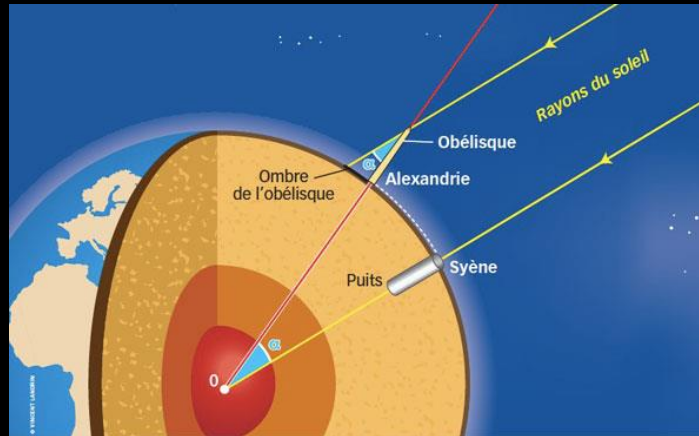


# Notions de temps et de distances dans l'Univers



## Les toutes premières mesures

- Vers - 420, Anaxagore tente de mesurer la distance et le diamètre du Soleil. Il trouve une distance d'environ 6515 km, pour un diamètre de 57 km.
- Vers -230, Erathostène mesure le diamètre de la Terre.



- Vers -260, Aristarque de Samos, tente la première mesure de la distance Terre-Lune. Il pense que la Lune est 3x plus petite que la Terre et qu'elle se situe à 40 rayons terrestres (60.2 en réalité). Il se lance ensuite dans la mesure de la distance Terre-Soleil, mais se trompe d'un facteur 20.

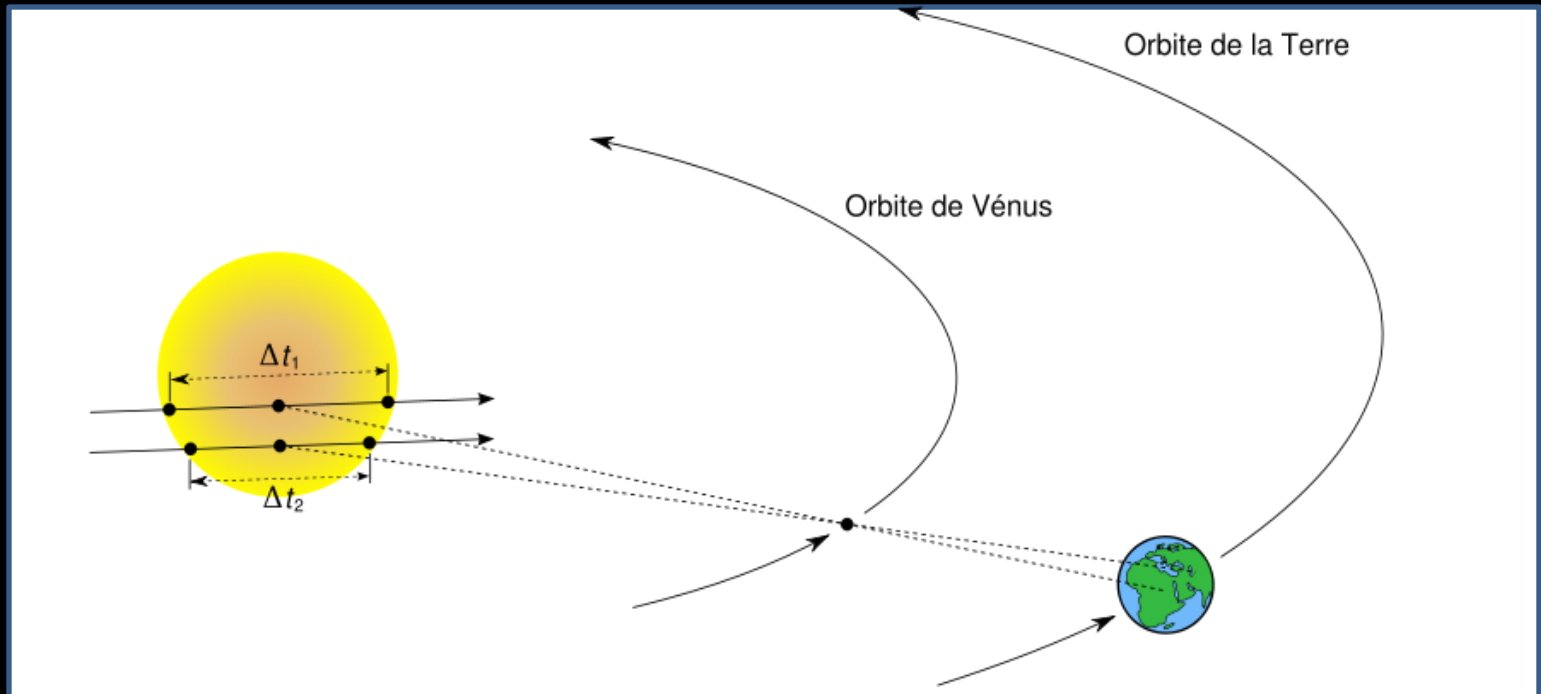
# Mesure de la distance Terre-Soleil

A l'époque de Ptolémée, on estime que le Soleil est situé à 7 millions de km de la Terre.

En 1672, Jean Picard, Jean-Dominique Cassini et Jean Richer mesurent cette distance et l'estiment à 130 millions de km.

En 1771, en recoupant des observations de 1761 et 1769, Jérôme Lalande, établit la distance Terre-Soleil à 153 millions de km.

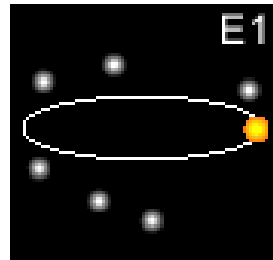
Lors des transits de 1874 et 1882, Simon Newcomb, affine les résultats et donne une valeur de 149.9 millions de km.



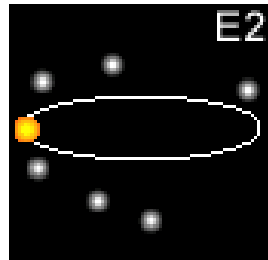
## Les unités de distance utilisées en astronomie

- ✓ L'unité astronomique (UA) : Elle correspond à la distance moyenne Terre-Soleil, soit 149 597 871 millions de km. Utilisée depuis la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, elle a été officiellement créée en 1958 et est utilisée pour mesurer les distances au sein d'un système planétaire.
- ✓ L'année-lumière (a-l) : Elle correspond à la distance parcourue durant un an à la vitesse de la lumière (300 000 km/s) : 9 460 730 472 581 km ou environ  $10^{13}$  km. Elle apparaît dès 1870. Elle est peu utilisée par les astrophysiciens, mais davantage pour vulgariser l'astronomie.
- ✓ Le parsec (pc) : contraction de parallaxe – seconde d'arc. Le parsec correspond à la distance à laquelle une unité astronomique est vue sous une parallaxe de 1". Il correspond à 3.26 a-l. Il peut être décliné en kiloparsecs ou en megaparsecs. Il fut utilisé à partir de 1913.

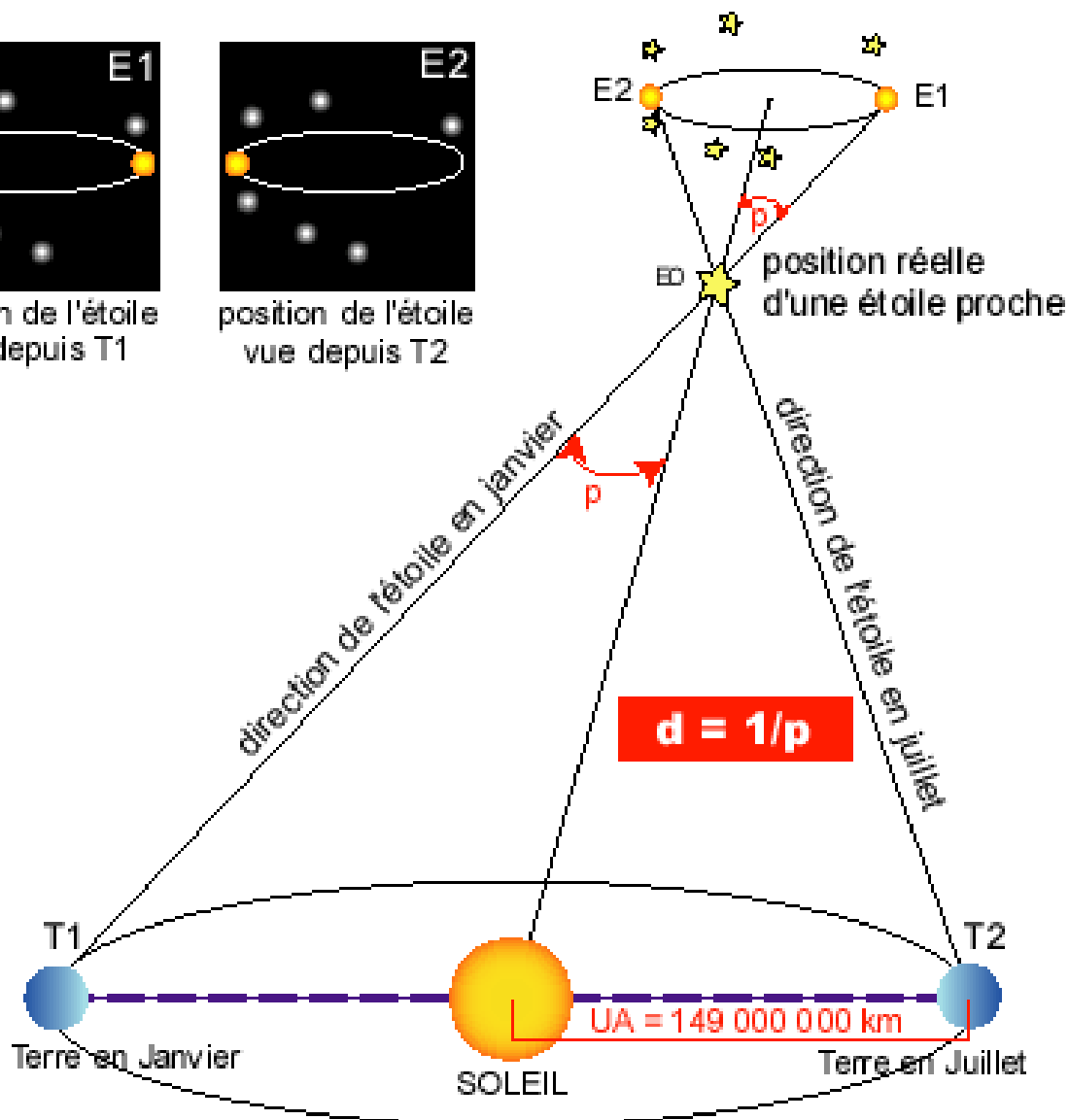
# Mesure de distance d'une étoile : méthode de la parallaxe



position de l'étoile vue depuis T1



position de l'étoile vue depuis T2

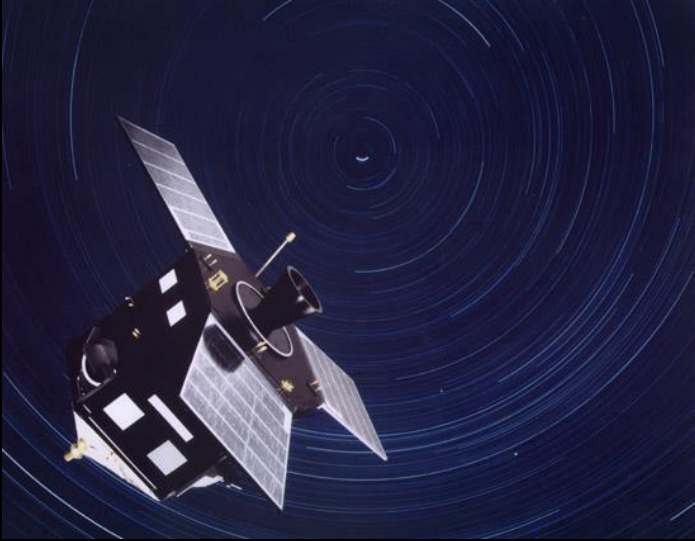


Première mesure réalisée en 1838 par Friedrich Bessel sur l'étoile 61 Cyg. Il trouve une parallaxe de  $0.31''$ , ce qui donne une distance de 10.5 a-l.

Proxima du Centaure a une parallaxe de  $0.77''$ , ce qui donne en années-lumière :  
 $(1/0.77) \times 3.26 = 4.23$  a-l.

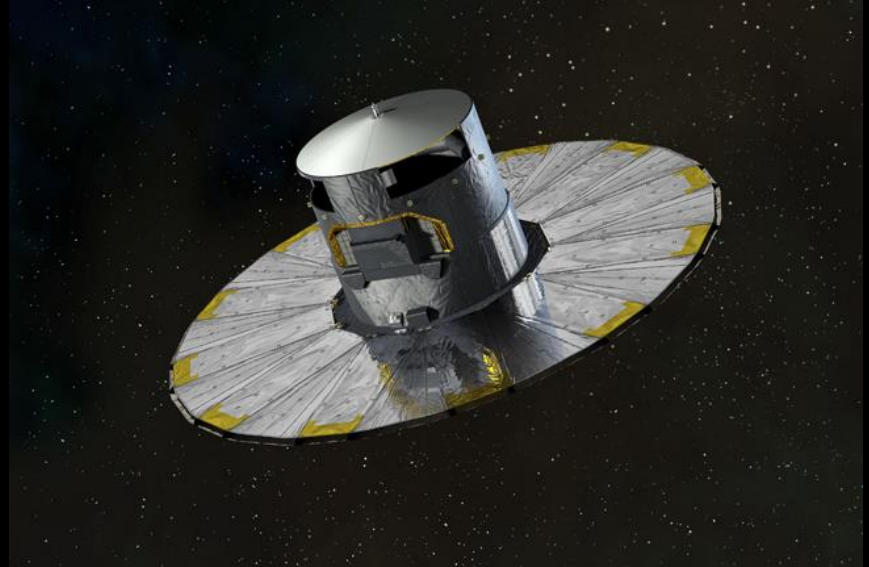
A la fin des années 1980, on connaissait la distance d'environ 8000 étoiles, car au-delà de 1000 a-l, l'erreur est de 30 %.

## Hipparcos et Gaïa



Hipparcos est un satellite européen dont la mission se déroule entre 1989 et 1993.

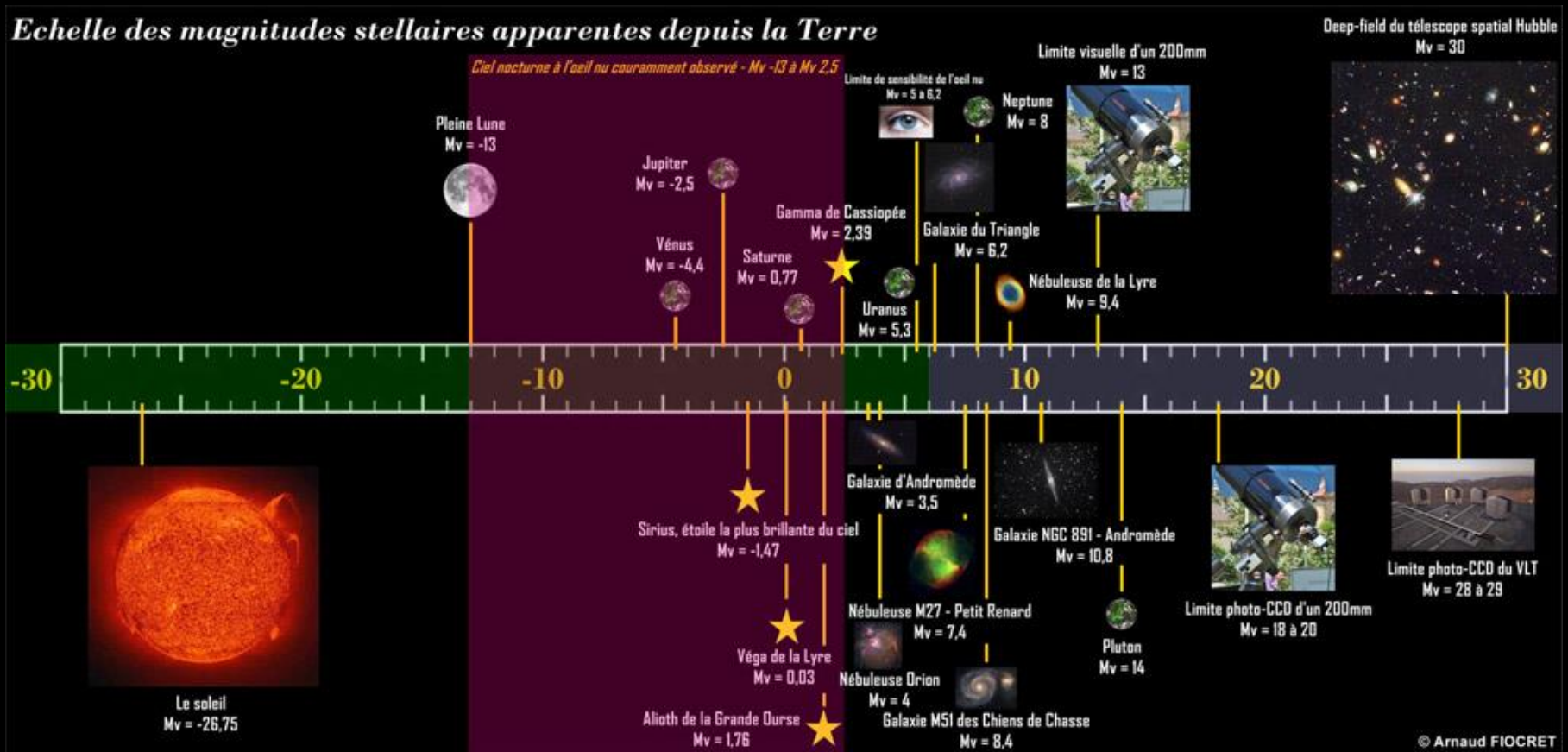
Il est capable de mesurer la parallaxe de 120 000 étoiles (jusqu'à la magnitude 12) jusqu'à 1 Kpc avec une précision d'une milliseconde d'arc.



Gaïa est aussi un satellite européen, lancé fin 2013 et dont la mission se déroulera de 2014 à 2019. Il est prévu pour mesurer la parallaxe d'un milliard d'étoiles jusqu'à 1 Mpc avec une précision de 7 microsecondes

# Notions de magnitudes

- **La magnitude apparente ou visuelle (m)** : Elle donne l'éclat d'un astre vu depuis la Terre, mais ne tient pas compte de la distance.
- **La magnitude absolue (M)** : Elle donne la luminosité intrinsèque d'un astre comme s'il était placé à 10 pc de la Terre.
- **Relation magnitude/distance** :  $m - M = 5 \log(D) - 5$     D = distance en parsecs



# Utilisation des Céphéides

Les Céphéides sont des étoiles géantes dont la luminosité varie. Elles furent découvertes en 1912 par Henrietta Leavitt.

Leur luminosité moyenne est d'autant plus grande que leur période est longue et elle ne semblait dépendre d'aucun autre paramètre. Il y a donc une relation période-luminosité.

Supposons que nous observions deux céphéides de même période, l'une dans un Nuage de Magellan, l'autre dans une région indéterminée. Nous savons que la différence entre les éclats apparents est uniquement un effet de distance puisque deux céphéides de même période ont une luminosité absolue identique. Connaissant la loi de décroissance de l'intensité lumineuse avec la distance, il est alors très facile de calculer l'éloignement de la région indéterminée par rapport à celui des Nuages de Magellan.



Cepheid Variable Star V1 in M31  
Hubble Space Telescope • WFC3/UVIS

Cette technique fonctionne  
jusqu'à environ 40 millions  
d'années lumière



## La loi de Tully - Fischer

Publiée en 1977 par les astronomes R. Brent Tully et J. Richard Fisher, cette relation empirique établie une relation entre la luminosité d'une galaxie spirale et l'amplitude de sa courbe de rotation.

Les lois de la physique nous enseignent que plus une galaxie est massive, plus elle tourne vite et plus elle est lumineuse. Cette loi donne donc la magnitude absolue.



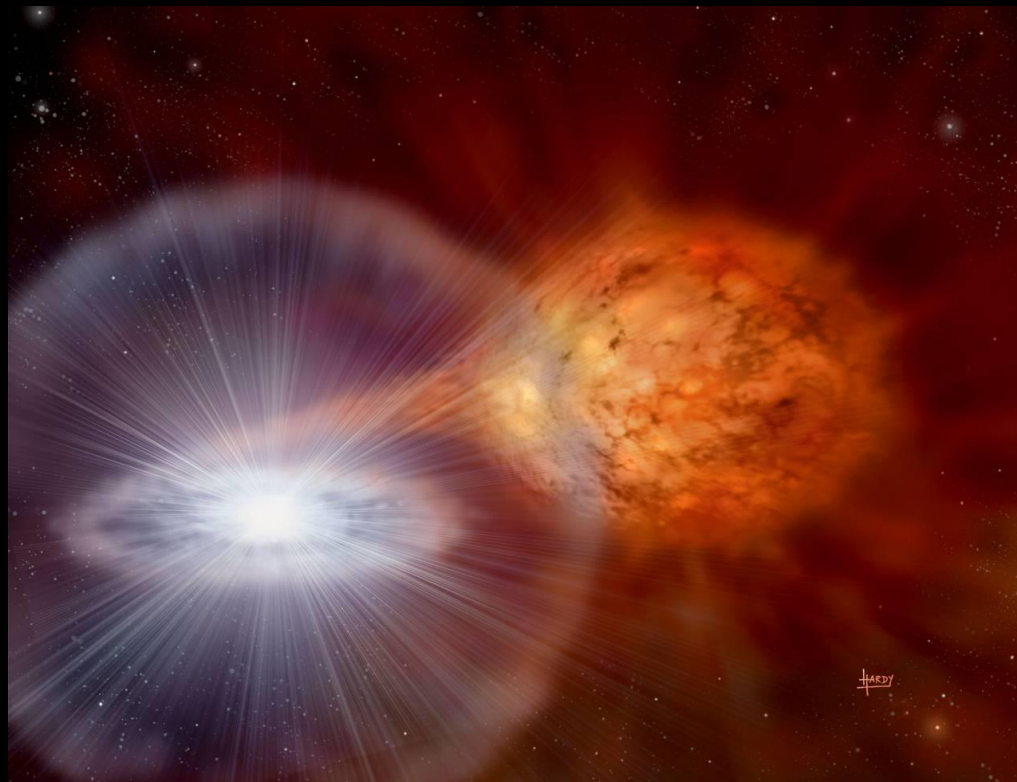
## La relation Faber - Jackson

Publiée en 1976 par les astronomes Sandra M. Faber et Robert E. Jackson, cette relation empirique établit un lien entre la magnitude absolue et la vitesse des étoiles au sein des galaxies elliptiques.



## Les supernovae de type Ia

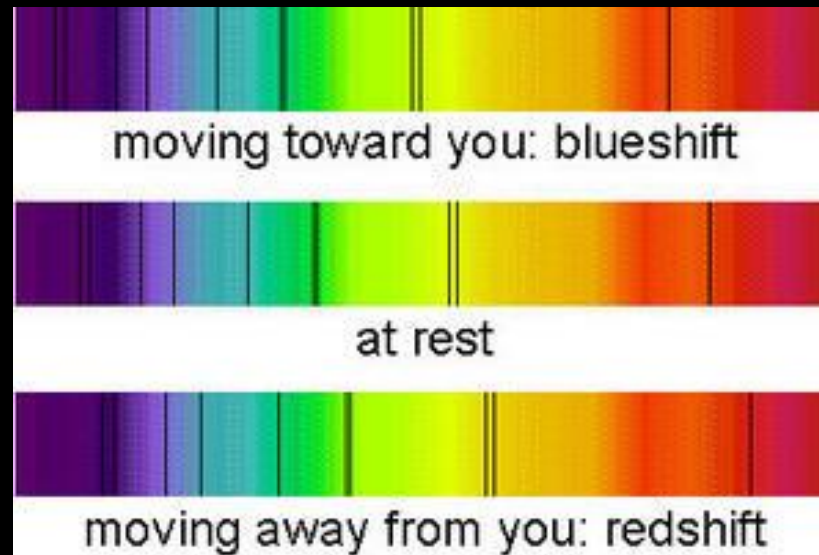
Il s'agit d'explosions d'étoiles qui possèdent toujours la même luminosité ( $M = -19.5$ ). Ces étoiles font parties d'un système binaire, dont une naine blanche explose après avoir pris de la matière à sa voisine. Dès qu'une naine blanche atteint la masse de 1.4 masse solaire, elle explose. La luminosité étant liée à la masse.

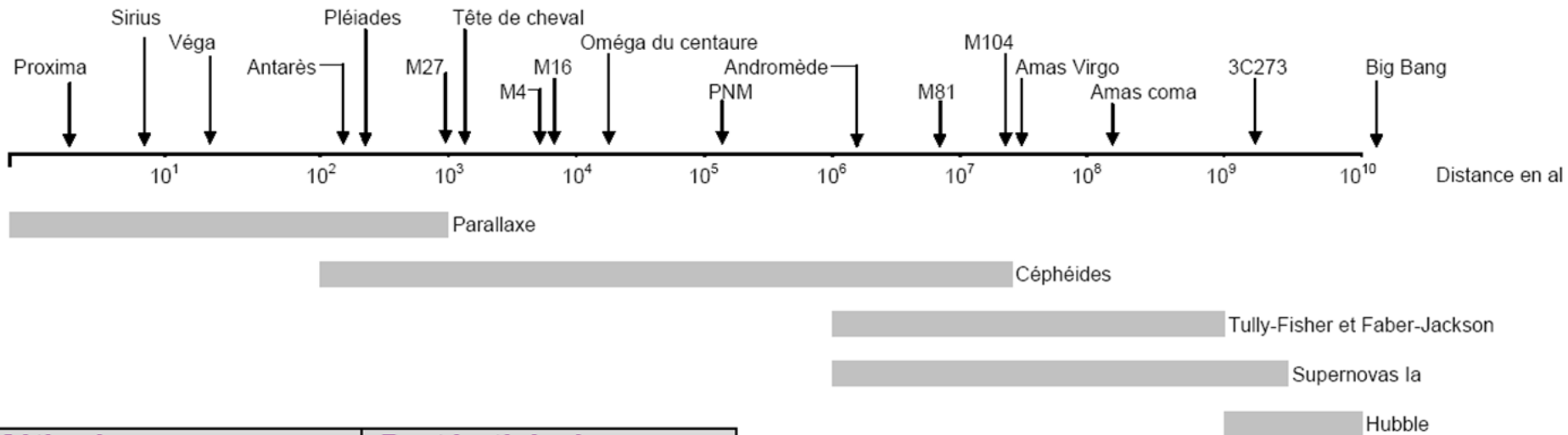


Ce sont les supernovae de type Ia qui ont permis de mettre en évidence l'accélération de l'expansion de l'univers en 1998.

## La loi de Hubble

Publiée en 1929 par Edwin Hubble, cette loi stipule que les galaxies s'éloignent les unes des autres, à des vitesses proportionnelles à leur distance, c'est-à-dire d'autant plus élevées, qu'elles sont éloignées de nous. Cela se mesure par l'effet Doppler.





Méthode	Portée théorique
Parallaxe	1 000 al
Céphéides	40 millions d'al
Tully-Fisher	1 milliard d'al
Supernovas Ia	5 milliards d'al
Constante de Hubble	Premières galaxies

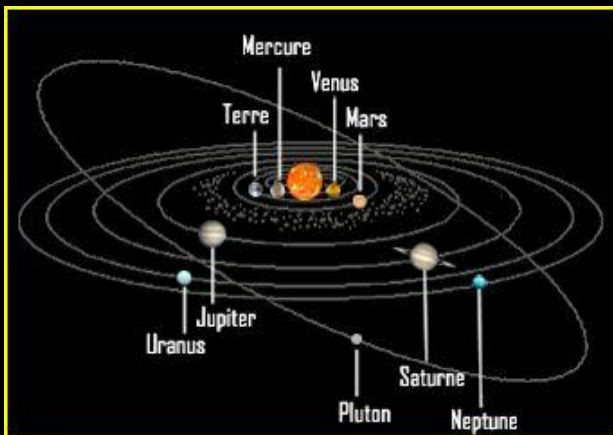
## Quelques distances



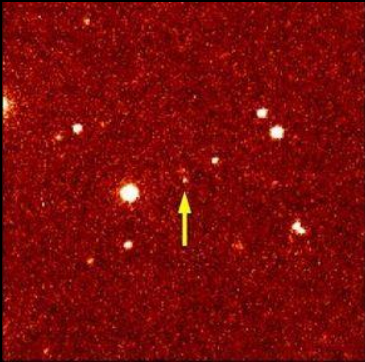
Distance moyenne Terre – Lune : 384 400 km (1.2 seconde –lumière)



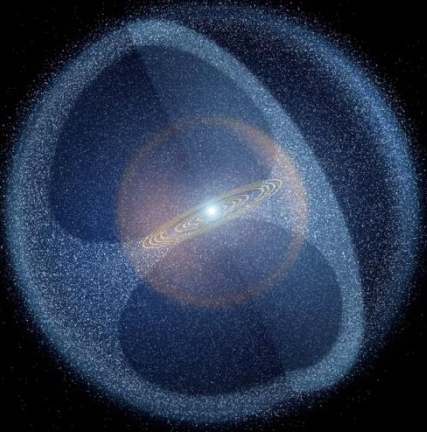
Distance moyenne Terre-Soleil : 149.6 millions de km (8 min 20 s lumière)



Distance moyenne Soleil - Pluton : 6 milliards de km (5.5 heures-lumière)



Distance moyenne Soleil - Sedna : 75 milliards de km (70 heures-lumière)



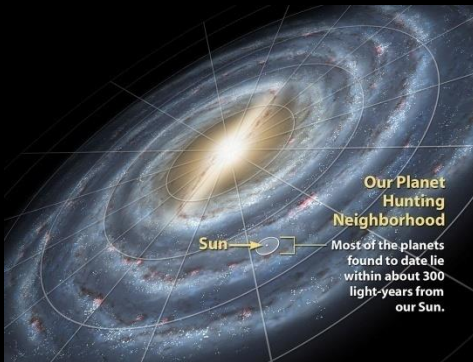
Diamètre estimé du Nuage de Oort : de 0.5 à 1 a-l



Distance Proxima du Centaure -Soleil : 4.22 années-lumière



Distance des étoiles formant les constellations : entre 4.3 et 1500 a-l (étoile la plus lointaine visible à l'œil nu environ 10000 a-l)



Taille de la Voie Lactée : 100 000 a-l

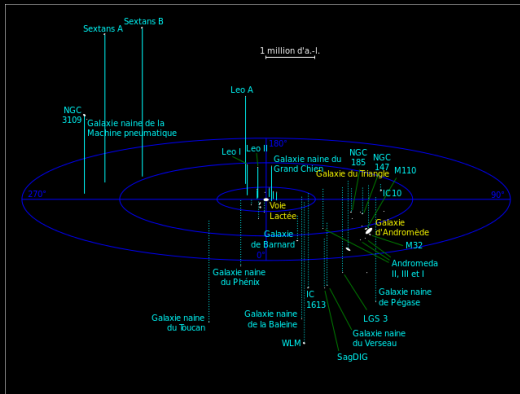


Les nuages de Magellan : 170 000 et 200 000 a-l





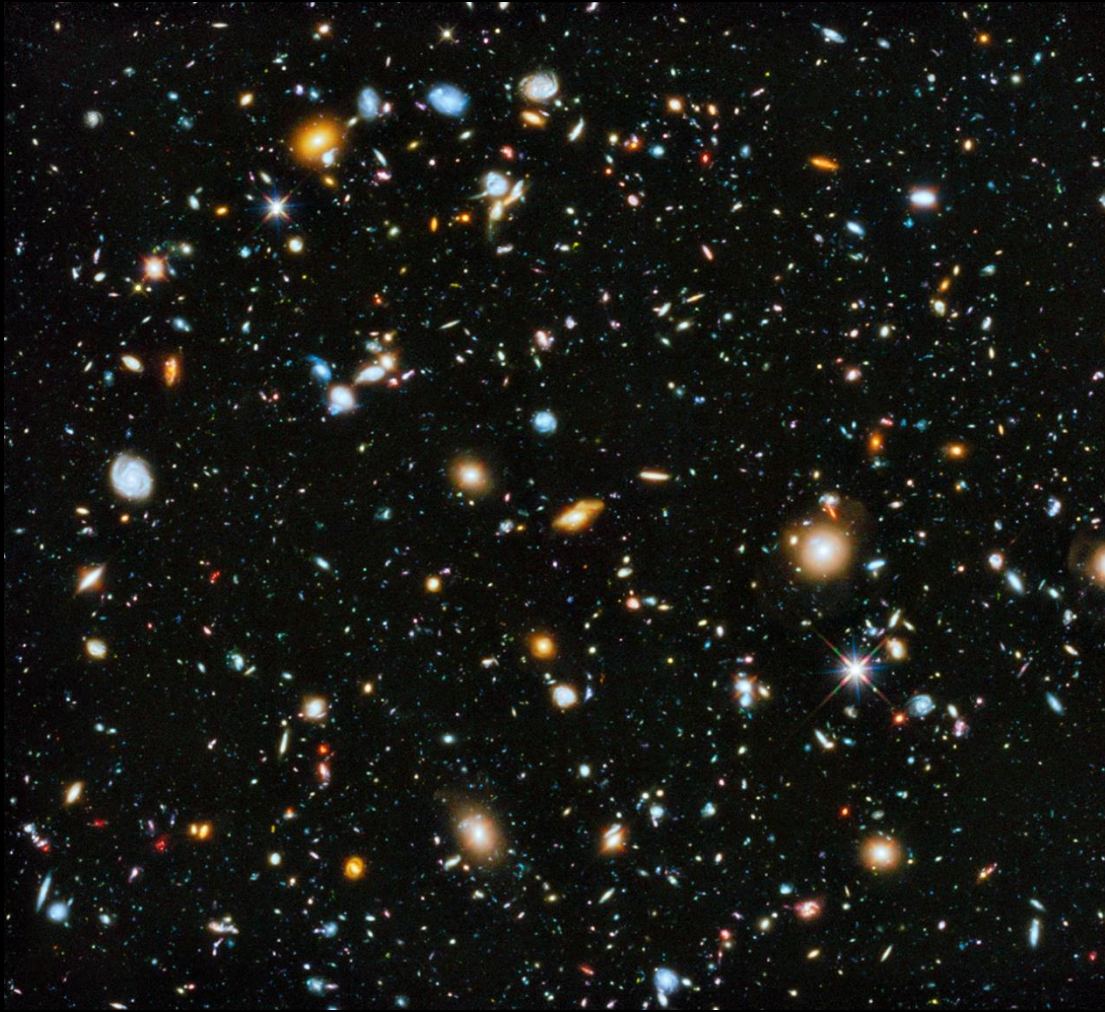
Galaxie la plus proche : Galaxie d'Andromède : 2.5 millions d' a-l



Taille du Groupe Local : 10 millions d' a-l

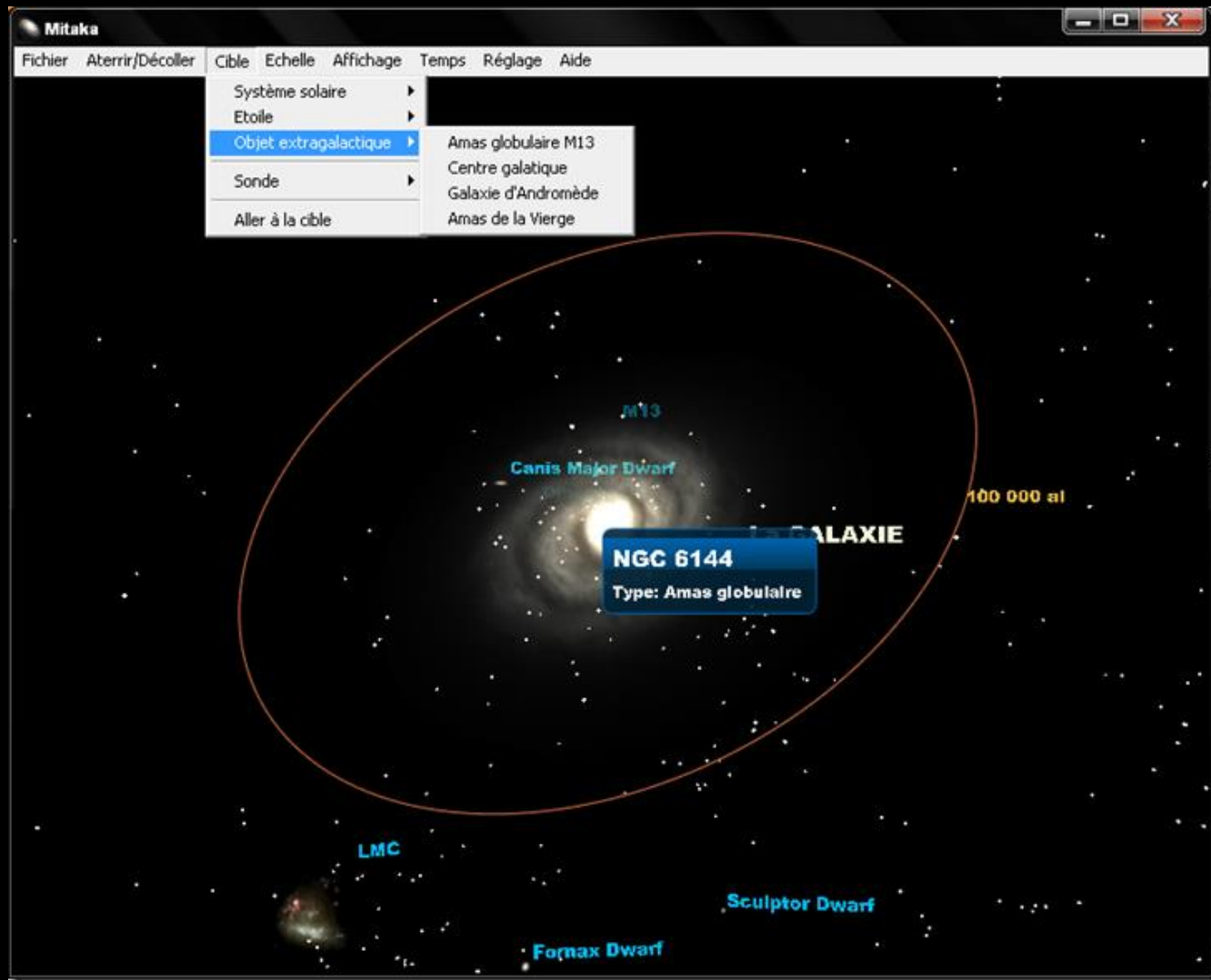


Amas de galaxies le plus proche : amas de la Vierge (entre 1300 et 2000 galaxies), de 49 à 70 millions d' a-l



Galaxies les plus lointaines  
observées : 12 milliards d' a-l

Logiciel Mitaka : [http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/index\\_E.html](http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/index_E.html)

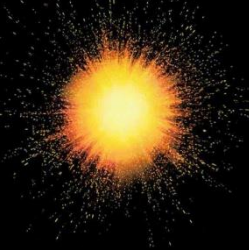


# Si l'Univers avait 1 an...

1 an	~	14 milliards d'années
1 mois	~	1,17 milliard d'années
1 jour	~	39 millions d'années
1 heure	~	1 620 000 ans
1 minute	~	27 000 ans
1 seconde	~	450 ans

**Le 1er janvier à minuit**

Naissance de l'Univers



**Le 1er avril (il y a 10 milliards d'années)**

Formation de notre Galaxie



**Le 9 septembre (il y a 4.6 milliards d'années)**

Naissance du Système Solaire



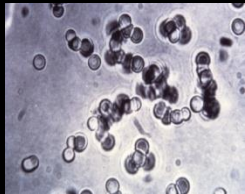
**Le 20 septembre (il y a 4.2 milliards d'années)**

Apparition de l'eau



**Le 29 septembre (il y a 3.8 milliards d'années)**

Premières cellules



**Le 12 novembre (il y a 2 milliards d'années)**

Apparition de l'oxygène dans l'atmosphère



**Le 17 décembre (il y a 570 millions d'années)**

Apparition des premiers invertébrés



**Du 18 au 23 décembre (il y a 500 millions d'années, 395 millions d'années et 280 millions d'années)**

Apparaissent, les poissons, les plantes terrestres, les insectes et les reptiles



**Le 24 décembre (il y a 220 millions d'années)**

Apparition des dinosaures



**Le 26 décembre (il y a 195 millions d'années)**

Apparition des mammifères



**Le 27 décembre (il y a 190 millions d'années)**

Apparition des oiseaux



**Le 28 décembre (il y a 65 millions d'années)**

Fin des dinosaures



# Le 31 décembre, l'Homme !... Et la femme.

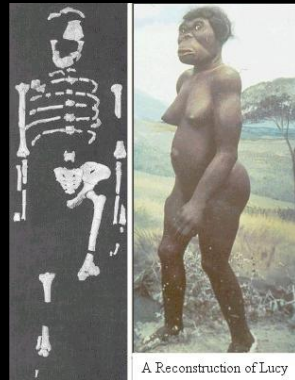
A 20h00  
(il y a environ 7 millions  
d'années)

Toumai



A 22h30 (il y a environ 3.2  
millions d'années)

Lucy



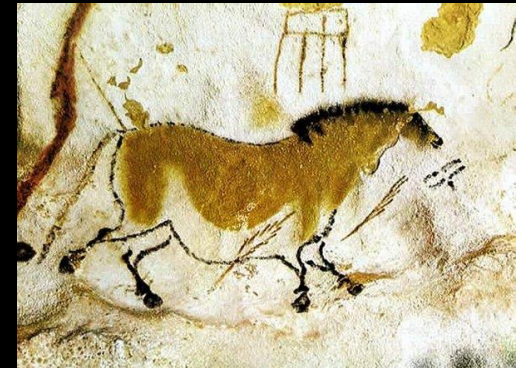
A 23h53 (il y a environ  
190000 ans)

Homo Sapiens archaïque



A 23h59'20" (il y a environ 18000  
ans)

Lascaux



23h59'49" (il y a environ 5200  
ans)

Invention de l'écriture



23h59'50" (il y a environ 5000 ans)

Pyramide de Khéops



23h59'59"

Découverte des Amériques



Entre 23h59'59" et Minuit

