

# Les Nuits des étoiles



#NDE2013

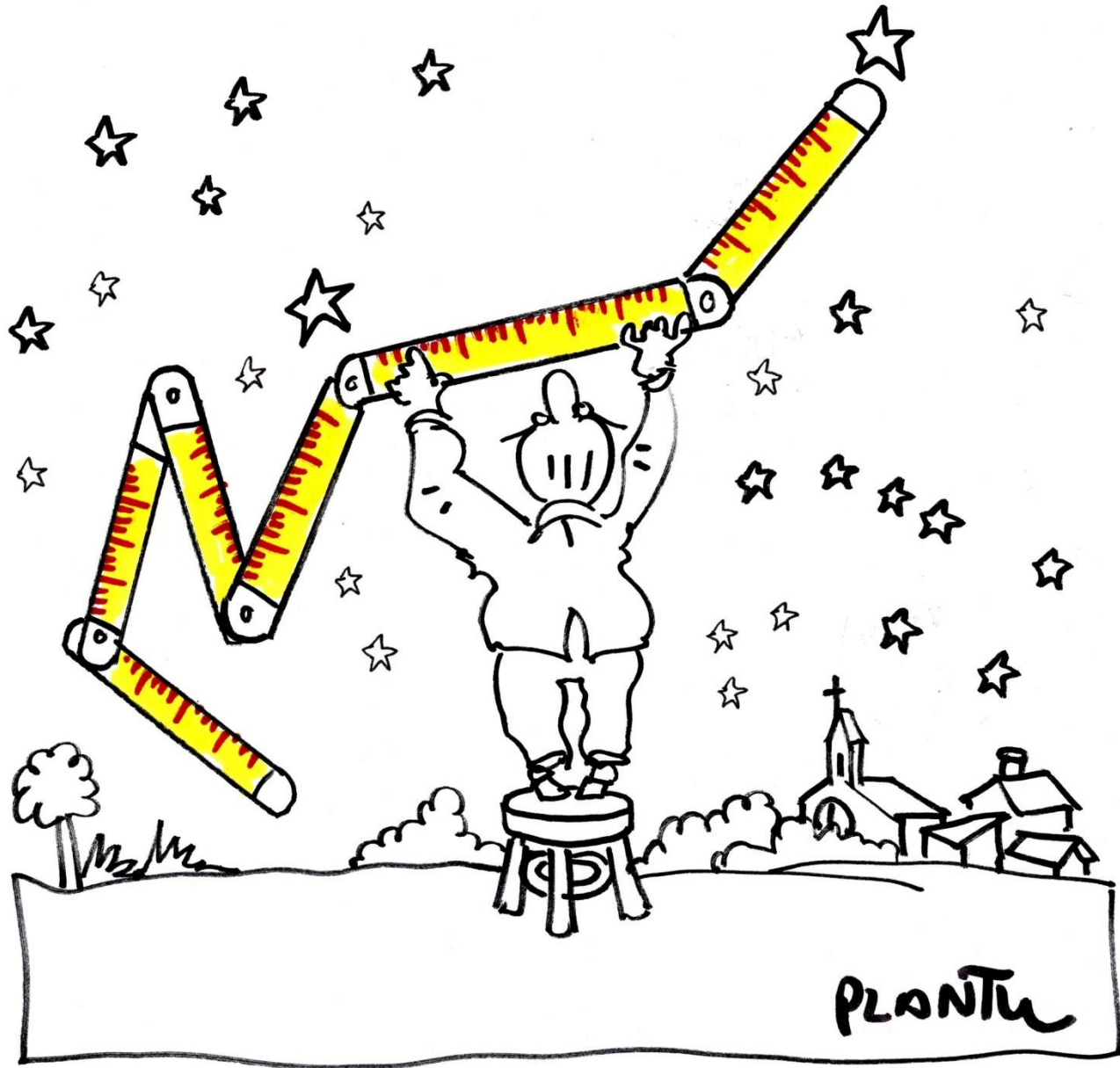
## LES DISTANCES DANS L'UNIVERS



© AFA - Nuits des Étoiles 2013

# Astrométrie

- **Définition :**
  - Branche de l'astronomie dont l'objet est la mesure de la position des astres et la détermination de leurs mouvements dans des repères préalablement définis. (Larousse)



## *Les temps anciens...*

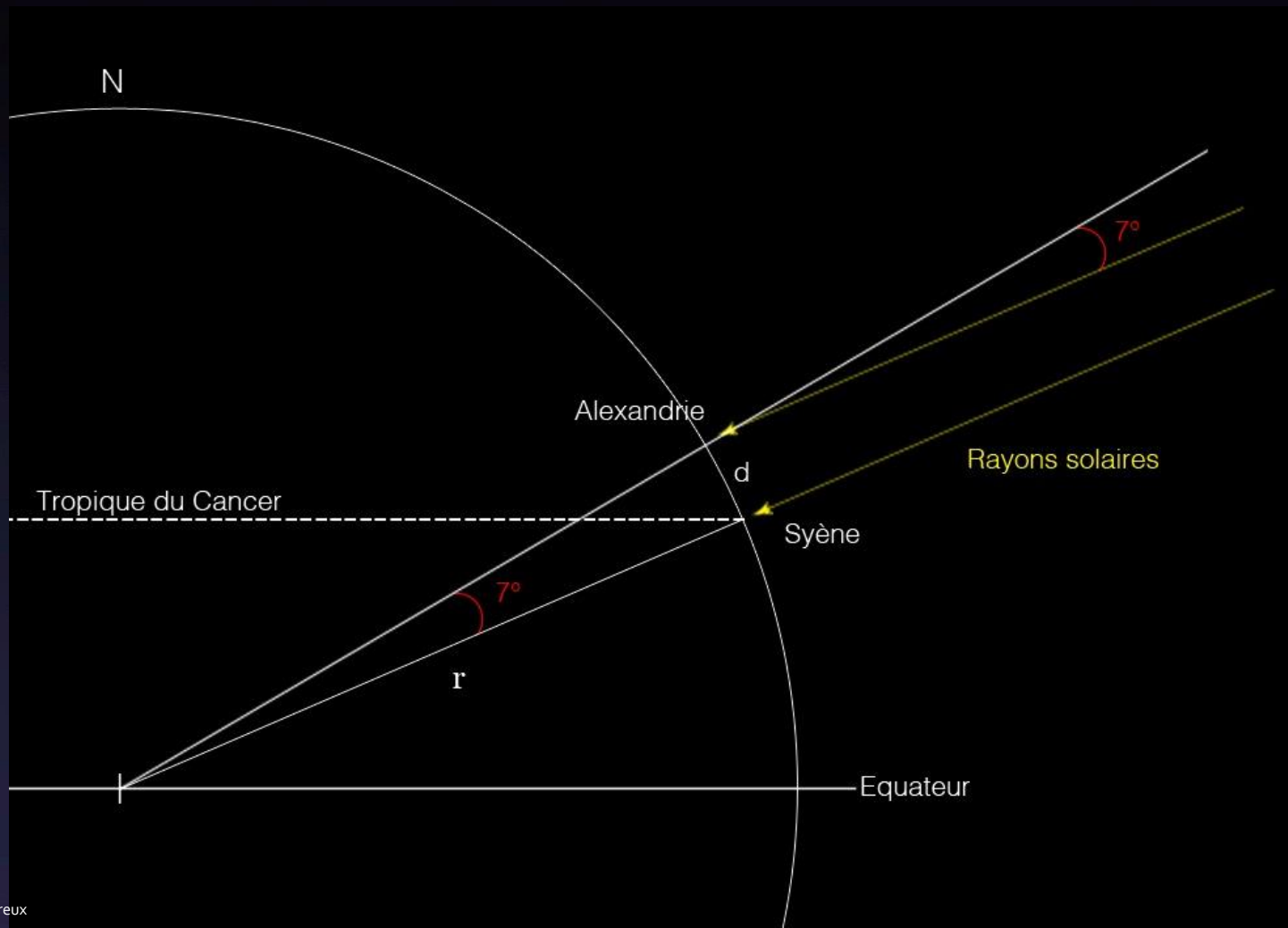
Depuis toujours les hommes ont cherché les dimensions de l'Univers qui les entoure. Nous ne retracerons pas cette histoire mais seulement quelques bribes de celle-ci.

Il n'y a pas encore bien longtemps la Terre était le centre de l'Univers, même si certains grecs anciens croyaient que s'était le Soleil qui occupait cette place (Aristarque de Samos ~310 – 230 av. J.C.).

Signalons la belle réussite d'Ératosthène (~276 – 194 av. J.C.) qui donna une excellente estimation de la circonférence terrestre (39000 km !).

Par contre les différentes tentatives pour calculer les distances Terre-Lune et Terre-Soleil ont été vaines faute d'avoir des instruments suffisamment performants.

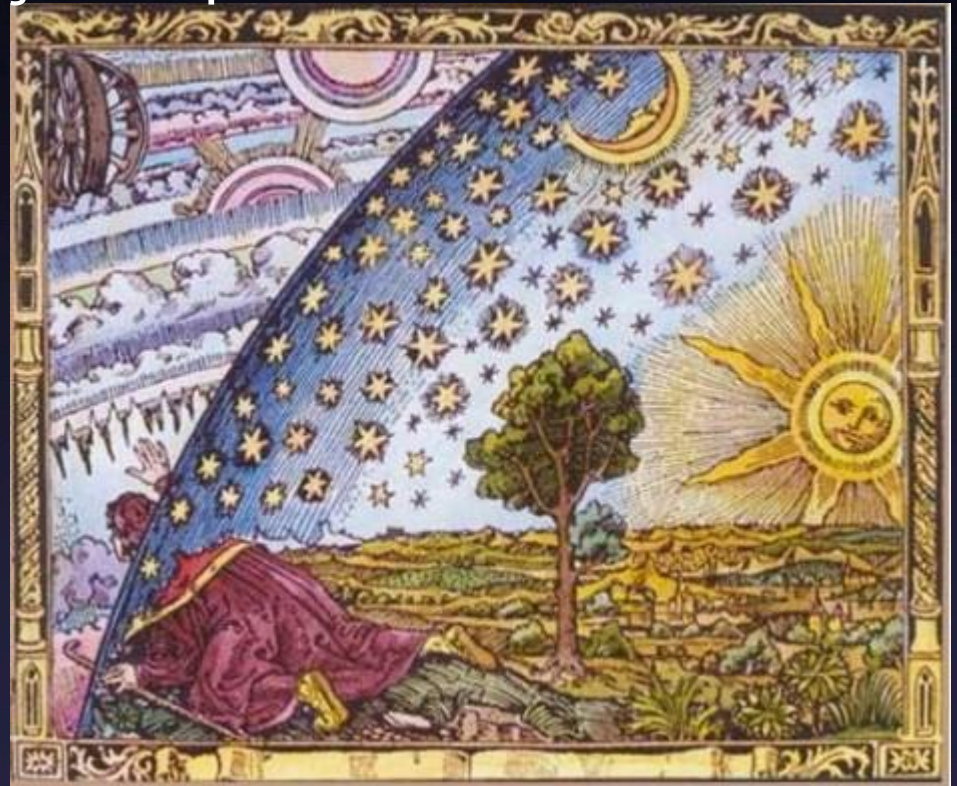
# Calcul de la circonférence de la Terre (Ératosthène)



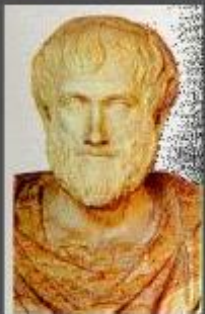
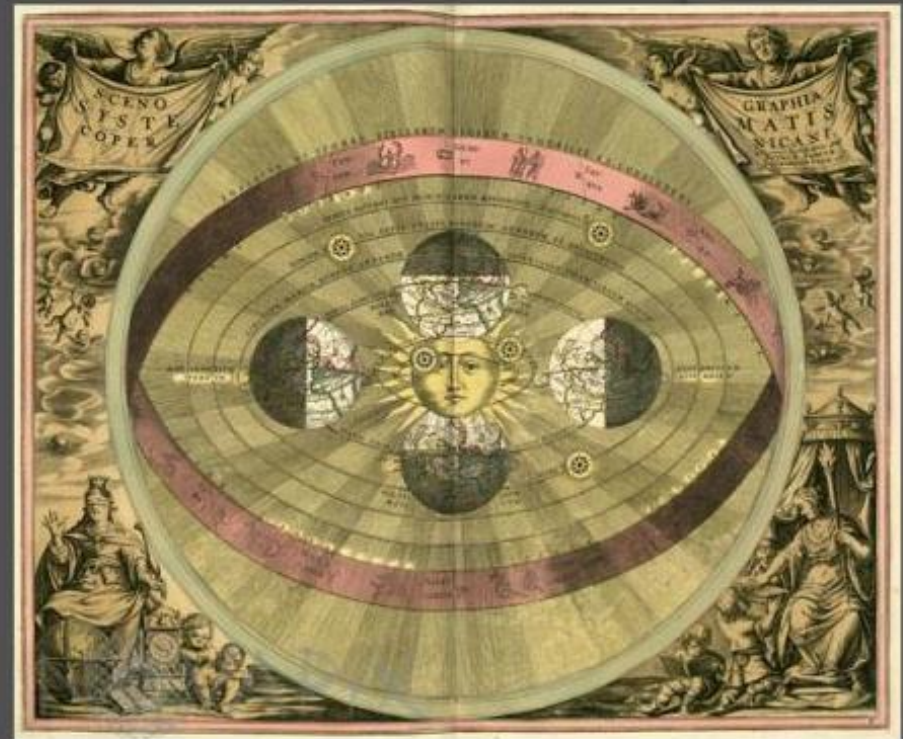
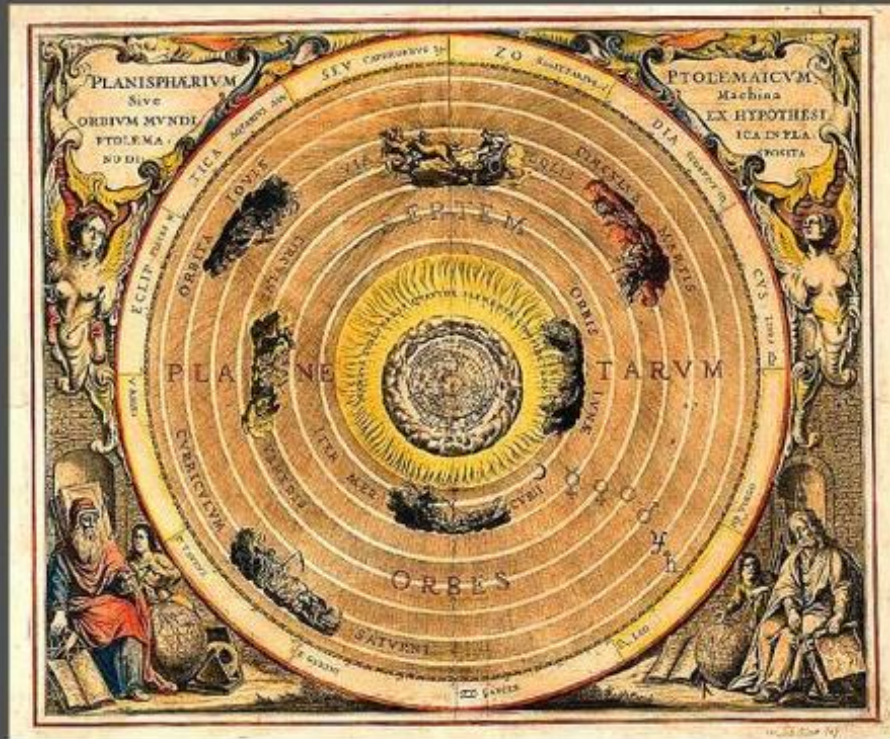
# XVIème / XVIIème siècles de Copernic à Galilée

Donc jusqu'à la fin du XVIème siècle les hommes pensaient que les planètes tournaient autour de la Terre : ces luminaires au nombre de sept (Lune, Soleil, Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne - ils donneront les sept jours de la semaine) se déplaçaient parmi les étoiles.

Celles-ci lointaines mais à égale distance étaient épinglées sur une immense sphère, la sphère des fixes. Bien sûr elles étaient immuables.



# Les systèmes du Monde



Aristote  
384-322 av. J.-C.)

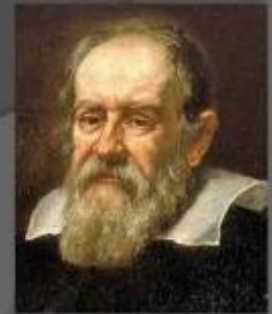


Claude Ptolémée  
(env. 90-168)

géocentrisme  $\Rightarrow$  héliocentrisme

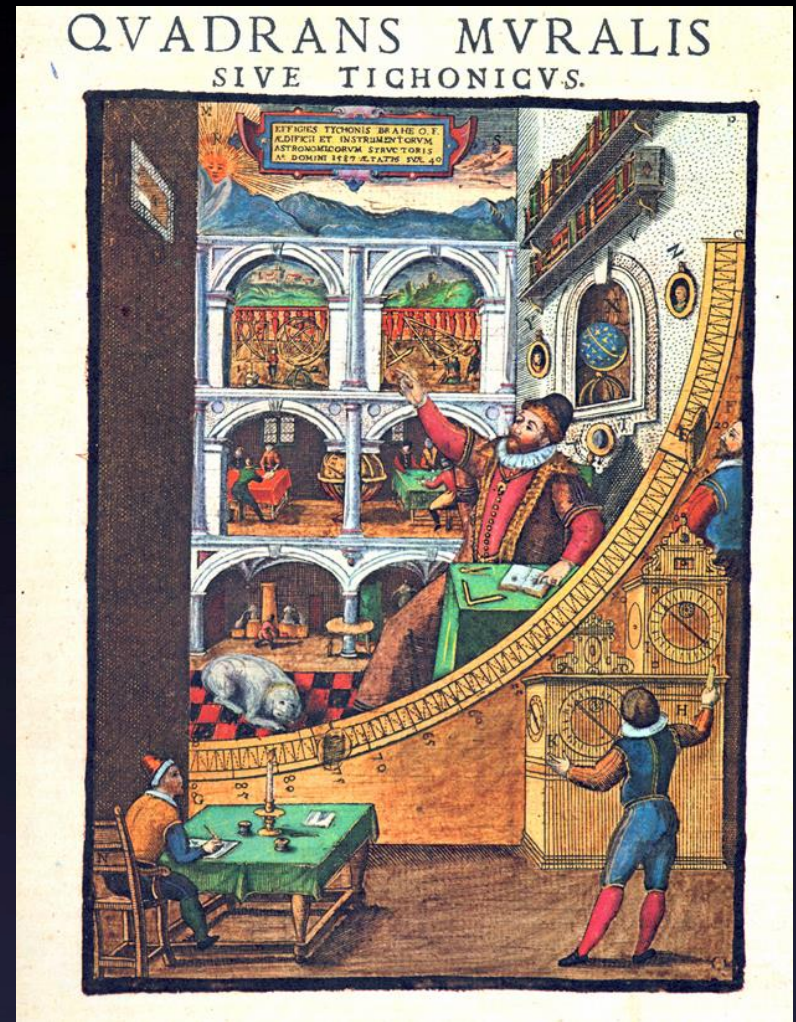


Nicolas Copernic  
(1473-1543)



Galilée  
(1564-1642)

Tycho Brahe (1546-1601) maître expert dans la construction d'appareils de mesure, aura l'occasion d'admirer une « étoile nouvelle » en 1577, il est forcé d'admettre que les étoiles ont une vie. Fervent défenseur du géocentrisme il connaît l'effet de « parallaxe », mais ne pouvant pas le mettre en évidence il nie l'héliocentrisme. Il sera à l'origine d'un système hybride : les planètes tournent autour du Soleil qui tourne autour de la Terre.





# Parallaxe

Parlons-en : c'est une méthode de calcul de la distance entre l'observateur et un objet lointain pourvu qu'il y ait « derrière » une autre cible que l'on peut considérer comme infiniment lointaine.

Les images qui suivent montrent une antenne devant une crête montagneuse, les deux premières sont prises à environ 5 m d'écart, la dernière est la superposition des deux. On voit nettement le décalage des arbres sur la crête.



L'antenne (O) vue d'un point A...



L'antenne (O) vue d'un point B...

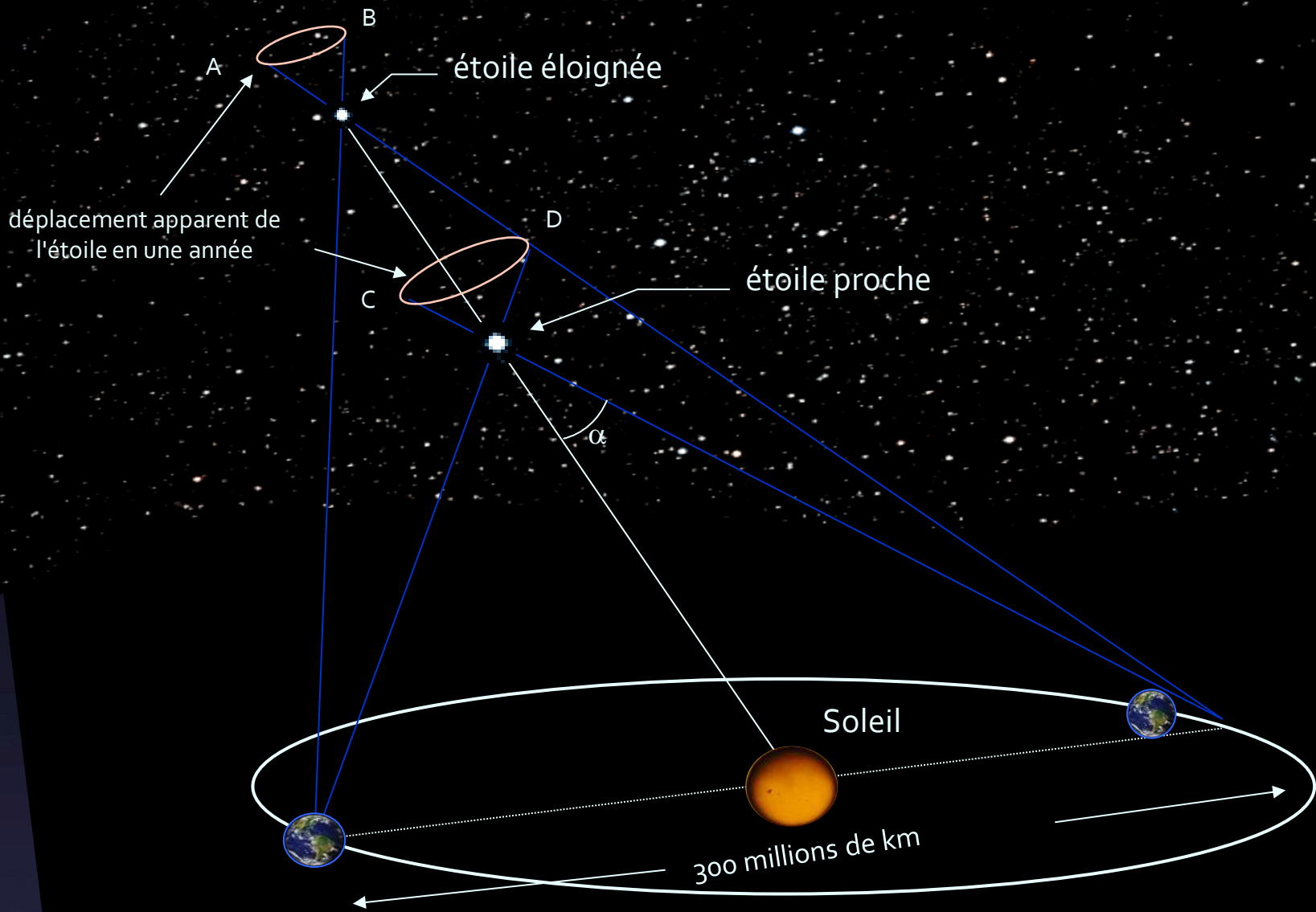


Un petit calcul permet de trouver l'angle AOB, cet angle mesure la *parallaxe* et permet de connaître la distance de l'antenne.

## **Appliquée aux étoiles cela donne :**

En les photographiant tous les jours pendant un an, elles semblent parcourir de petites ellipses dans le ciel. Ellipses d'autant plus grande que l'étoile est plus proche. À six mois d'intervalle la base (la distance AB) est de trois cents millions de kilomètres ! Et pourtant l'angle à mesurer reste très, très petit. C'est pour cela que Tycho Brahe n'a jamais pu déceler ces mouvements apparents annuels des étoiles. Il est vrai qu'il observait sans instrument optique !





## *Les unités de mesure utiles en astronomie :*

Bien sûr le mètre avec son multiple le kilomètre, défini comme la dix millionième partie du quart du méridien terrestre . Utile sur Terre, sur la Lune, sur les planètes et même sur le Soleil.

L'unité astronomique ou UA : c'est la distance Terre-Soleil, elle vaut environ 150 millions de kilomètres. Bien pratique pour les distances interplanétaires.



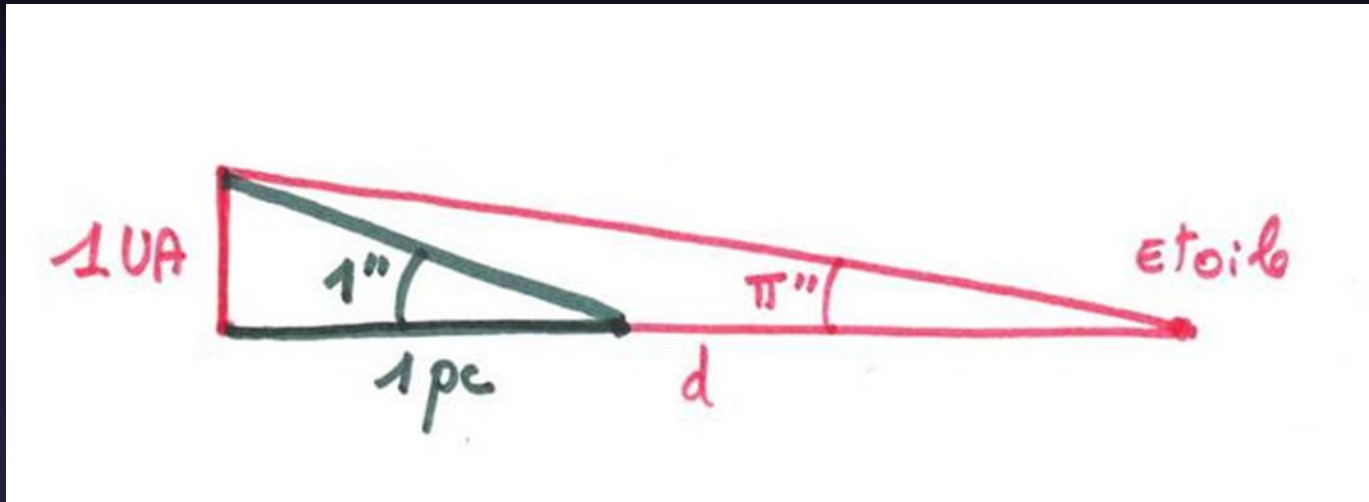
La distance parcourue par la lumière en une seconde est d'environ 300 000 km. On peut donc utiliser un temps de parcours pour exprimer une distance : le Soleil est « à 500 secondes- lumière » de la Terre ou « 8 minutes ».

***L'année lumière*** est la distance parcourue par la lumière en un an. Environ 63000 UA ou dix mille milliards de kilomètres.

En abrégé : « al »

Et enfin le « parsec » est la distance à laquelle on « voit » une UA sous un angle de 1 seconde d'arc. Il vaut environ 3,26 année-lumière.

En abrégé : « pc »



# *D'autres méthodes pour le calcul des distances.*

Pour les planètes :

Johannes Kepler (1571-1630) énonce trois lois sur les trajectoires des planètes, dont celle-ci : le cube du demi-grand axe de l'ellipse parcourue est égal au carré du temps mit pour la parcourir. Cette loi permet d'établir les distances relatives (par rapport à la Terre) des planètes au Soleil. Ainsi celle de la Terre au Soleil est prise égale à 1, celle de Jupiter au Soleil est 5,2.

On obtient par la mesure des périodes les distances suivantes (en UA) :

**Mercure : 0,387**

**Vénus : 0,723**

**Terre : 1 (!)**

**Mars : 1,524**

**Jupiter : 5,203**

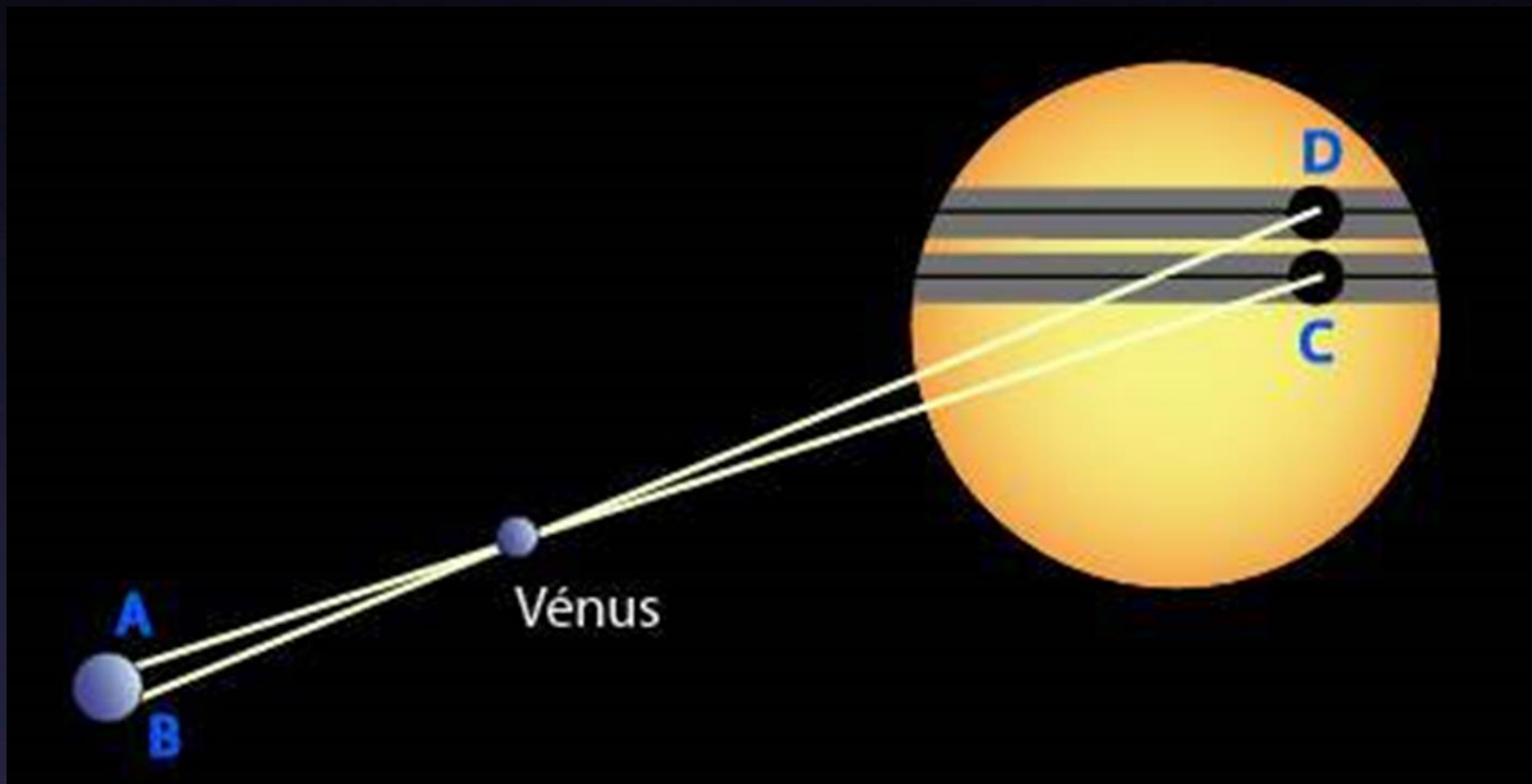
**Saturne : 9,539**

**Uranus : 19,18**

**Neptune : 30,07**

*Mais il a fallu attendre de connaître une de ces distances en mesure terrestre pour les connaître toutes !*

Edmund Halley a proposé de mesurer la parallaxe de Vénus lors de son passage devant le Soleil. Ce sera fait après son décès permettant de connaître les distances dans le système solaire.



## Pour les étoiles :

En abandonnant l'idée de la sphère des fixes, si toutes les étoiles sont comme « le Soleil », leur éclat décroît avec le carré de la distance, ainsi :

Huygens trouve que Sirius est 30 000 fois plus éloignée que le Soleil, en comparant son éclat à celui de Jupiter (ou Saturne).

W. Wollaston compare Sirius à l'éclat d'une bille d'acier de 2 mm placée à 60 m. Il trouve que Sirius est 140 000 fois plus loin que le Soleil.

***En réalité Sirius est 550 000 fois plus loin que le Soleil mais aussi 20 fois plus lumineux que lui.***

# Les étoiles les plus proches

Rang	Nom	Magnitude	Distance (a. l.)
-	Soleil	- 27	8 min. l.
1	Proxima Centauri	+ 11	4,24
2	$\alpha$ Centauri	0	4,36
3	Étoile de Barnard	+ 9,5	5,9
4	Wolf 359	+ 13,4	7,8
5	Lalande 21185	+ 7,5	8,3
6	Sirius	- 1,5	8,6
7	Luyten 726-8	+ 12,5	8,7
8	Ross 154	+ 10,5	9,7
9	Ross 248	+ 12,3	10,3
10	$\epsilon$ Éridan	+ 3,7	10,5
14	Procyon	+ 0,4	11,4
15	61 Cygni	+ 5,2	11,4

En pratique les étoiles précédentes (sauf exception) ne sont pas visibles à l'œil nu ou très difficile à trouver.

*Pour les étoiles que l'on peut voir ce soir, voici quelques distances (en année lumière) :*

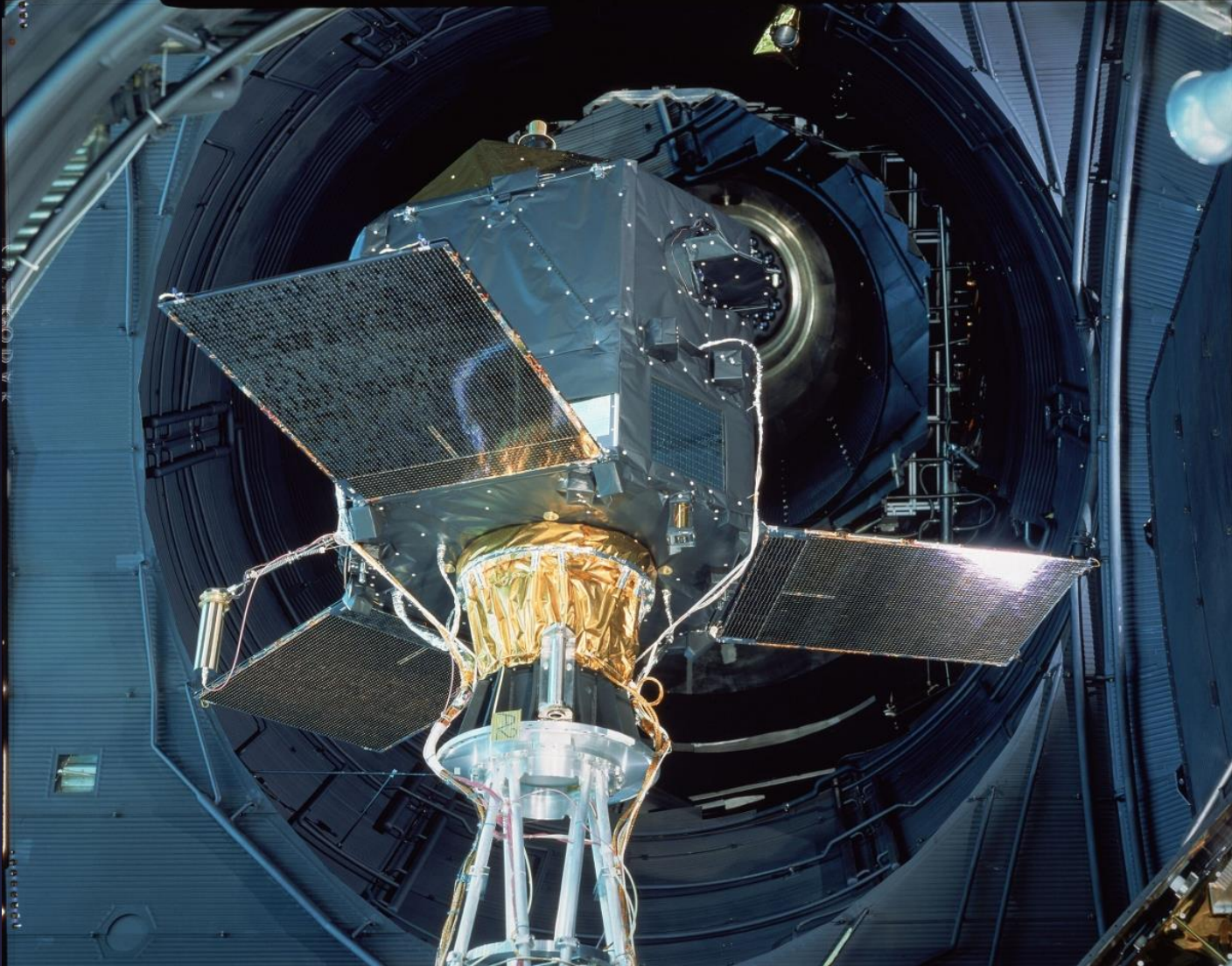
Arcturus	37	Alkaïd	101
Dubhe	124	Mizar	78
Véga	25	Deneb	3229
Altaïr	17	Polaris	431

Les progrès ont été très, très lents pour ces calculs à cause de la difficulté de mesurer des angles bien souvent inférieur à quelques dixième de seconde d'arc. Aussi les astronomes n'ont pu déterminer que des distances faibles (inférieures à 100 al) avec une précision acceptable.

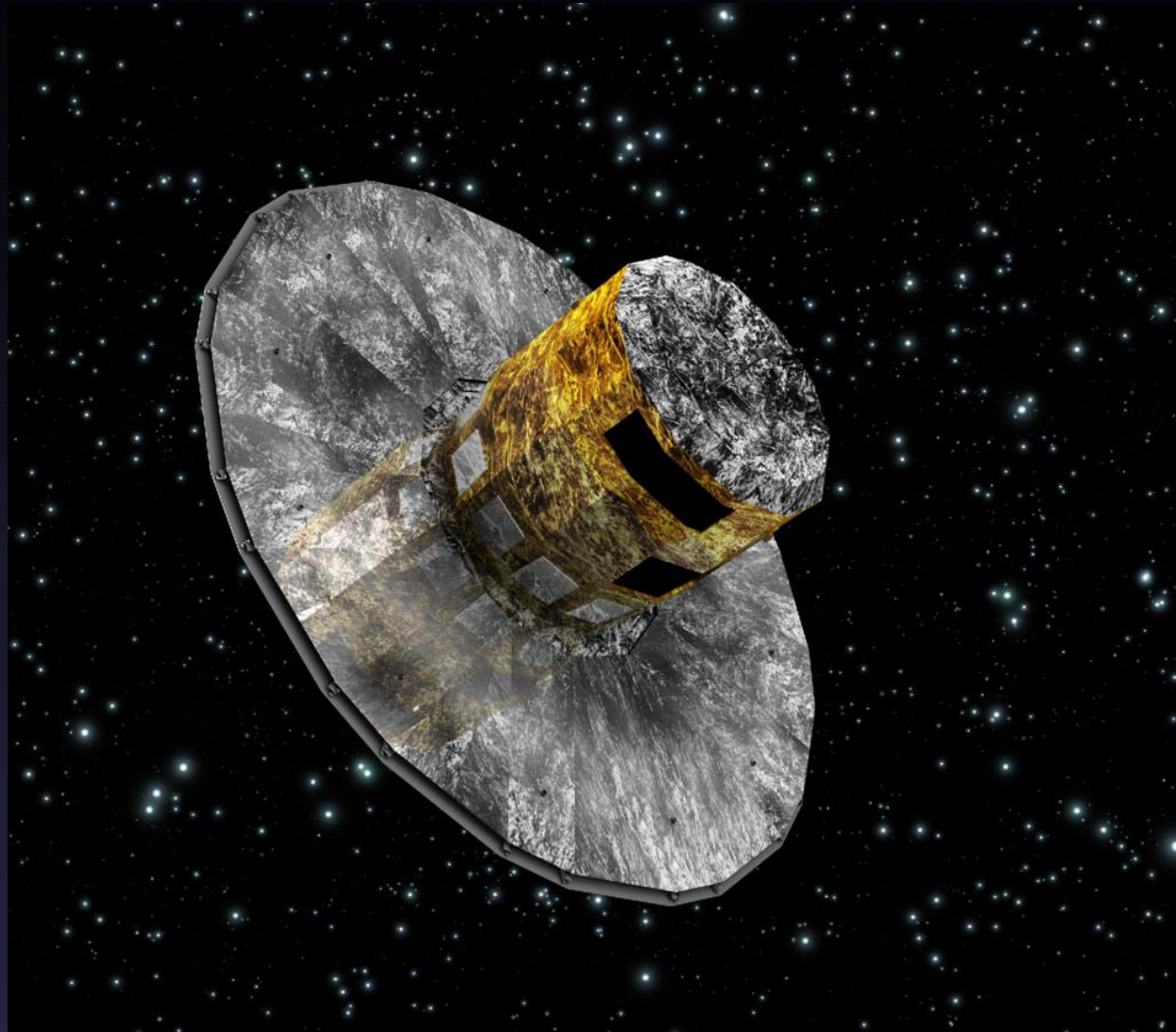
*Certaines des distances données dans le tableau précédent, sont calculées par d'autres méthodes.*



Le satellite HIPPARCOS conçu en 1980, actif du 08/08/1989 au 17/08/1993 a déterminé la distance d'environ 150000 étoiles par le calcul des parallaxes.



La mission GAIA prévue pour la fin de 2013, est plus ambitieuse elle déterminera les distances d'environ un milliard d'étoiles



## *Jusqu'au jour où...*

*Mademoiselle Leavitt, étudiant un type particulier d'étoile de luminosité variable les Céphéides établit les résultats suivants :*

*Les Céphéides lumineuses que visibles plus loin,*

*Leur masse et d'autant plus leur période de*



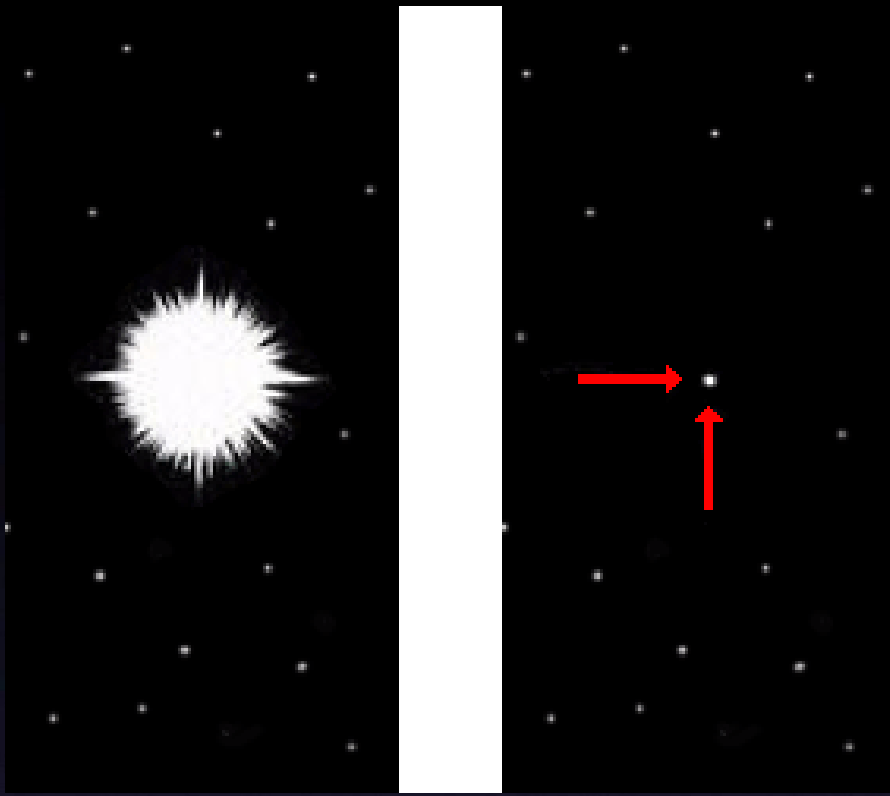
*sont beaucoup plus le Soleil, donc*

*leur éclat sont importants que variation est longue.*

Comme pour les distances planétaires, il faut « étalonner » les distances trouvées par la méthode des Céphéides... c'est toujours un objet de recherche ! On atteint quelques millions d'années lumière !

Il fallait encore un « outil » pour aller plus loin !

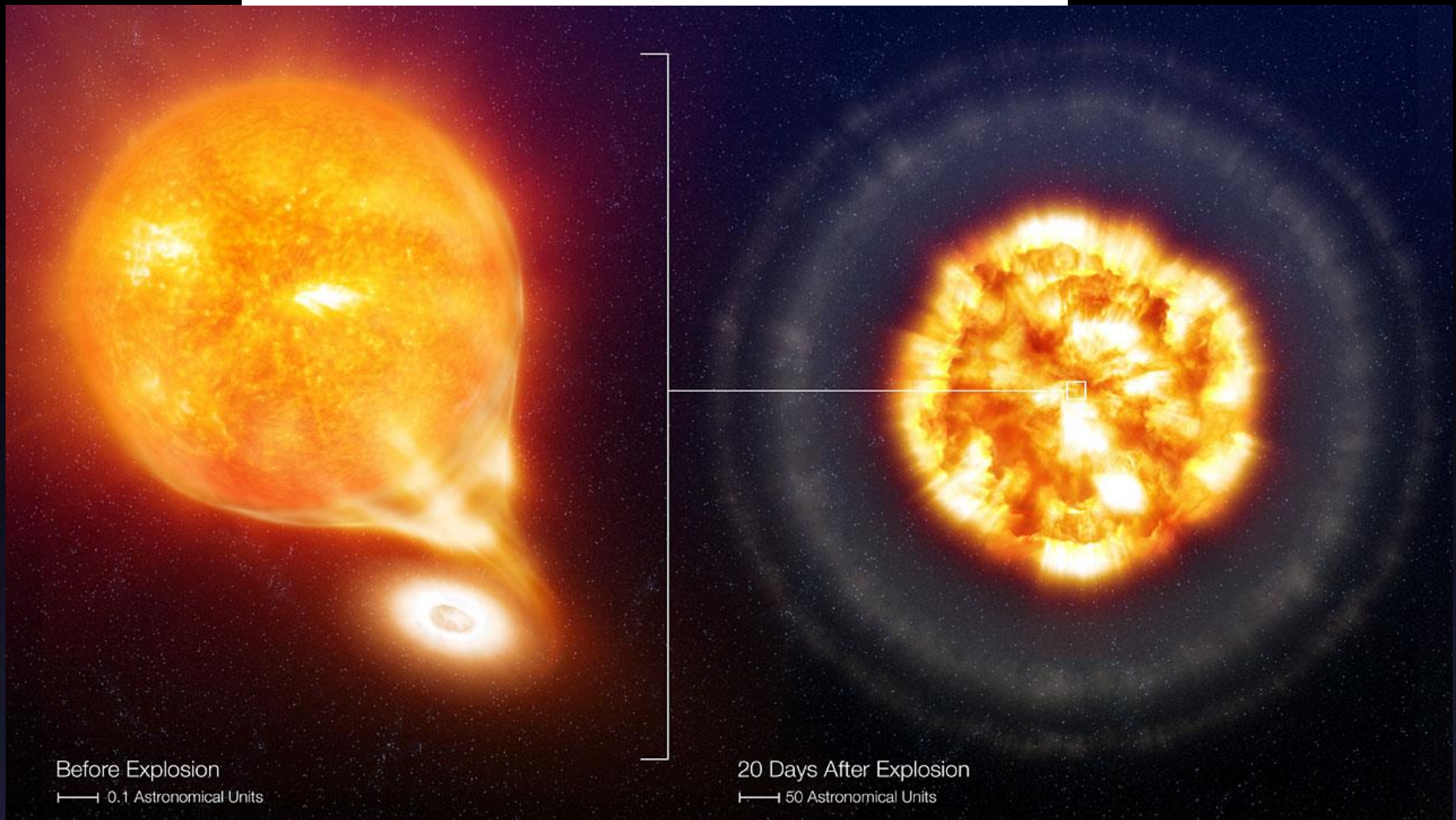
Les hommes avaient repéré des étoiles « nouvelles », en fait des étoiles qui devenaient subitement visibles dans le ciel. Certaines de façon périodique les novas, d'autres une seule fois mais d'un éclat extrême : les supernovas !



Il existe plusieurs types de supernovas, effondrement d'une étoile trop massive, ou dans un couple l'une des étoiles au stade de naine blanche absorbe la matière de l'autre étoile devenue géante rouge. Au-delà d'une

certaine masse la naine blanche explose dans un magnifique feu d'artifice, on parle de SN de type Ia.

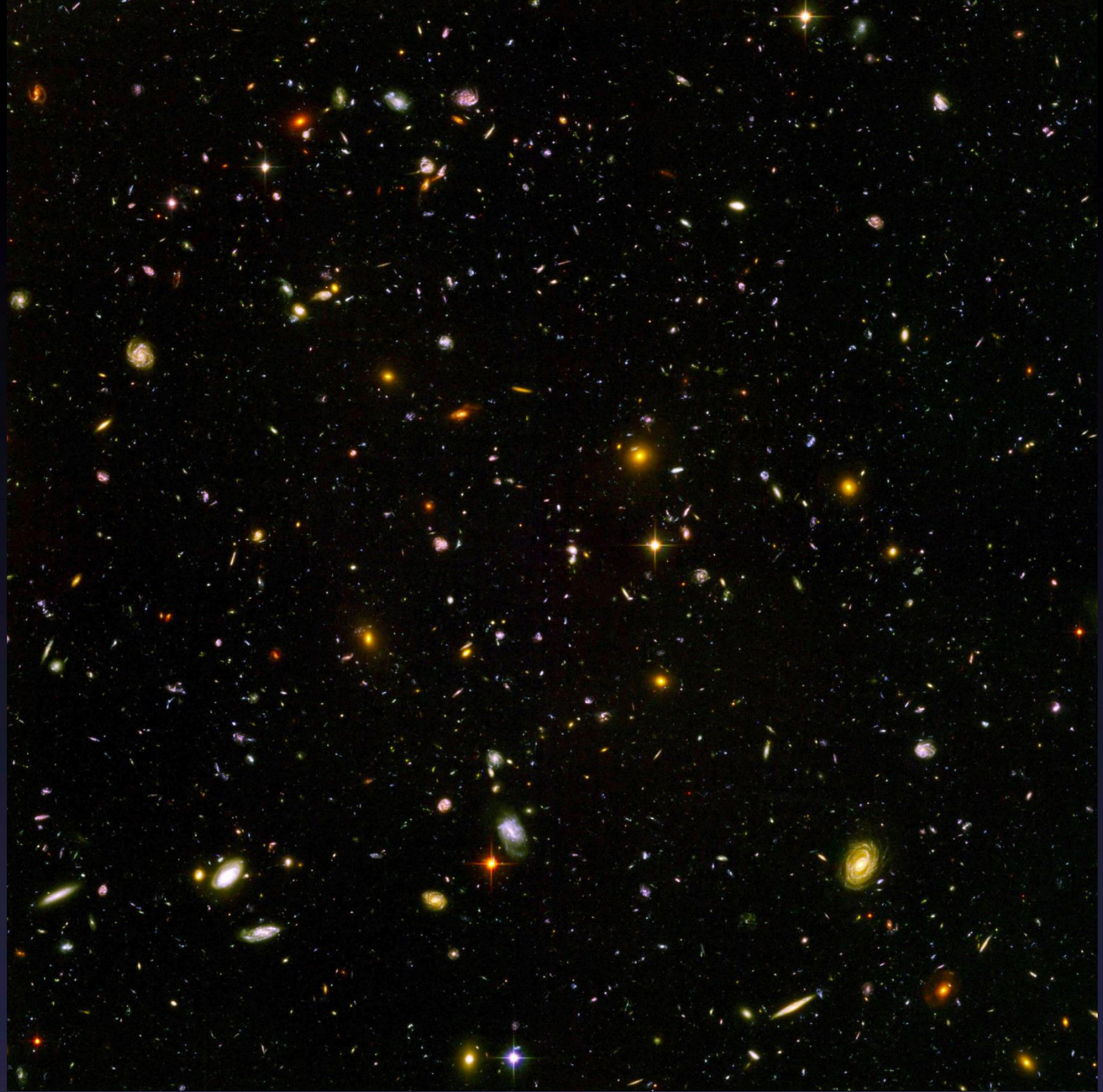
Ces dernières explosions ont toutes à peu près la même luminosité et la même évolution. Suivre cette évolution et comparer entre-elles ces supernovas permet donc de les situer dans l'espace.



Avant l'explosion de la SN  
2006X (0,1 UA)  
Vue d'artiste !

20 jours après l'explosion  
(50 UA)  
Image réelle !

Les supernovas permettent d'arpenter l'Univers jusqu'à plusieurs milliards de parsecs, donc d'estimer la distance de certaines galaxies très lointaines. Comme celles de ce champ céleste.



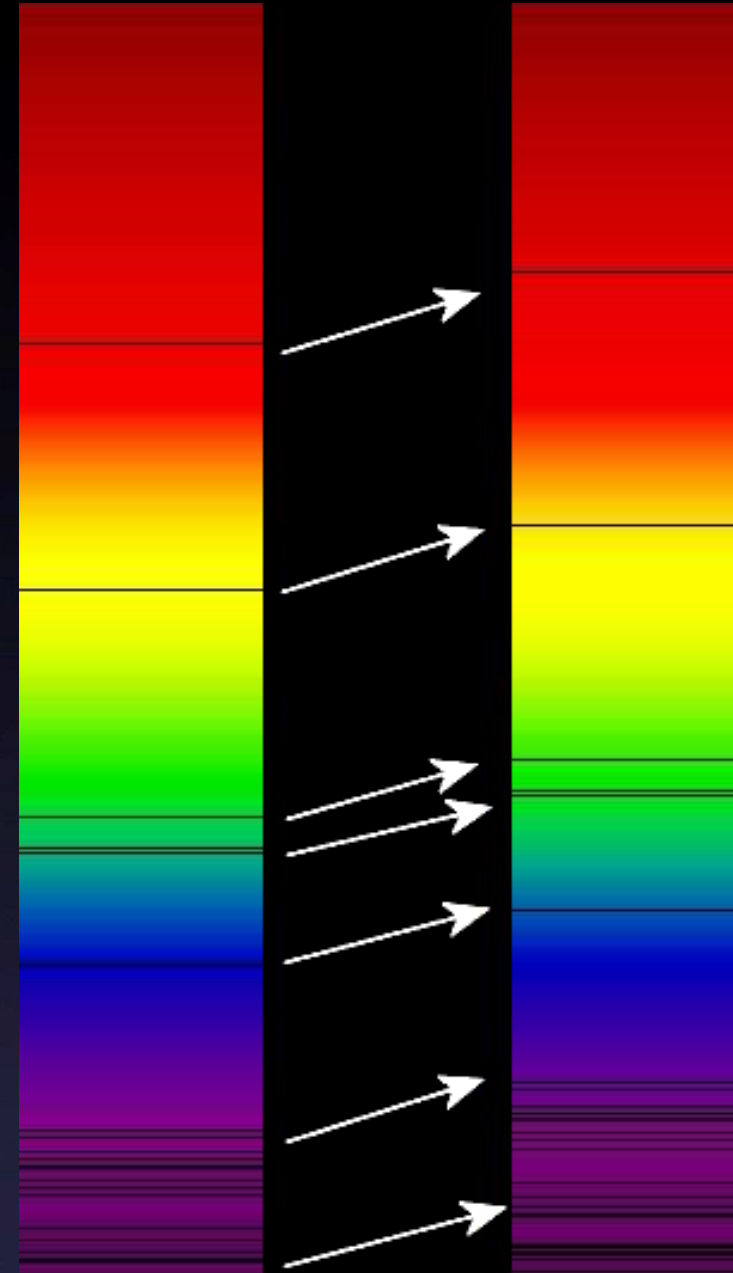


Mais il faut aller encore plus loin !

L'expansion de l'Univers se mesure sur le décalage des raies spectrales vers le rouge. Ce décalage (Redshift en anglais) est donné par la formule :

$$z = \frac{\lambda_{\text{obs}} - \lambda_0}{\lambda_0}$$

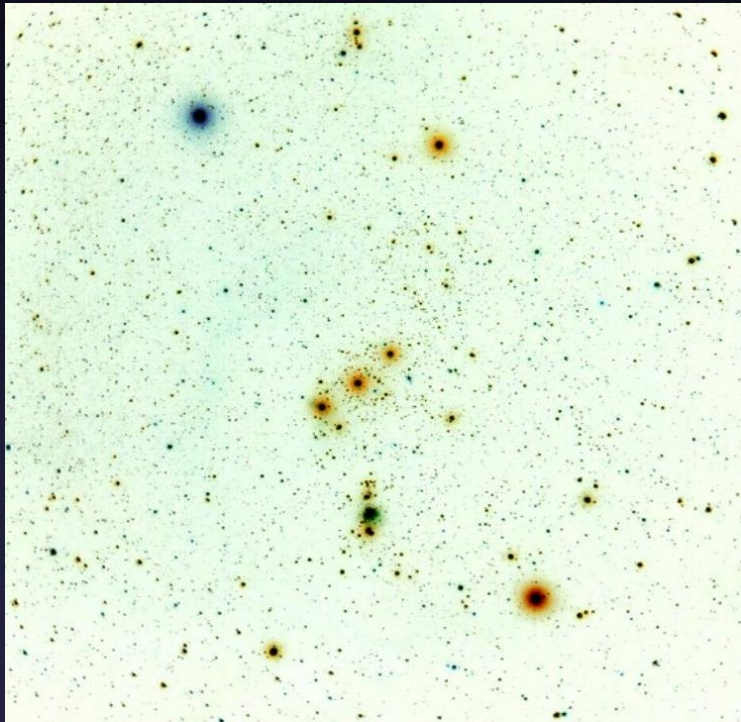
*Mais cela est une autre histoire que nous aborderons – peut-être – un autre jour !*



Merci de nous avoir écouté

Nous sommes à votre disposition pour  
répondre – si possible – à vos questions !

Le club Orion vous souhaite une bonne nuit, vous pouvez rester un moment avec nous, nous allons essayer de vous montrer le ciel



# Astroclub Orion

---

*Centre Culturel Sanary-sur-Mer*