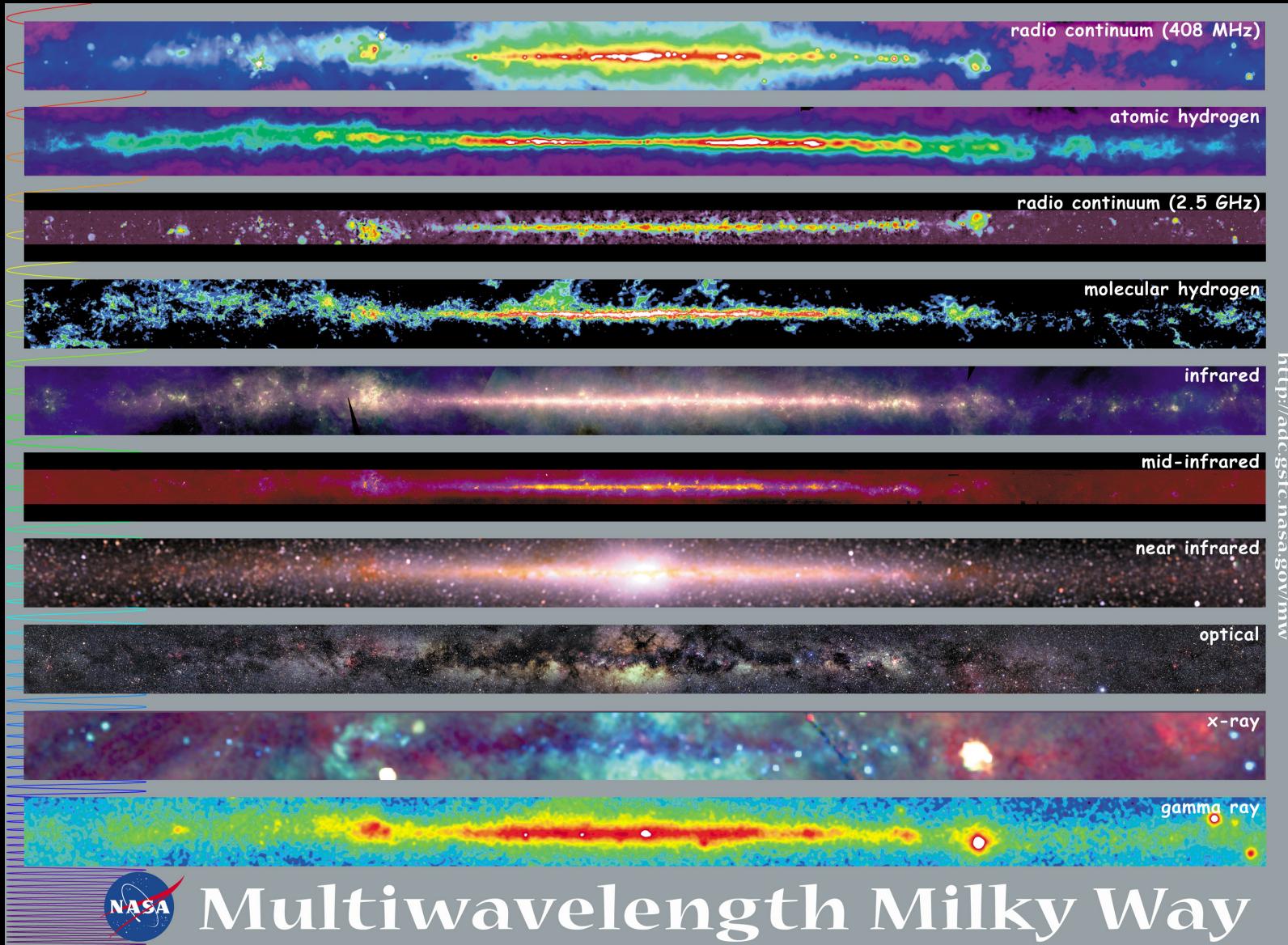
# Instrumentation



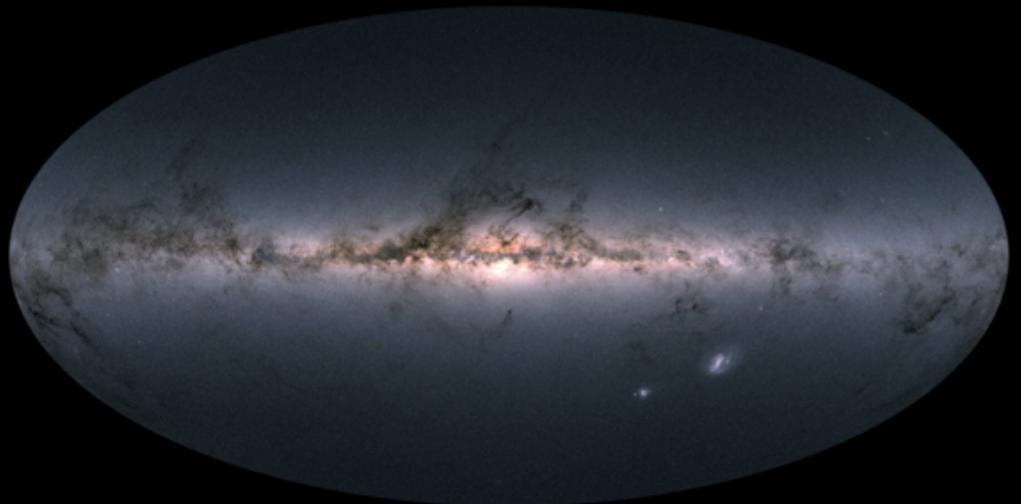
# Multi-longueur d'onde



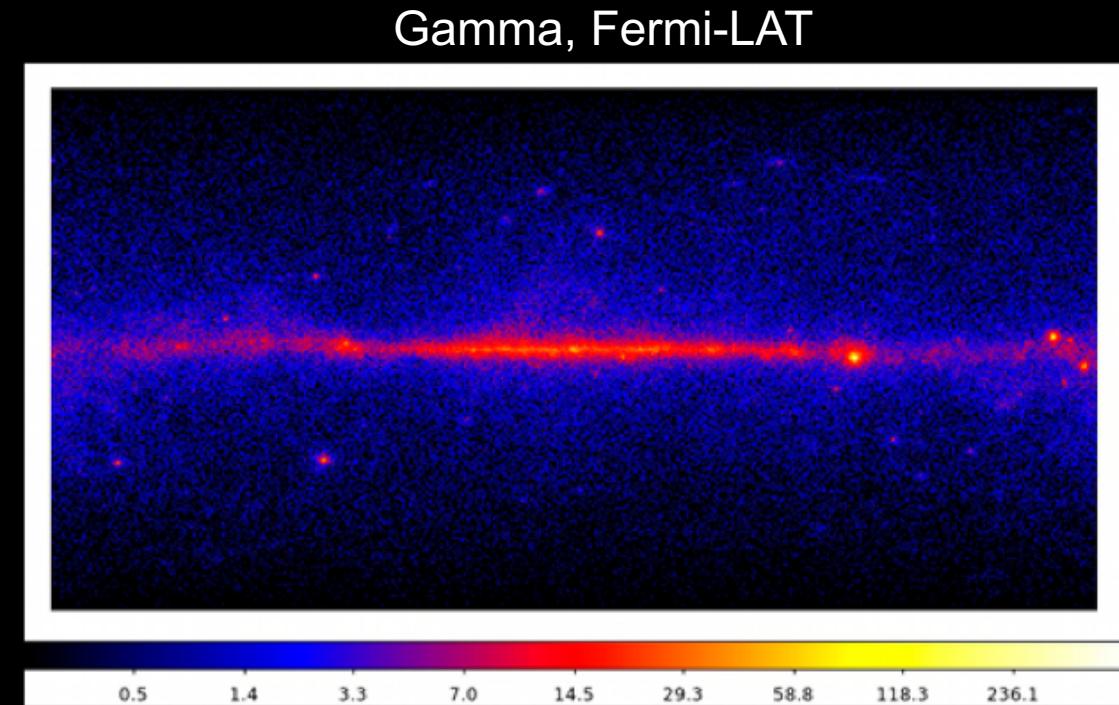
# Multi-longueur d'onde



# Multi-longueur d'onde

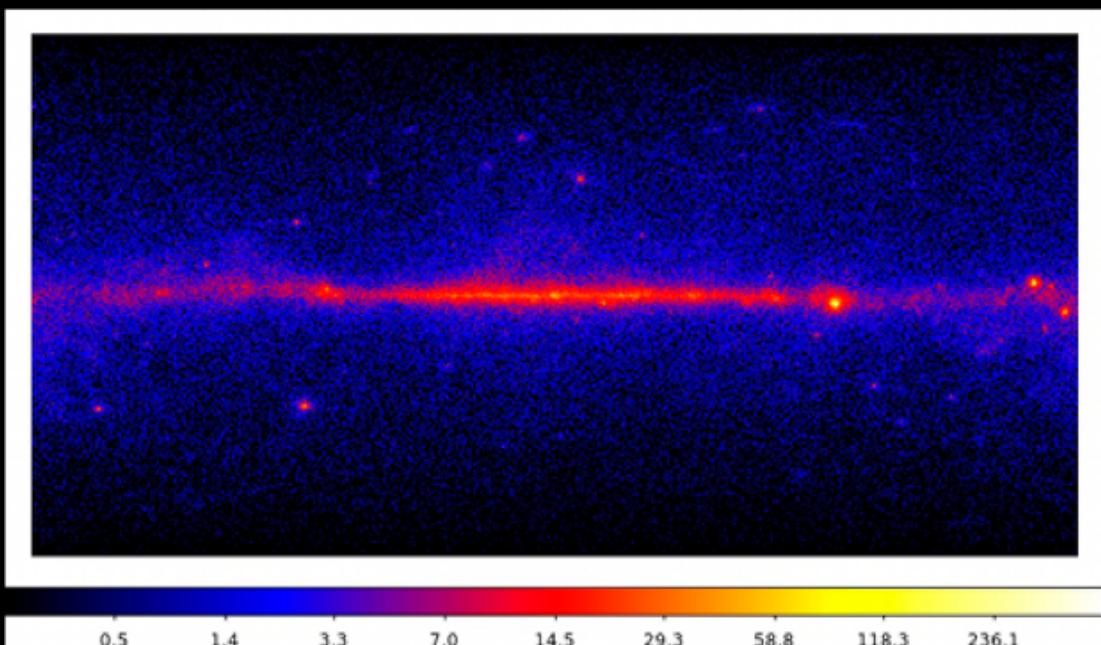


Visible, Gaia

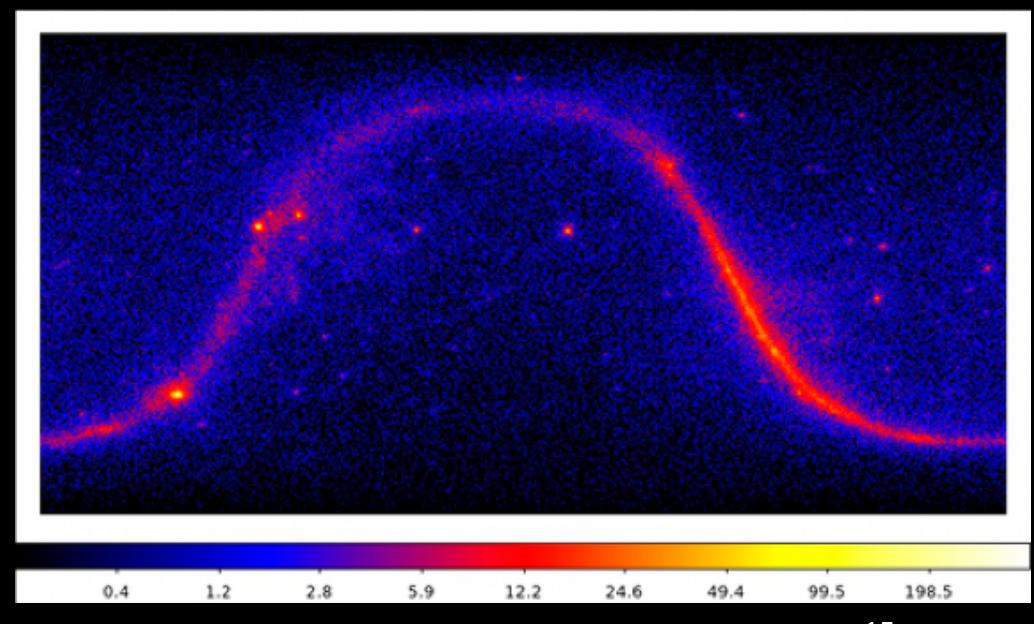


# Se repérer dans le ciel

Coordonnées galactiques et en projection cartésienne.  
L'échelle en B (ordonnée) s'étend de  $-90^\circ$  à  $+90^\circ$ .  
L'échelle en L (abscisse) décroît de  $180^\circ$  à  $-180^\circ$ , de telle sorte que le point  $L=0$ ,  $B=0$  (le centre galactique) soit au centre de la figure.  
Le plan de la Galaxie s'étend le long de l'axe  $B=0$ .



Coordonnées célestes et en projection cartésienne.  
L'échelle de DEC (ordonnée) s'étend de  $-90^\circ$  à  $+90^\circ$ .  
L'échelle en RA (abscisse) décroît de  $180^\circ$  à  $-180^\circ$ , de telle sorte que le point  $RA=0$ ,  $DEC=0$  (appelé point vernal, position apparente du Soleil à l'équinoxe de printemps) soit au centre de la figure.  
Le plan de la Galaxie forme une courbe en cloche.



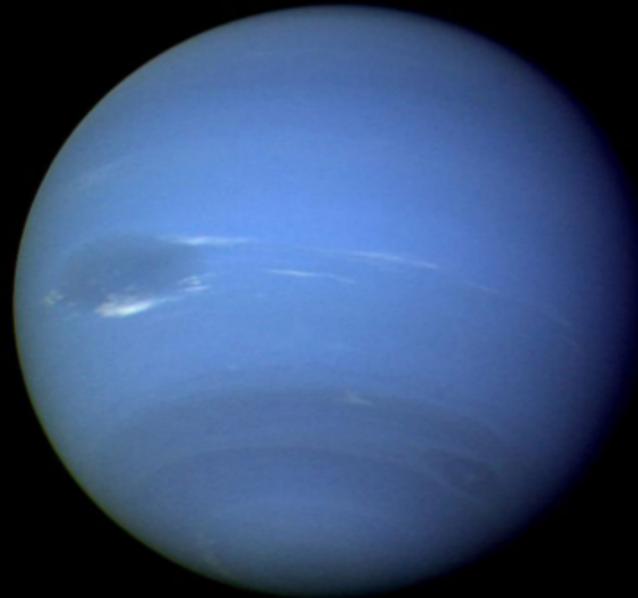
# Le rôle de la théorie physique

1758, le triomphe posthume de Halley (période de 76 ans de « sa » comète).

1846, la découverte de la planète Neptune, dont l'existence a été prédite par les calculs de Le Verrier (1845).



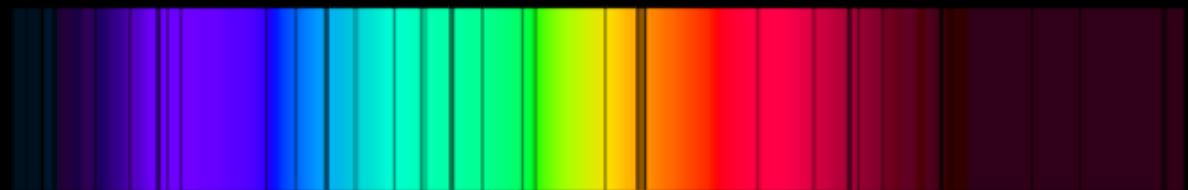
Le Verrier (1811-1877)



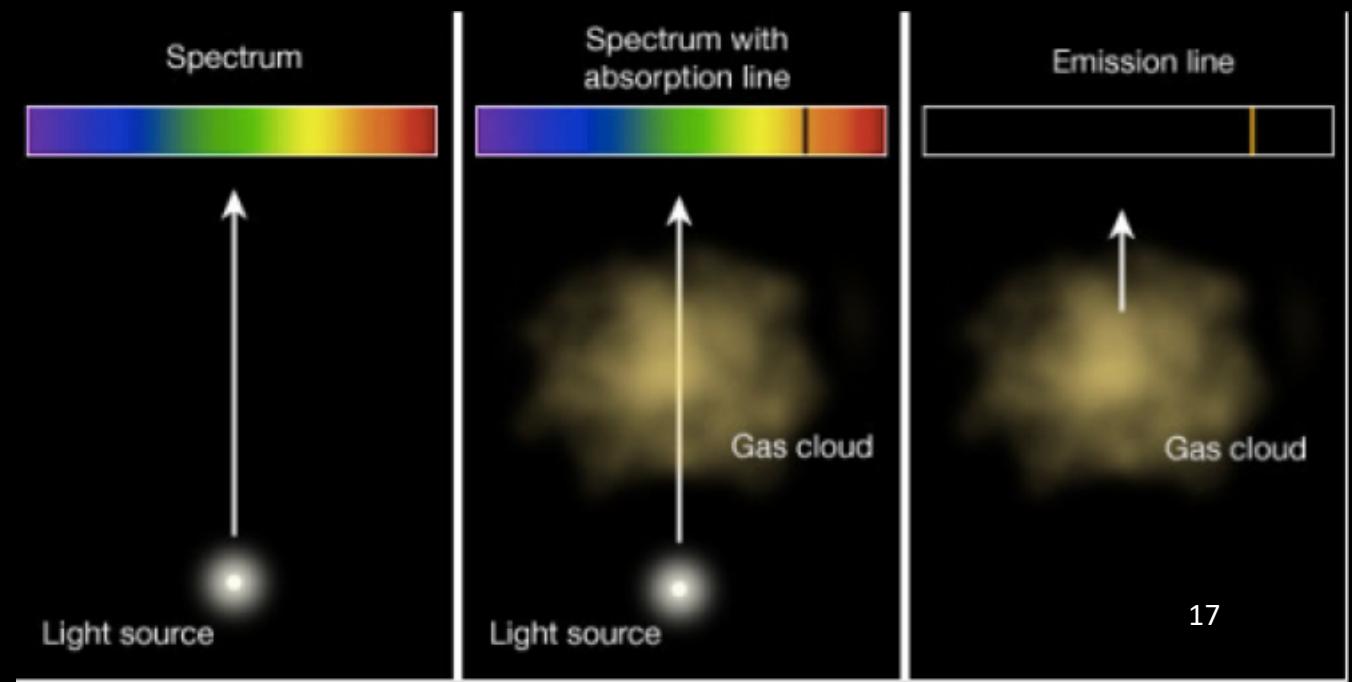
Neptune observée par la sonde Voyager 2 en 1989

# Spectroscopie

1814 : Fraunhofer observe des raies sombres dans le spectre du soleil



1859: Bunsen et Kirchhoff découvre que les raies dépendent des éléments



# Moyen de mesure objectif

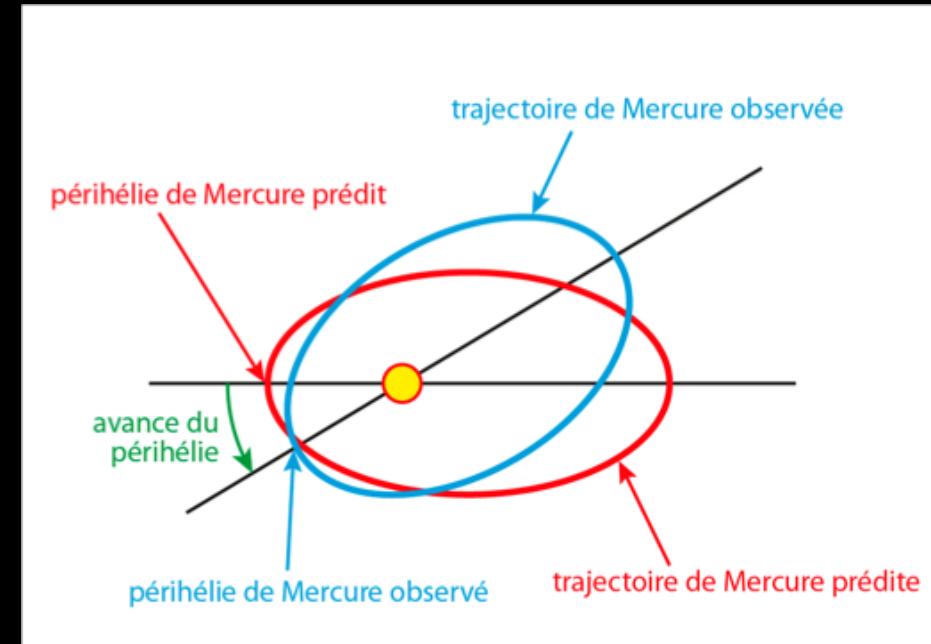


1840 : John William Draper  
première photographie de la lune

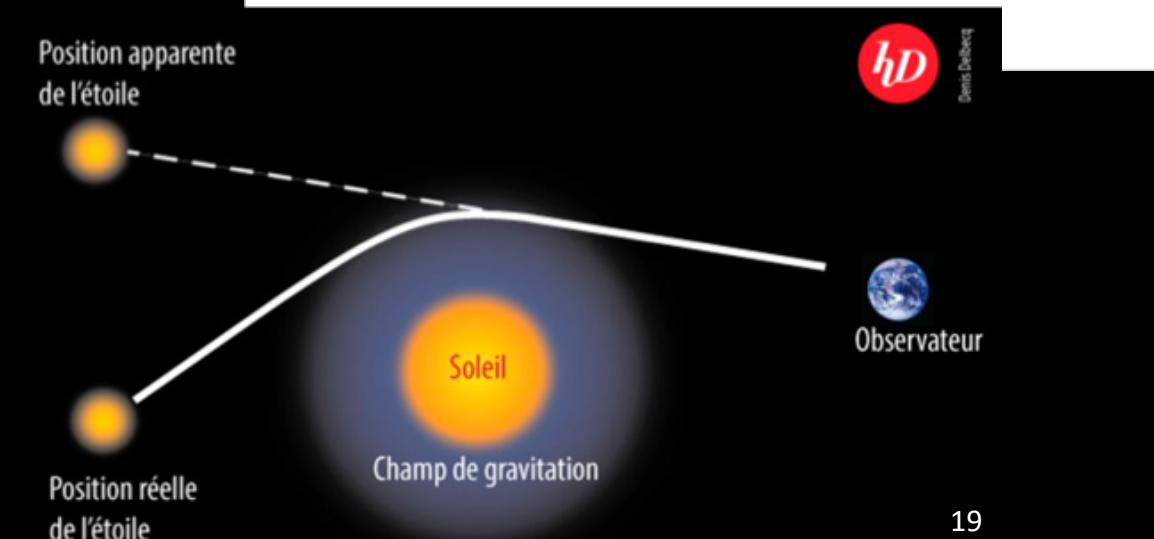
# Le rôle de la théorie physique

Mouvement du périhélie de Mercure 43'' de trop par siècle (0,013 degré)

Explication de cette avance: la relativité générale d'Einstein (1916)



L'astronomie fournit un test des prédictions de cette nouvelle théorie, avec l'observation d'une éclipse de Soleil en 1919 par Eddington (il voit une étoile « derrière » le Soleil).

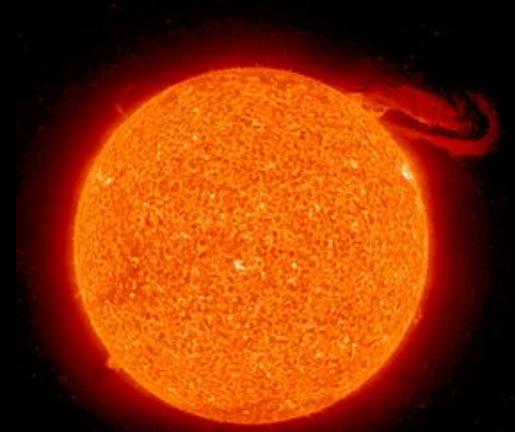


# Etude des étoiles

1924: Eddington les étoiles transforment leur hydrogène en hélium, cette différence de masse est libérée sous forme d'énergie.



1925: Cecilia Payne: les étoiles contiennent beaucoup plus d'hydrogène et d'hélium que d'éléments plus lourds comme le carbone ou le fer

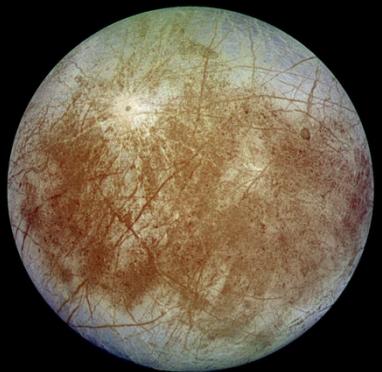


# Quelques objets du ciel

Planète



Lune



Pulsar



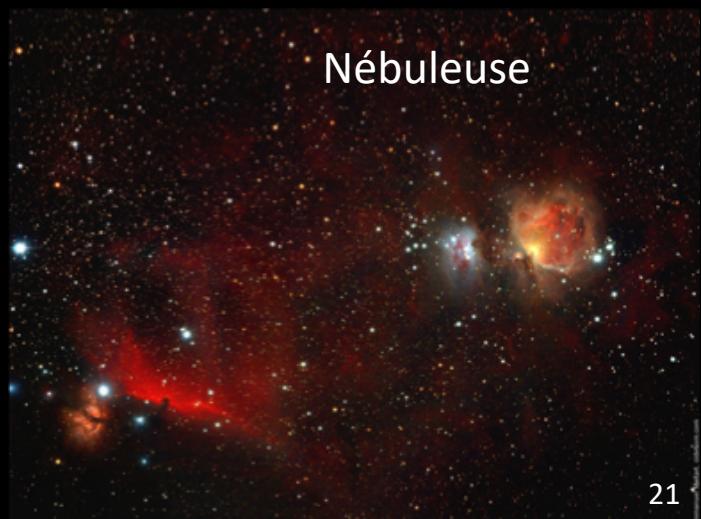
Etoile



Trou noir



Nébuleuse



# Distance

Rayon moyen de la Terre = 6 371 km

Distance du Soleil 1U.A = 149 600 000 km

Année lumière 1 a.l. = 9 461 000 000 000 km

# Echelle de distance - 1



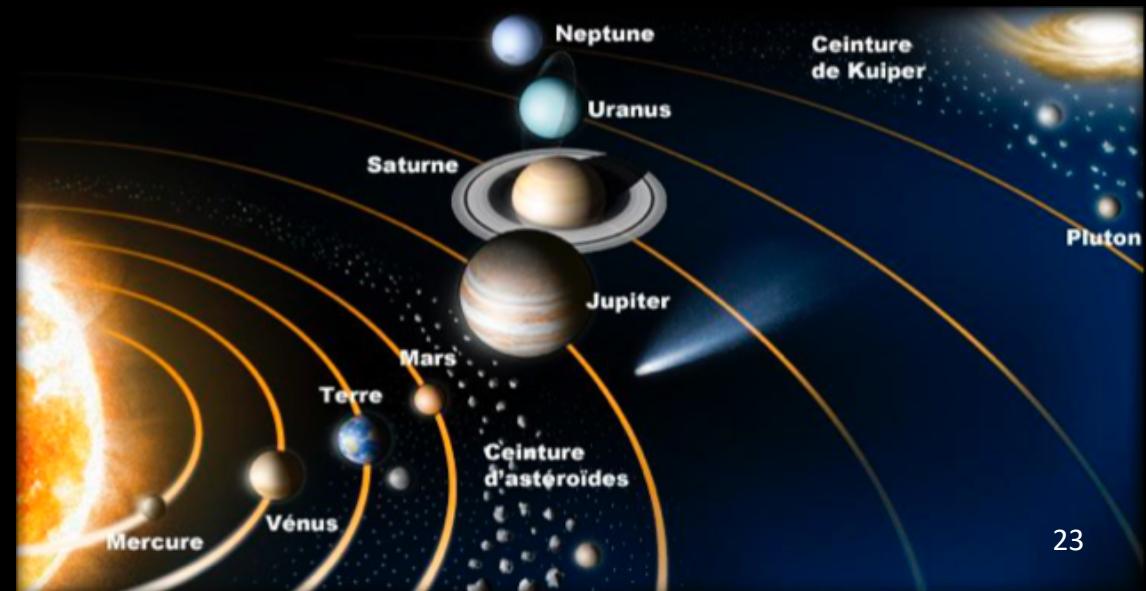
$10^3$  m = 1km: taille d'un comète



$3.8 \cdot 10^8$  m = 380 000 km:  
distance Terre-Lune



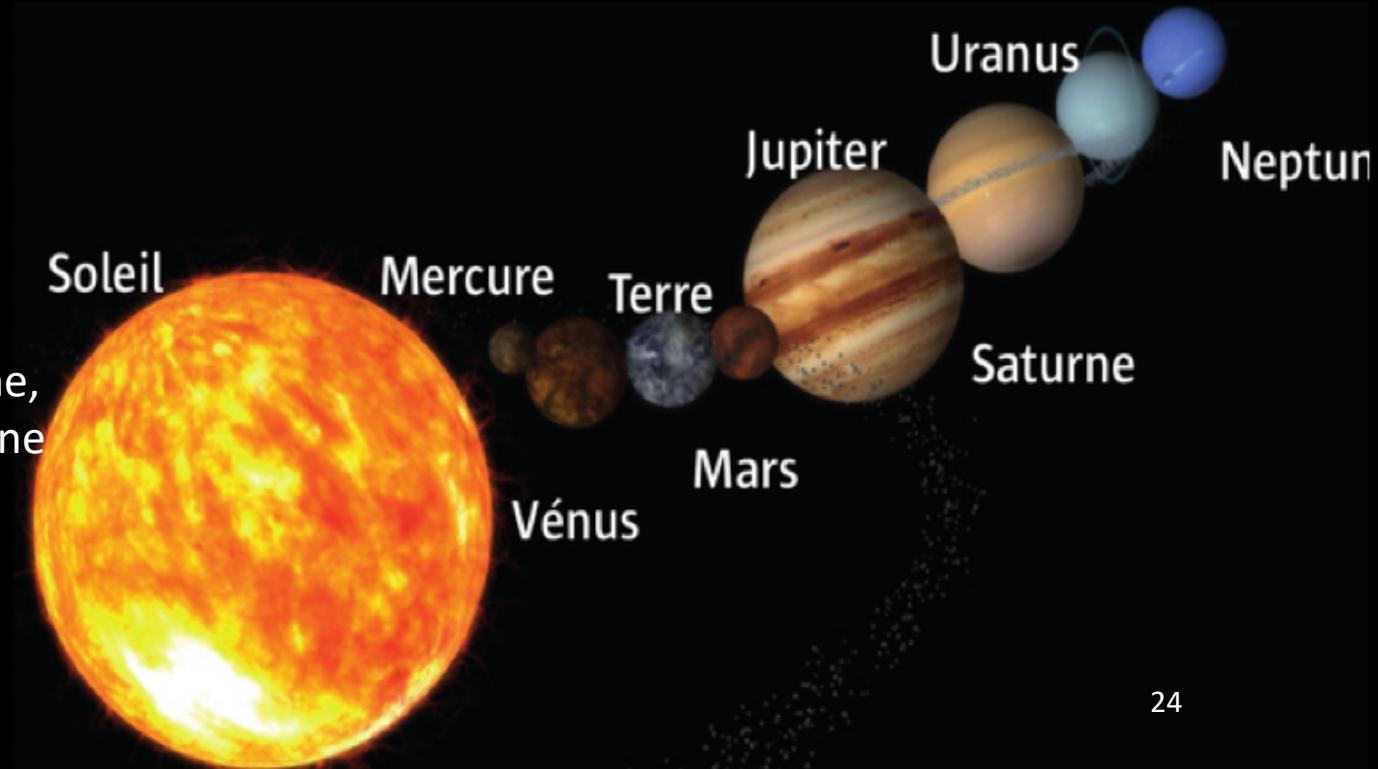
$1.5 \cdot 10^{11}$  m = 1 U.A. : distance Terre-Soleil



# Le système Solaire

Caractéristiques:

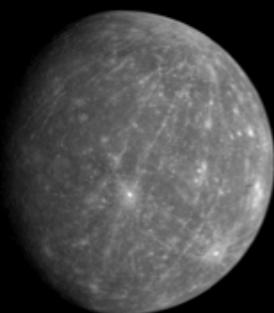
- 200 000 UA de rayon
- orbites elliptiques
- 4 planètes telluriques: Mercure, Vénus, la Terre et Mars. Leur densité moyenne est élevée (de 3,96 à 5,52)
- 4 planètes gazeuses ou géantes : Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, qui ont une densité moyenne faible (de 0,7 à 1,5 )



# Les planètes telluriques

## Mercure:

- pas d'atmosphère
- surface complètement cratérisée (impacts météoritiques subis lors de sa formation et qui subsistent encore en l'absence d'érosion).
- Température: **-173 °C à 427 °C**



## Vénus :

- Atmosphère très dense et très étendue contenant 96% de gaz carbonique et 3,5% d'azote et donnant une pression énorme de 93 bars au niveau du sol, surmontée de nuages élevés d'acide sulfurique.
- Température : 450 °C (gaz effet de serre CO<sub>2</sub>)



## Mars:

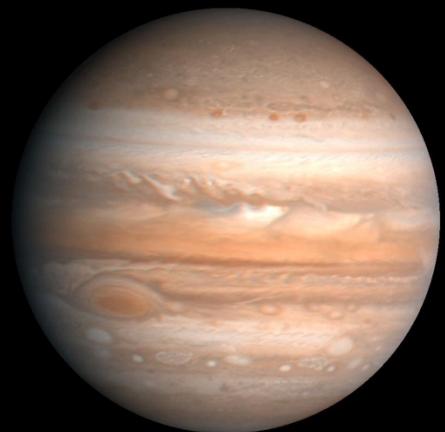
- atmosphère composée de 95,3% de gaz carbonique, de 2,7% d'azote et un peu d'argon, mais sa pression au sol est très faible (7 millibars).
- Température – 133 °C à -3 °C



# Les planètes gazeuses

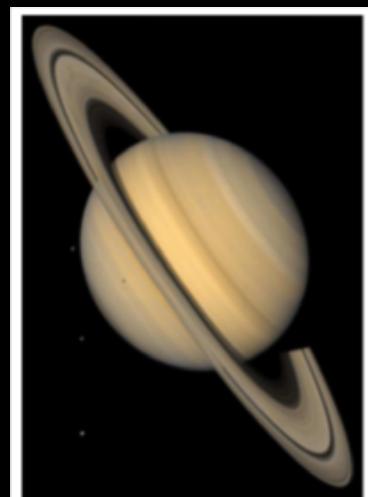
Jupiter:

- Taille: 11 Terres.
- Environ -160 °C à la surface



Saturne:

- Taille : 9 Terres
- Température: environ -190°C à la surface



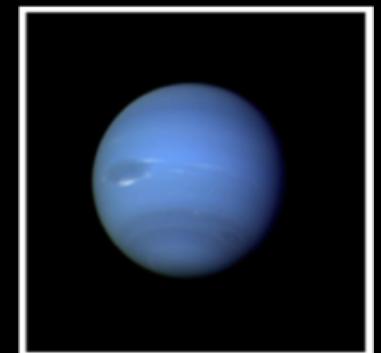
Uranus:

- Taille : 4 Terres
- Température : -216°C à la surface



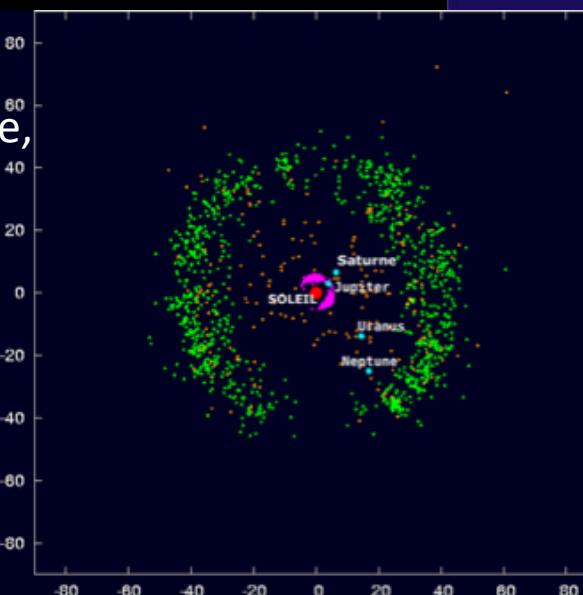
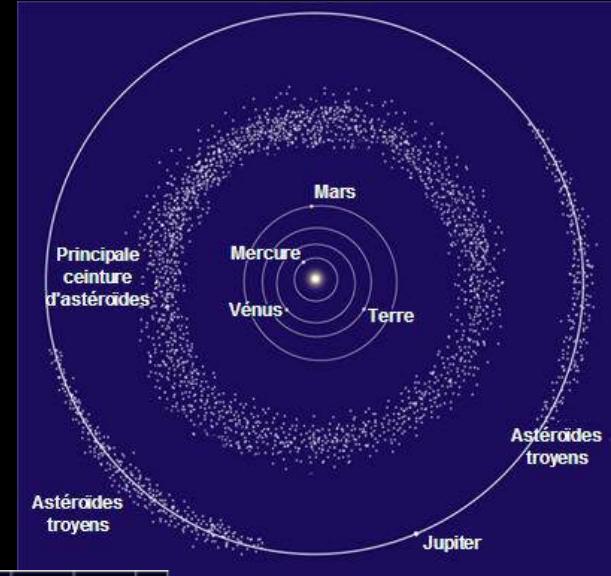
Neptune:

- Taille : 4 Terres
- Température : -226°C à la surface



# Autres objets du système solaire

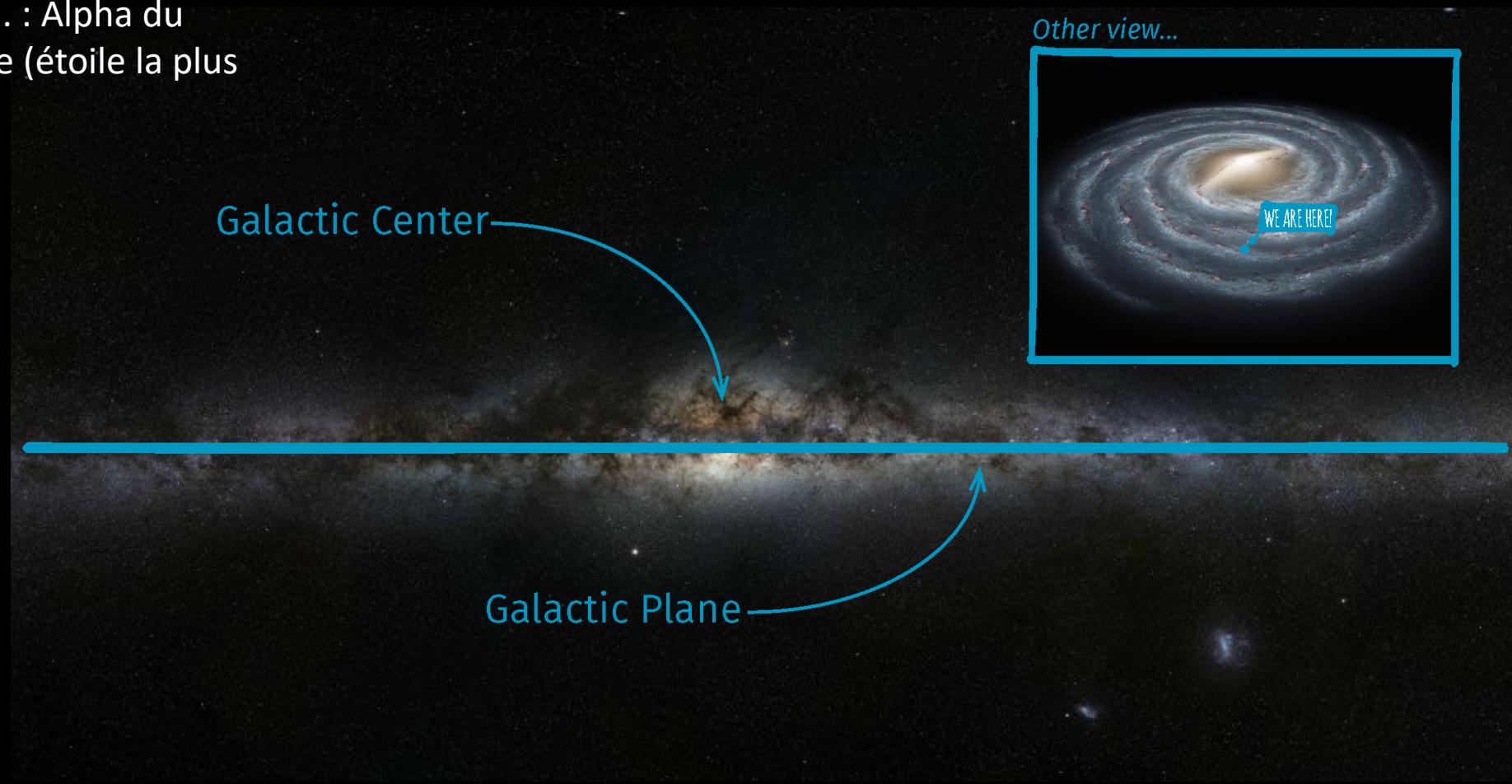
- Ceinture d'astéroïdes
  - Composition: corps rocheux et métalliques
  - Distance au Soleil: entre 1.5 et 4 UA
- Ceinture de Kuiper
  - Composition: volatils gelés comme le méthane, l'ammoniac ou l'eau
  - Distance au Soleil: entre 30 et 55 UA



# Echelle de distance - 2



4.37 a.l. : Alpha du  
Centaure (étoile la plus  
proche)



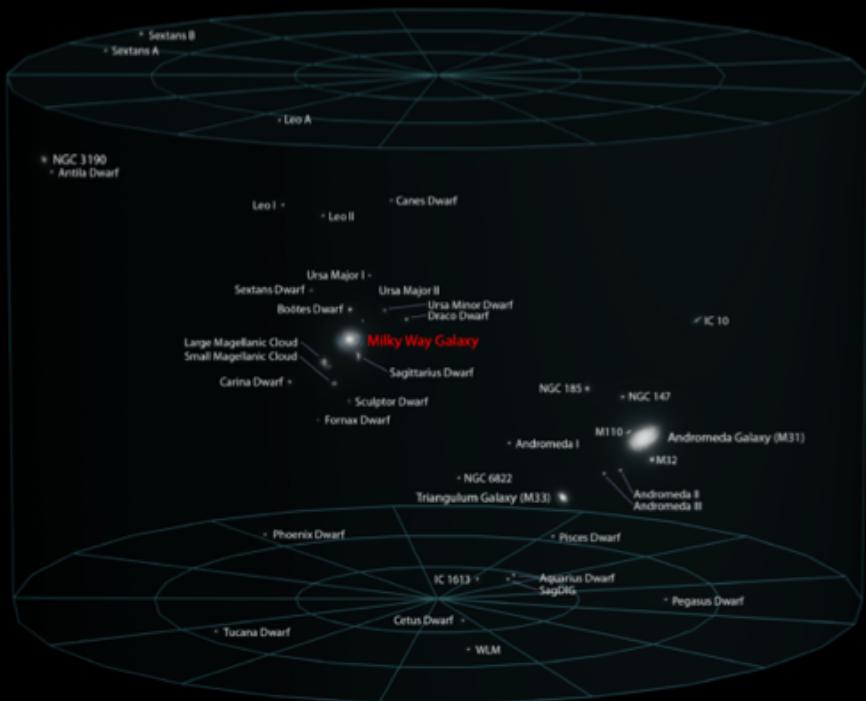
$10^5$  a.l. : diamètre voie lactée

# Au-delà de la voie lactée

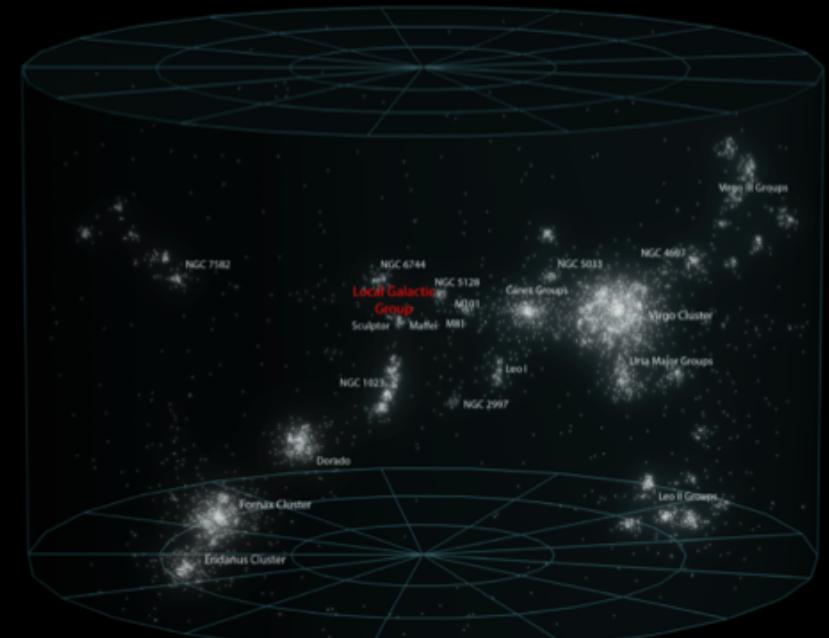
Grand Nuage de Magellan  
160.000 AL



## Local Galactic Group



## Virgo Supercluster



# Au-delà de la voie lactée

# Virgo Supercluster

100 millions d'AL

## LOCAL SUPERCLUSTERS

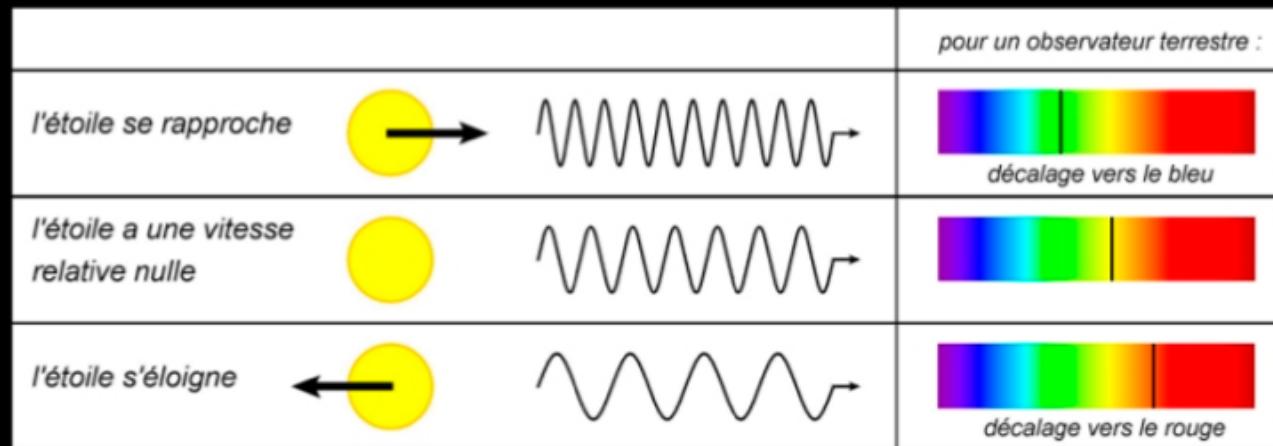
1 milliard d'AL

# OBSERVABLE UNIVERSE

90 milliard d'AL

# Cosmologie : l'Univers en expansion

## L'effet Doppler



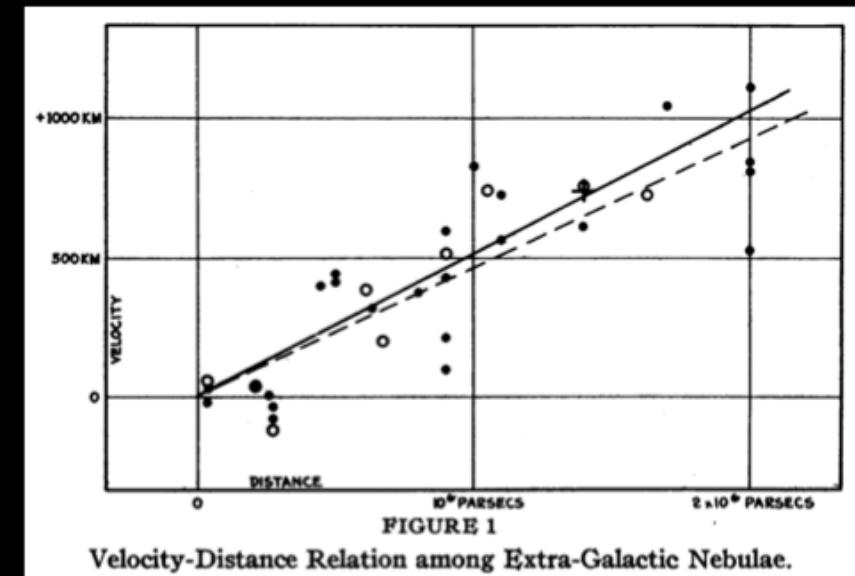
Décalage vers le rouge (redshift)  $z = v/c$

Décalage vers le rouge des galaxies ->

- la vitesse de récession d'une galaxie était proportionnelle à sa distance.



1929 : Hubble montre l'expansion de l'Univers

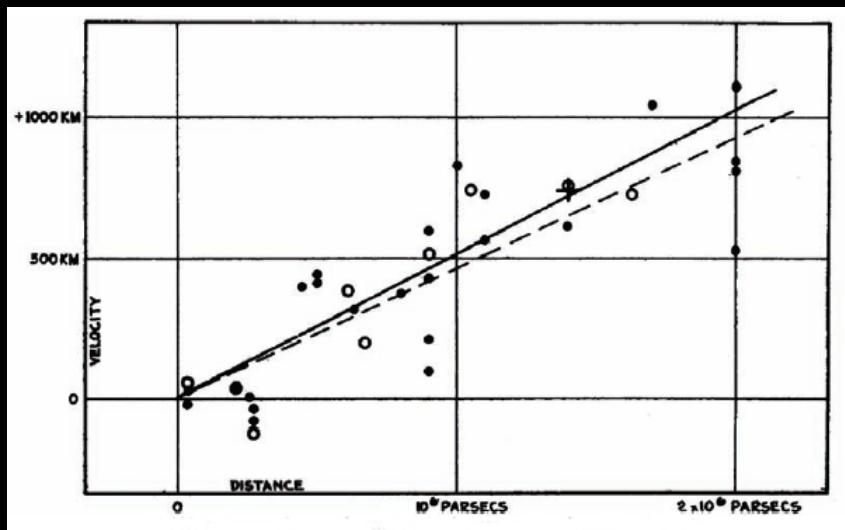


# Cosmologie moderne

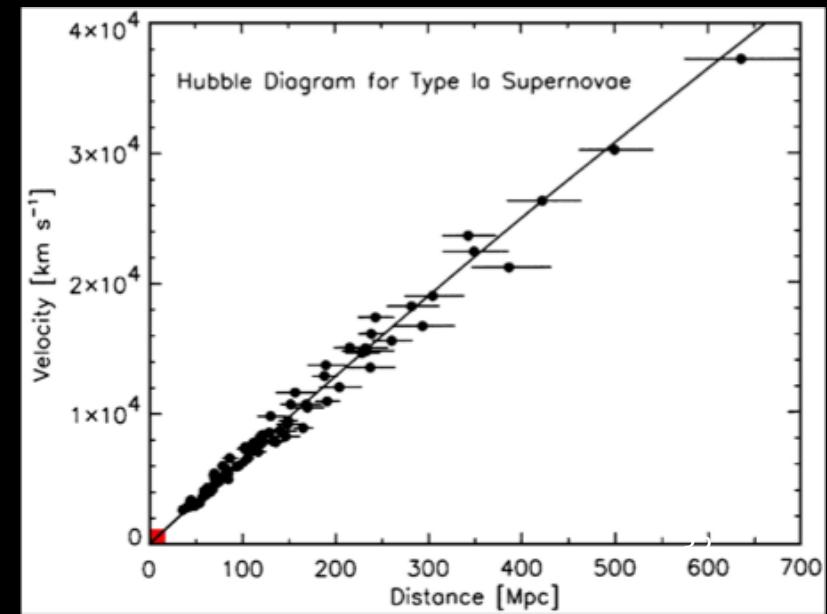
*cosmogonie* (du grec *cosmo* = monde, *gon* = engendrer)

## L'expansion de l'Univers

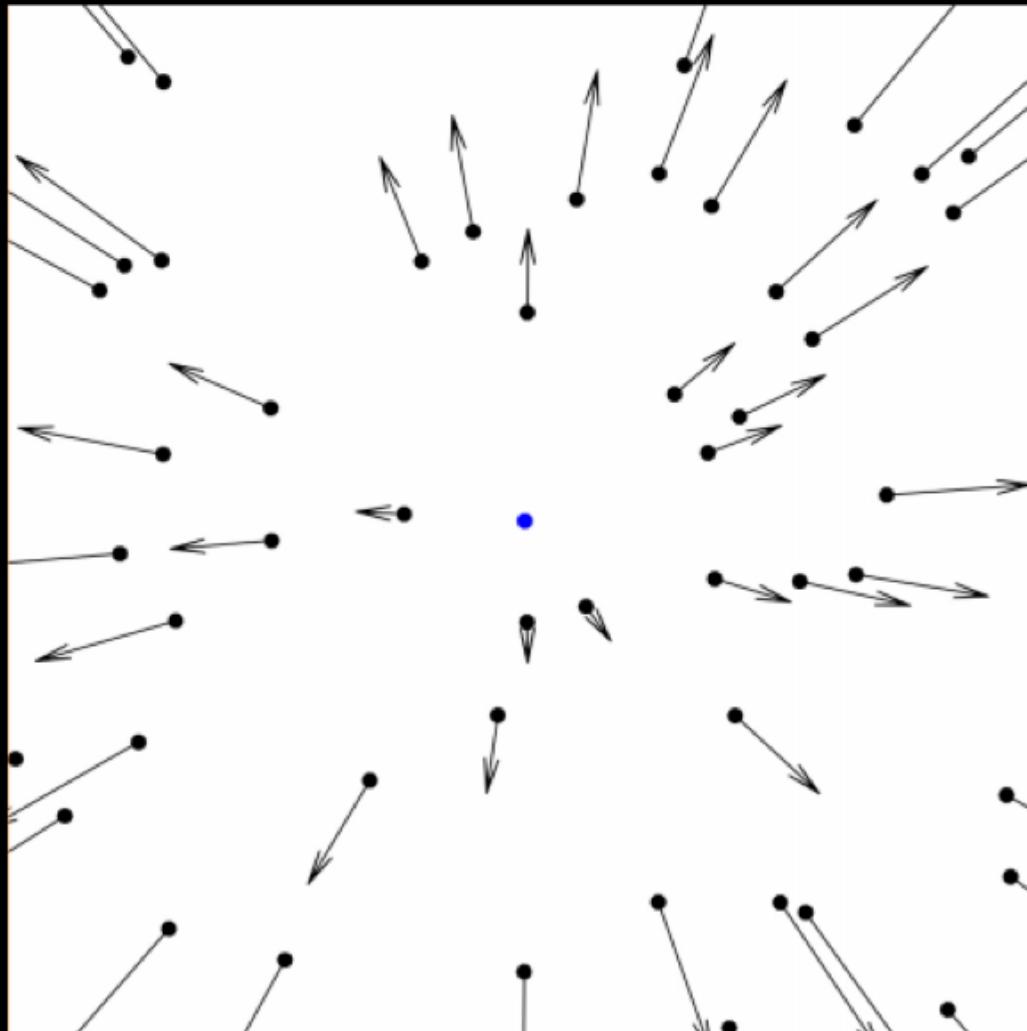
- Super novae Type Ia: chandelles standards (explosion de la même façon)
- la vitesse de récession d'une galaxie était proportionnelle à sa distance.



Hubble



# Cosmologie moderne



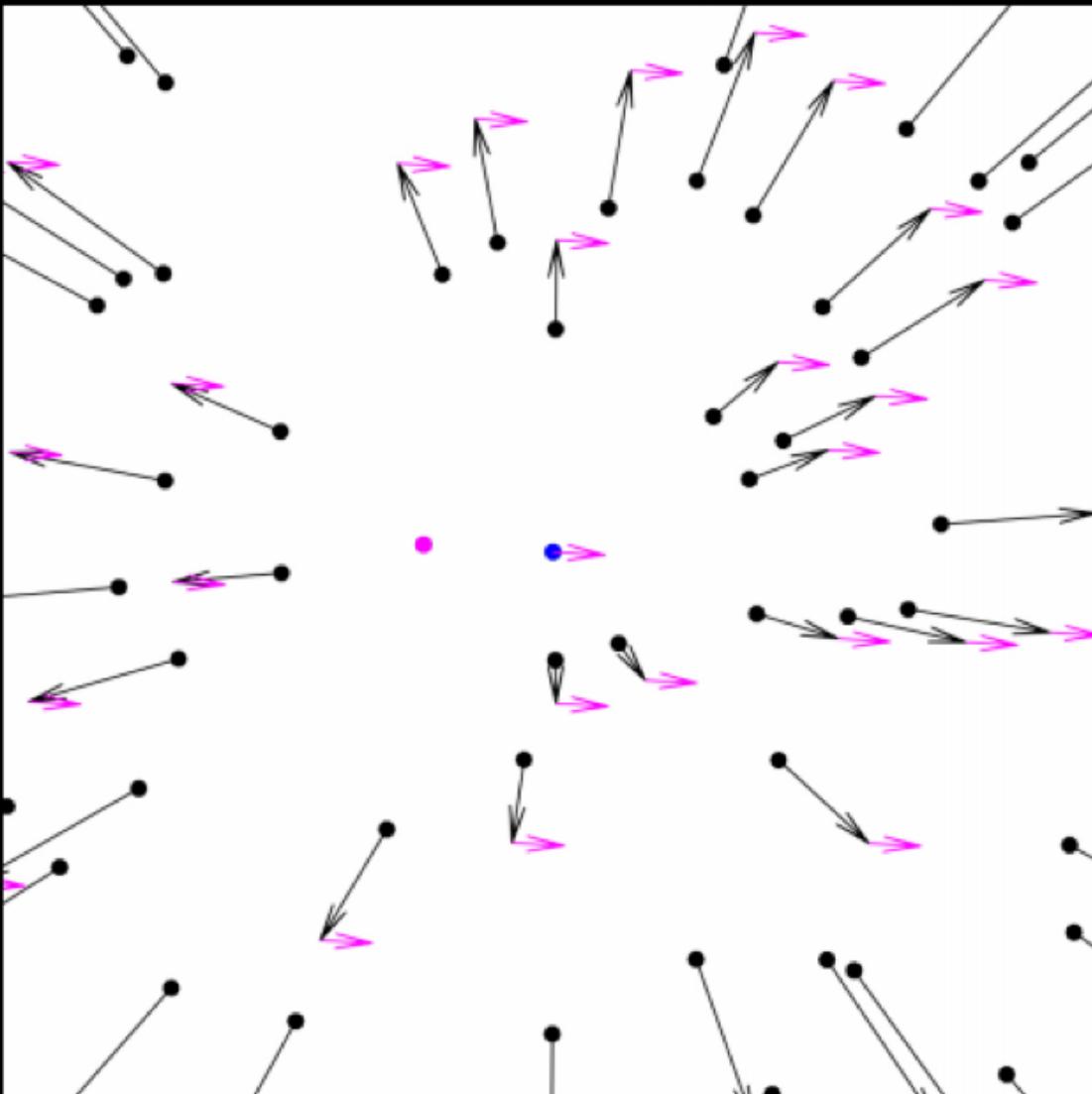
vitesse d'éloignement augmente avec la distance

$$V = H_0 \times D$$

$H_0$ : constante de Hubble

Terre place privilégiée au centre ?

# Cosmologie moderne



Loi est linéaire donc non. Chaque point dans l'Univers est identique

- Super novae Type Ia: chandelles standards (explosion de la même façon)

L'expansion est en accélération

Prix Nobel de Physique 2011 :



« for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae »



Saul Perlmutter  
(Supernova Cosmology Project)



Brian P. Schmidt & Adam G. Riess  
(High-z Supernova Search Team)



# Âge de l'Univers

Au moins 3 différents moyens d'estimer l'Age de l'Univers

- L'âge des amas d'étoile: 11-13 Milliards d'années (analyse la forme de la séquence principale, étape de vie des étoiles dans l'amas)
- Désintégration de noyaux atomiques: l'uranium, le thorium, l'osmium ou le rhénium indiquent un âge compris entre 12 et 16 milliards d'années
- L'expansion de l'Univers: en remontant le temps à partir de la valeur trouvée par Hubble, on trouve 13 milliards d'années