

Les distances dans l'univers

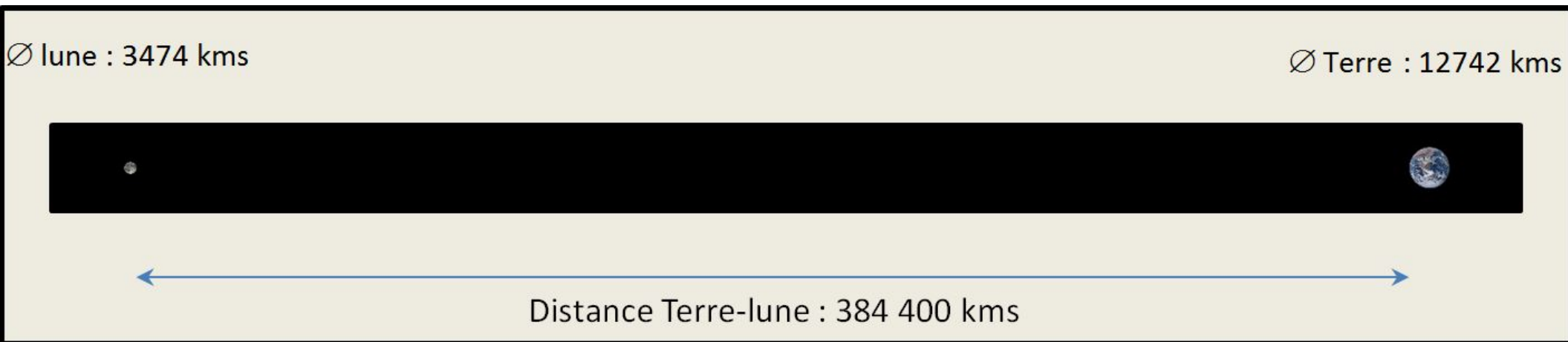
Quelles sont les distances entre les astres ?
Comment les mesurer ?

Sommaire

- Voyage dans la galaxie avec Celestia
- Les distances dans l'univers
- Comment mesurer les distances ?

Les distances près de la terre

- Taille de la France ?
- Diamètre de la terre ?
- Distance Terre-Lune ?
- Taille de la France : 1000 km
- Diamètre de la terre : 13 000 km
- Distance Terre-Lune : 384 000 km



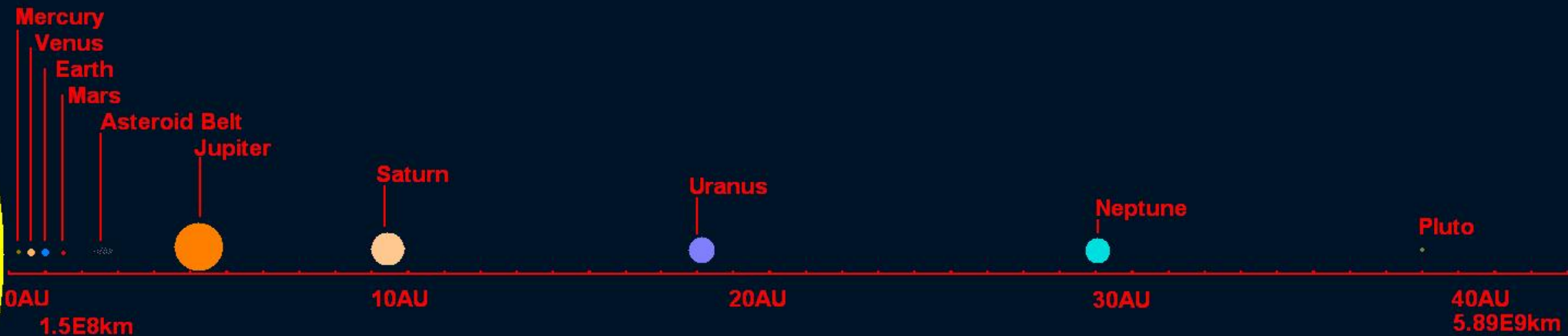
Les distances dans le système solaire

- Distance Terre-Soleil ?
- 150 000 000 km
- Soit 400 fois la distance Terre-Lune

- On définit une nouvelle unité pour les distances dans le système solaire :
- L'**unité astronomique** UA
 - ou astronomical unit AU en anglais
 - Terre-Soleil = 1 AU

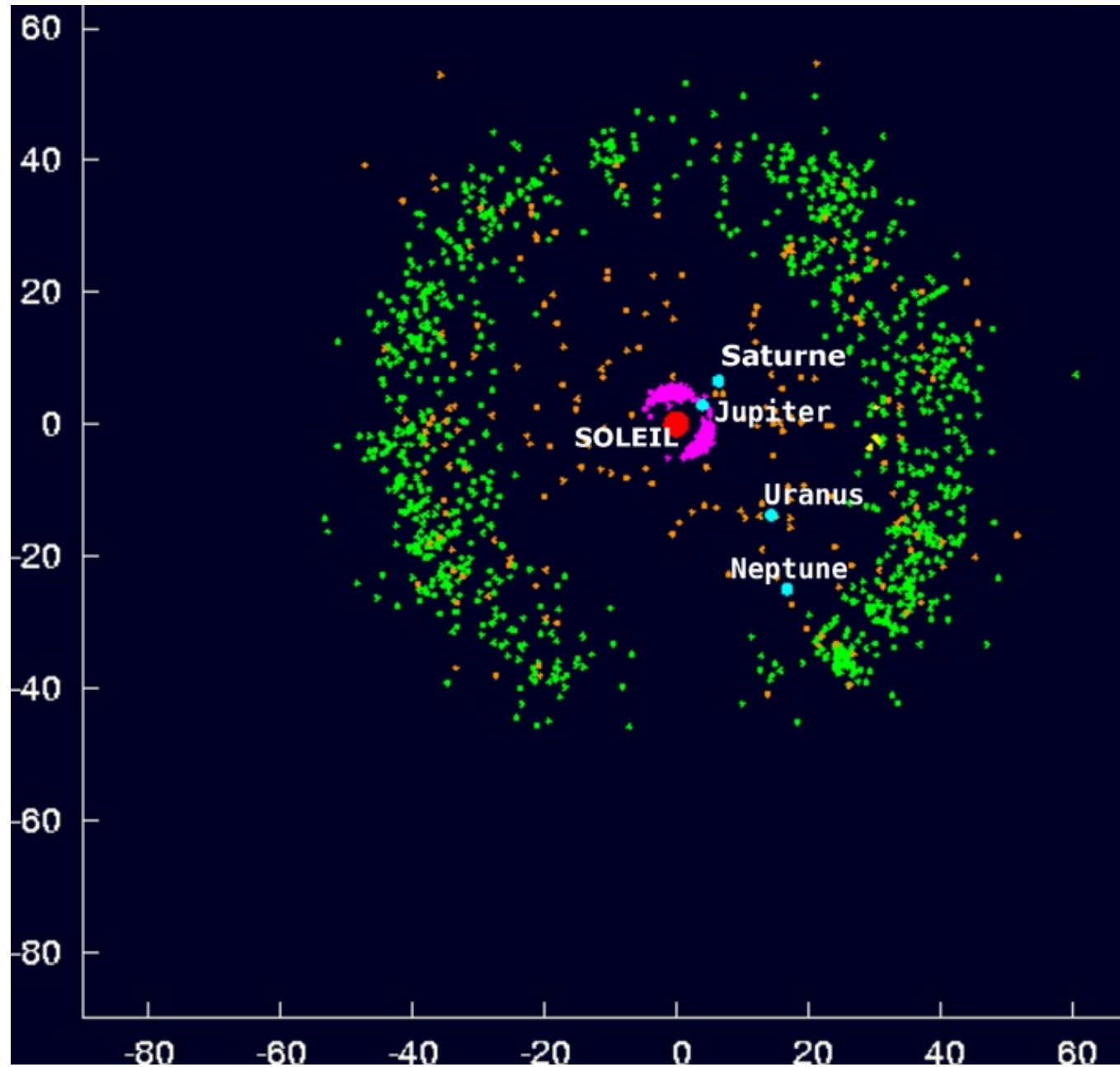
Les planètes

- Distances souvent exprimées en AU
- Planètes intérieures : distances < 1 AU
- Planètes extérieures : $1 \text{ AU} < d < 30 \text{ AU}$



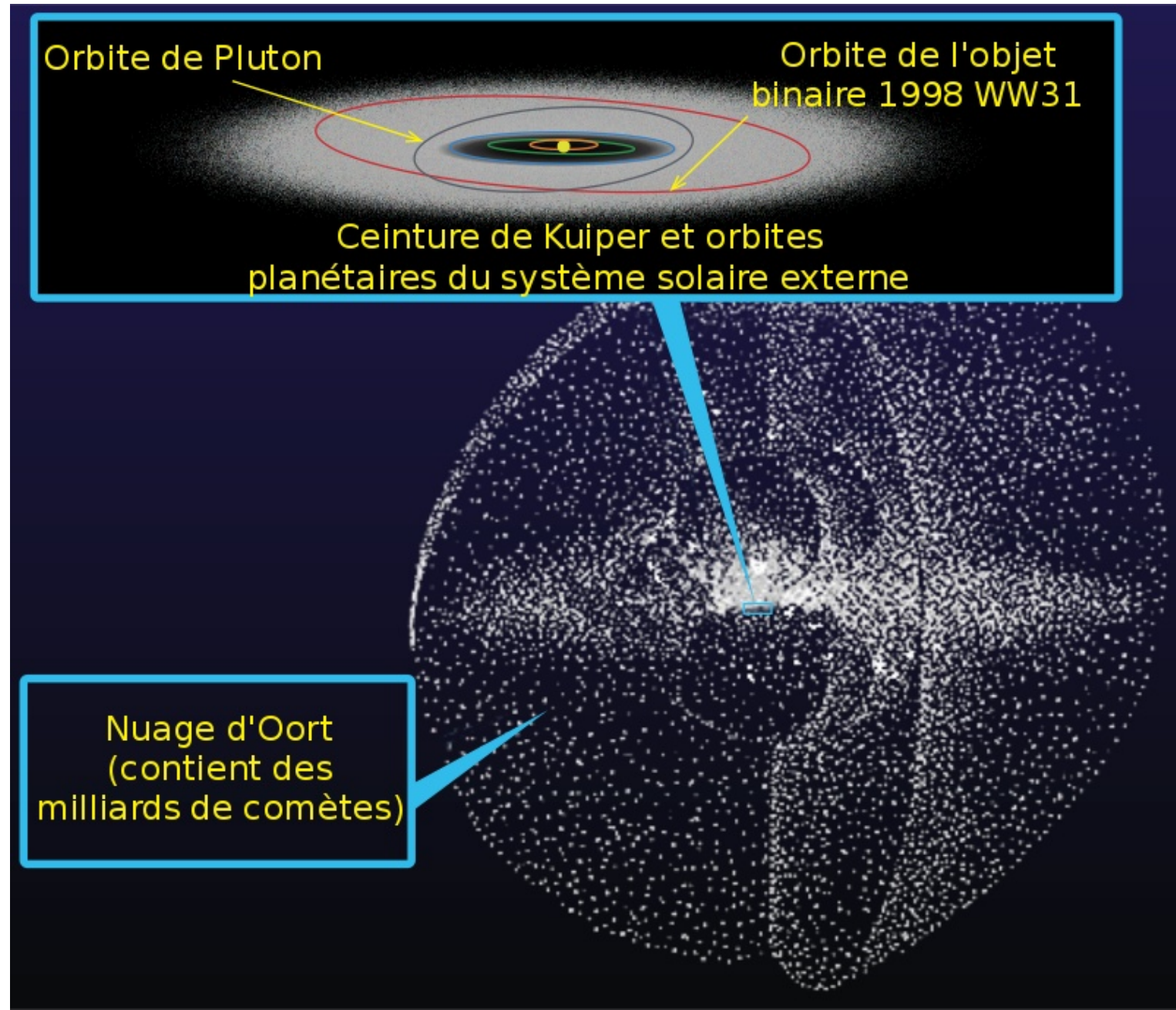
Plus loin : la ceinture de Kuiper

- Astéroïdes
- Distance :
30 à 55 AU



Le nuage de Oort

- “Limite” du système solaire
- Des milliards de comètes
- Répartition sphérique (pas dans un plan)
- Distance :
20 000 à plus de 100 000 AU
 - Presque $\frac{1}{4}$ de la distance à l'étoile la plus proche

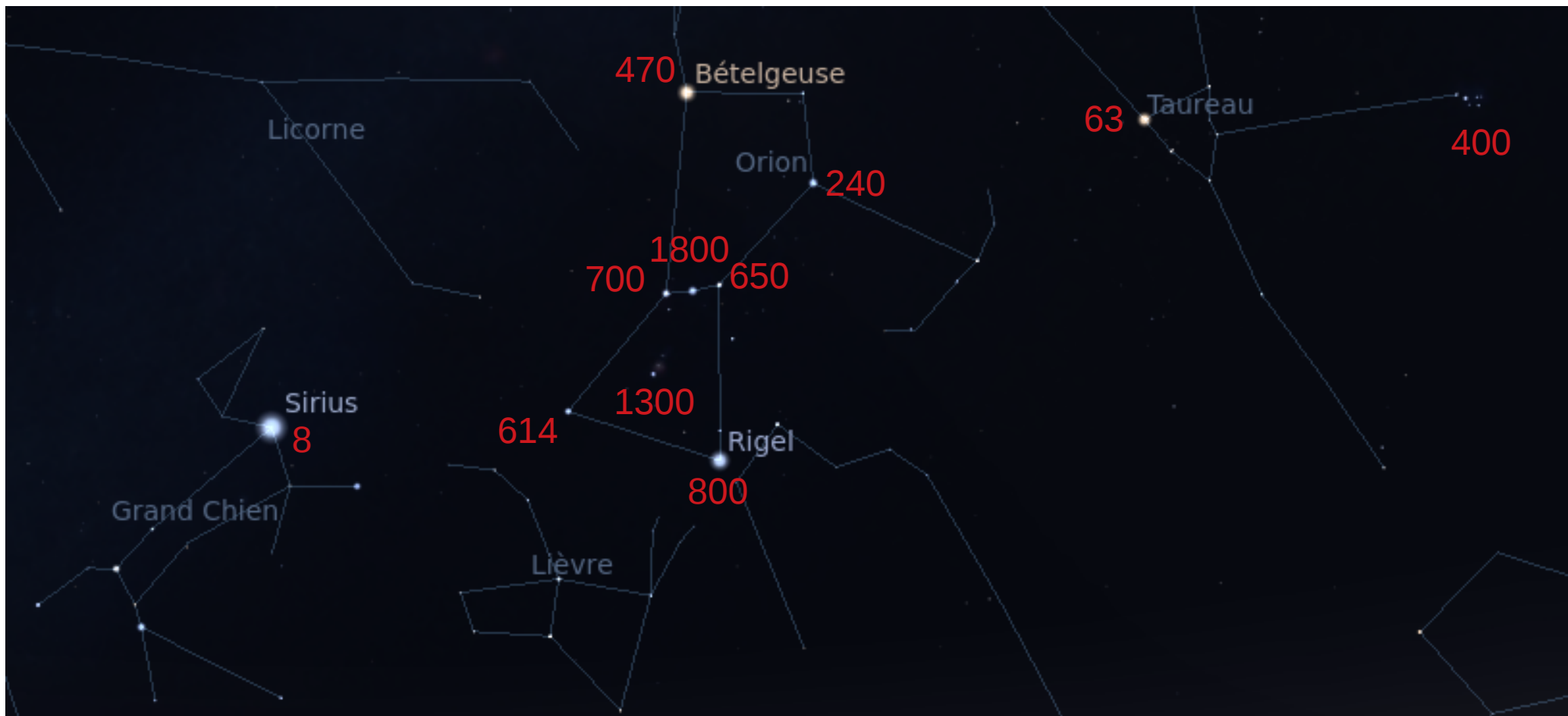


L'année-lumière

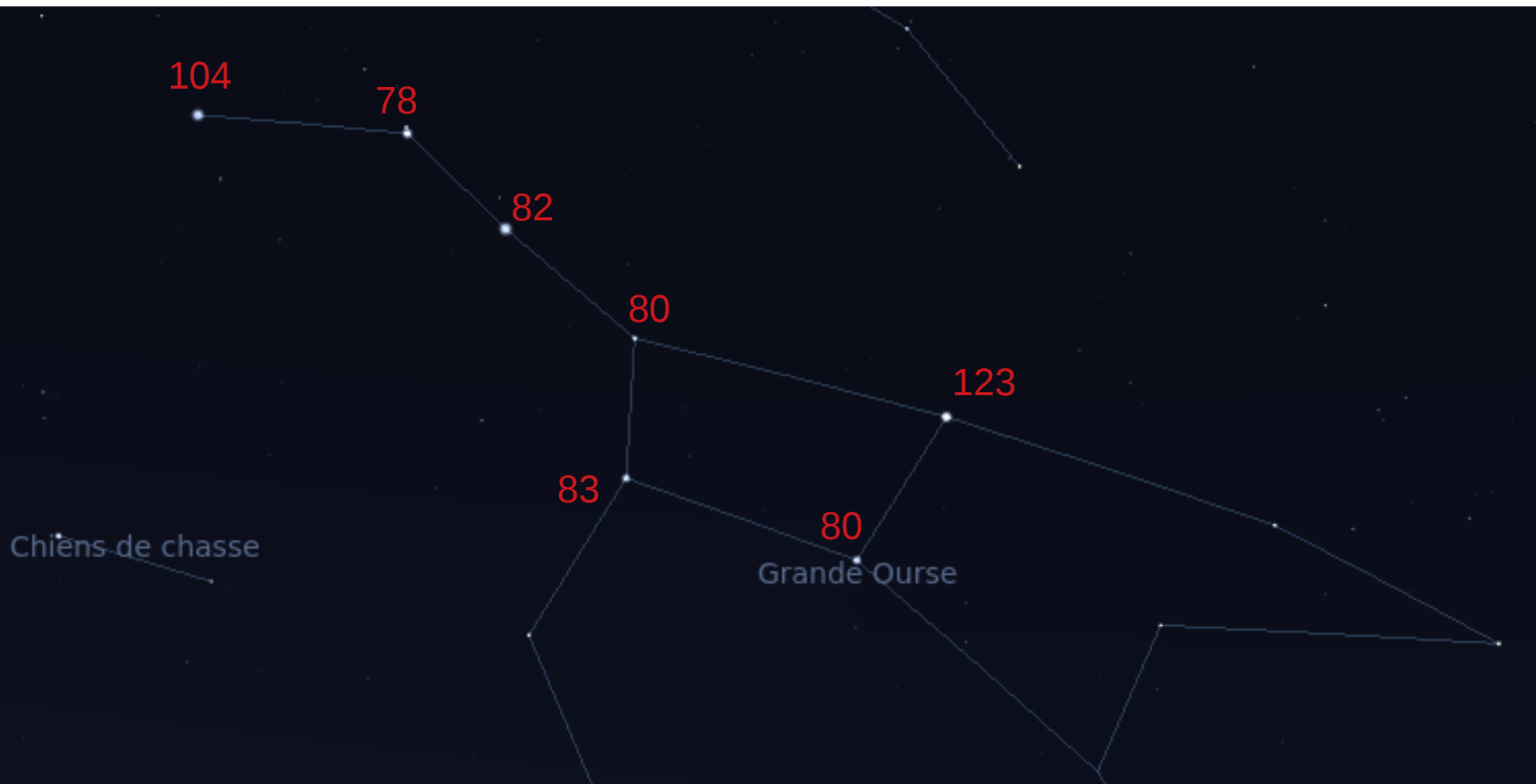
- Unité de distance et non de temps !
- **Distance parcourue par la lumière en un an**
- Vitesse de la lumière : 300 000 km/s (1 milliard de km/h)
- 1 al = 10 000 milliards de km = 10^{13} Km = 66000 AU
- Sert à mesurer les distances entre les étoiles, et au delà
- Exemples :
 - Soleil – Nuage de Oort \approx 1 al
 - Soleil – Proxima = 4.2 al
 - Soleil – étoiles proches : quelques al
 - Étoiles visibles à l'œil nu : 4 à 10000 al
 - Terre-soleil = 8 minutes-lumière
 - Terre-Neptune = 4 heures-lumière

Vidéo : Qu'est-ce qu'une année-lumière (NASA)
<https://www.youtube.com/watch?v=MX3PIkbTQwQ>

Distances des étoiles visibles



Distances des étoiles visibles



Certaines sont très loin

- **Rho Cas** (Cassiopee) mag 4.5



Hors de la voie lactée ?

- Galaxies proches (**groupe local** de 60 galaxies) :
 - Galaxie d'Andromède (M31) : 2,5 millions d'al
 - Grand nuage de Magellan : 160 000 al
 - Petit nuage de Magellan : 200 000 al
 - Taille du groupe : environ 10 millions d'al
- Amas proches :
 - **Amas de la Vierge** :
 - environ 2000 galaxies
 - distances 50 à 70 millions d'al
 - Immense galaxie M87 en son centre
- Superamas local (ou superamas de la Vierge) : 10000 galaxies, 100 amas
 - Dominé par l'amas de la Vierge
- Environ 100 milliards de galaxies dans l'univers
 - Certaines distantes de 12 milliards d'al

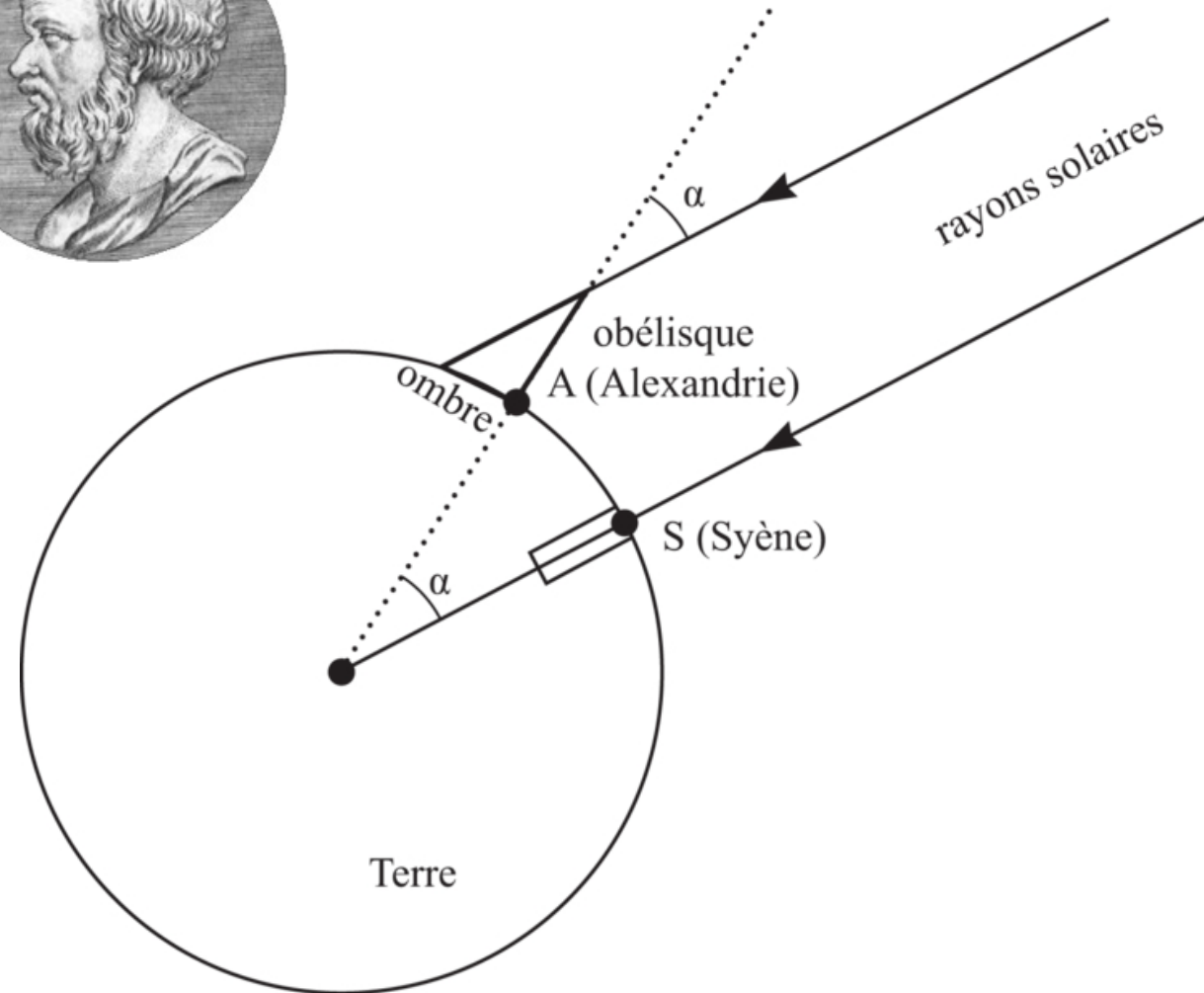
Comment mesurer les distances

- Comment évaluez-vous une distance ?
- 2 yeux
- Au delà de 100m c'est notre cerveau qui évalue en fonction de ce que l'on connaît



Mesure du rayon de la Terre

- **Ératosthène**
(-276, -194)
- Hypothèse que les rayons du soleil sont parallèles
- Mesure la distance sur terre avec un convoi de chameaux
- Mesure la circonférence à 2 % près ! (39500 km)



Mesure du rayon de la Terre par Érastosthène.

Ptolémée et C. Colomb

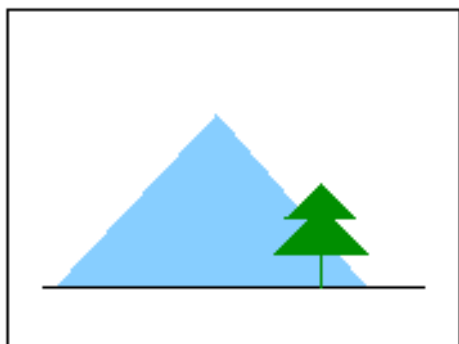
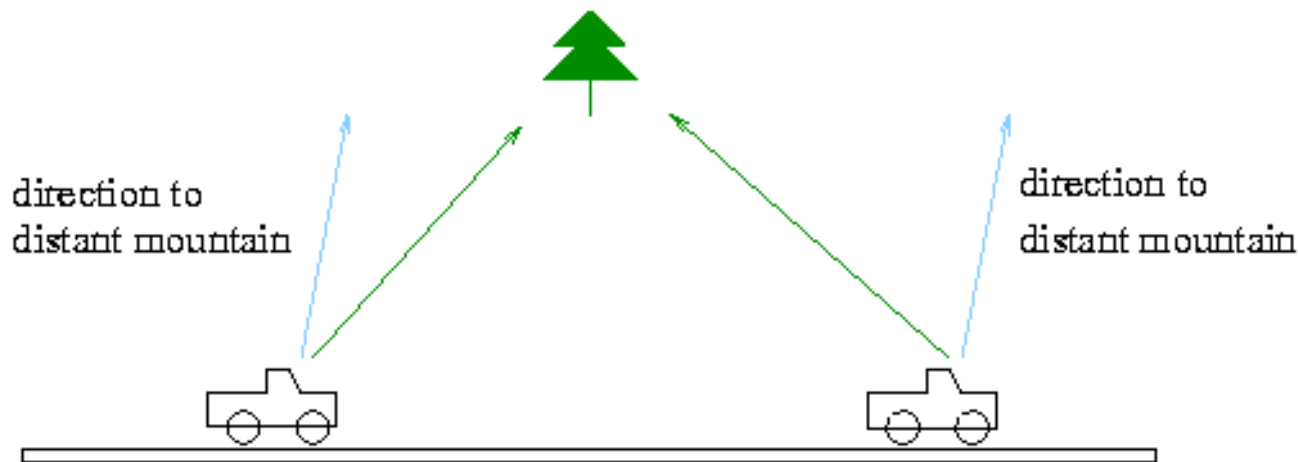
- Au XVe siècle Christophe Colomb prit comme référence la mesure du rayon terrestre de Ptolémée (90-168)
- Inférieure de 14% à celle de Eratostène
- Son estimation de la durée du voyage était trop faible

Mesure de la distance Terre-Lune

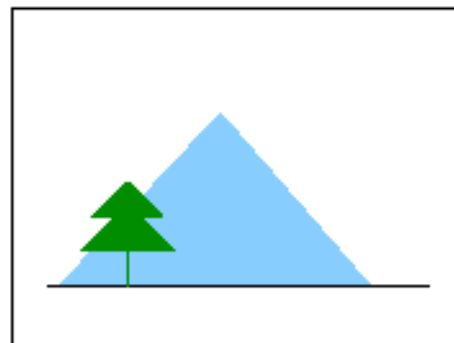
- Eclipse de lune => mesure de la taille de l'ombre de la Terre
- On en déduit la taille de la lune
- Mesure de sa taille angulaire => distance

La parallaxe

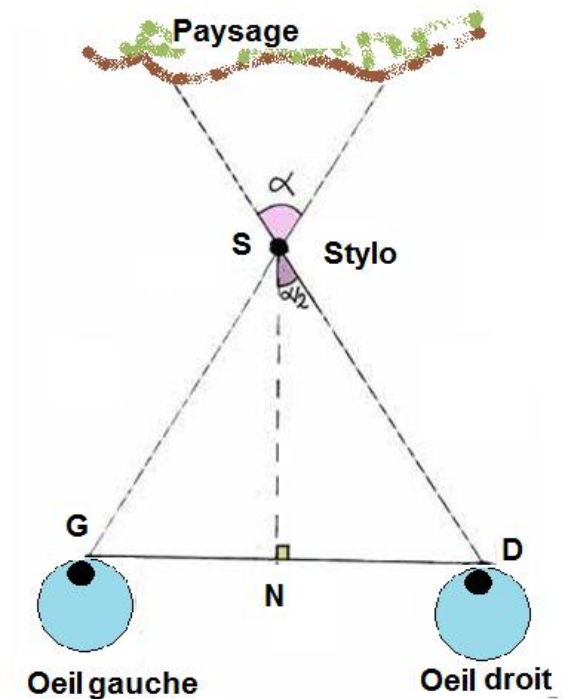
- Différence d'angle de vue entre 2 positions de l'observateur



what you see



what you see

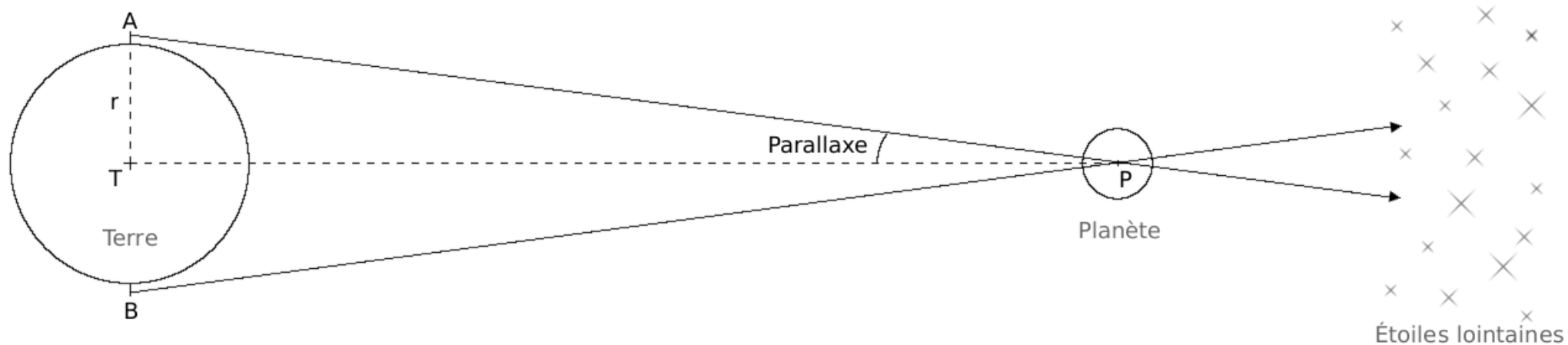


Parallaxe : importance de la distance de base

- Distance entre les 2 positions d'observation
 - Ecart entre vos 2 yeux
 - Ecart entre les 2 positions de mesure
- 2 positions sur terre => **parallaxe diurne**
- 2 positions sur l'orbite de la terre (2 dates) => **parallaxe annuelle**

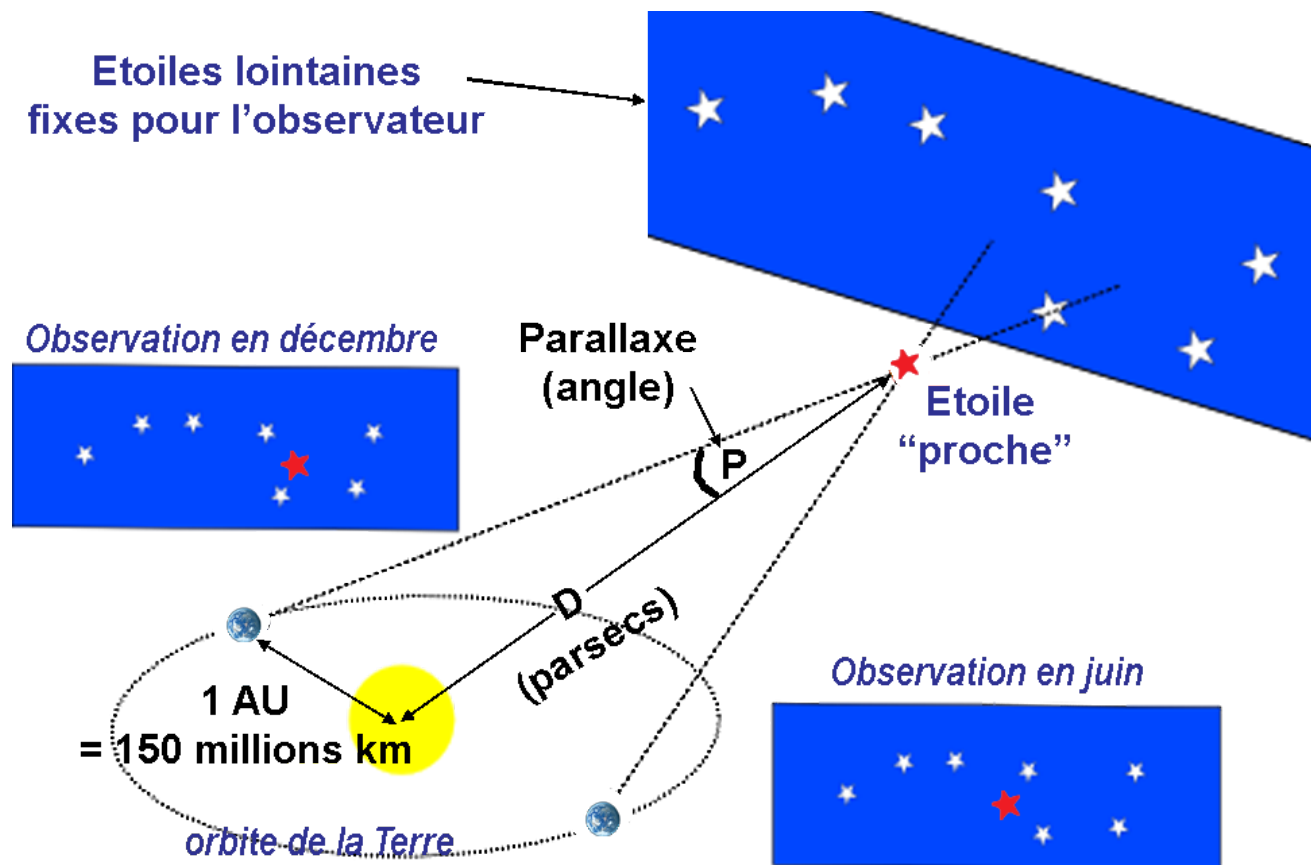
Mesure de la distance Terre-Soleil

- Premières mesures : **Archimède**, **Aristarque de Samos** (IIIe siècle av JC)
- Mesure de la parallaxe diurne de planètes
 - Mars ou des astéroïdes proches
 - Ecart entre la position de l'astre vu du centre de la Terre et celle vue de l'observateur
- On en déduit celle du soleil (3e loi de Kepler $a^3/T^2 = \text{cte}$)
 - Et donc sa distance
- **Nécessite une mesure du rayon terrestre**



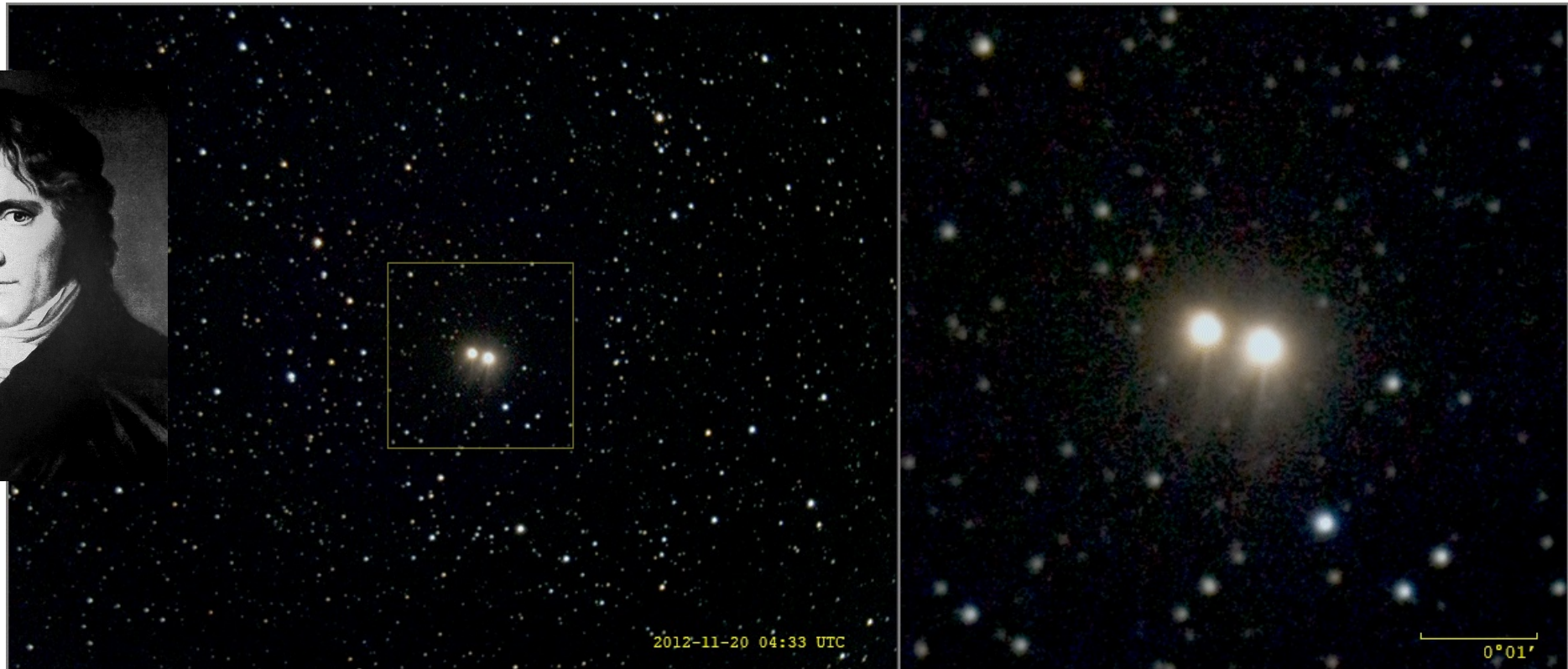
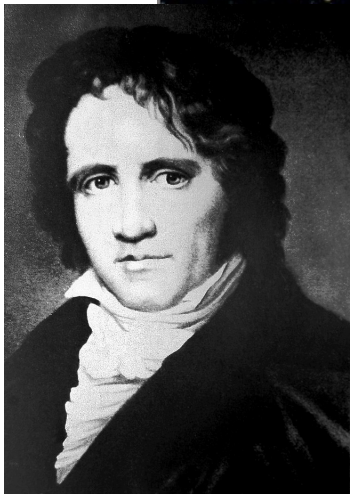
Mesure de la distance des étoiles proches

- Parallaxe annuelle
- Mais les angles sont très petits : bien moins qu'une seconde d'arc = 1 pièce de 1 euro à 5km
- Nécessite une mesure de la distance Terre-Soleil



Mesure de la distance des étoiles proches

- Première mesure de parallaxe en 1838 par Bessel :
 - 0.3'' d'arc pour [61 Cygni](#) (étoile de Bessel - double à 11 al mag 5)
 - 100 fois moins que l'écart angulaire Albireo A et B

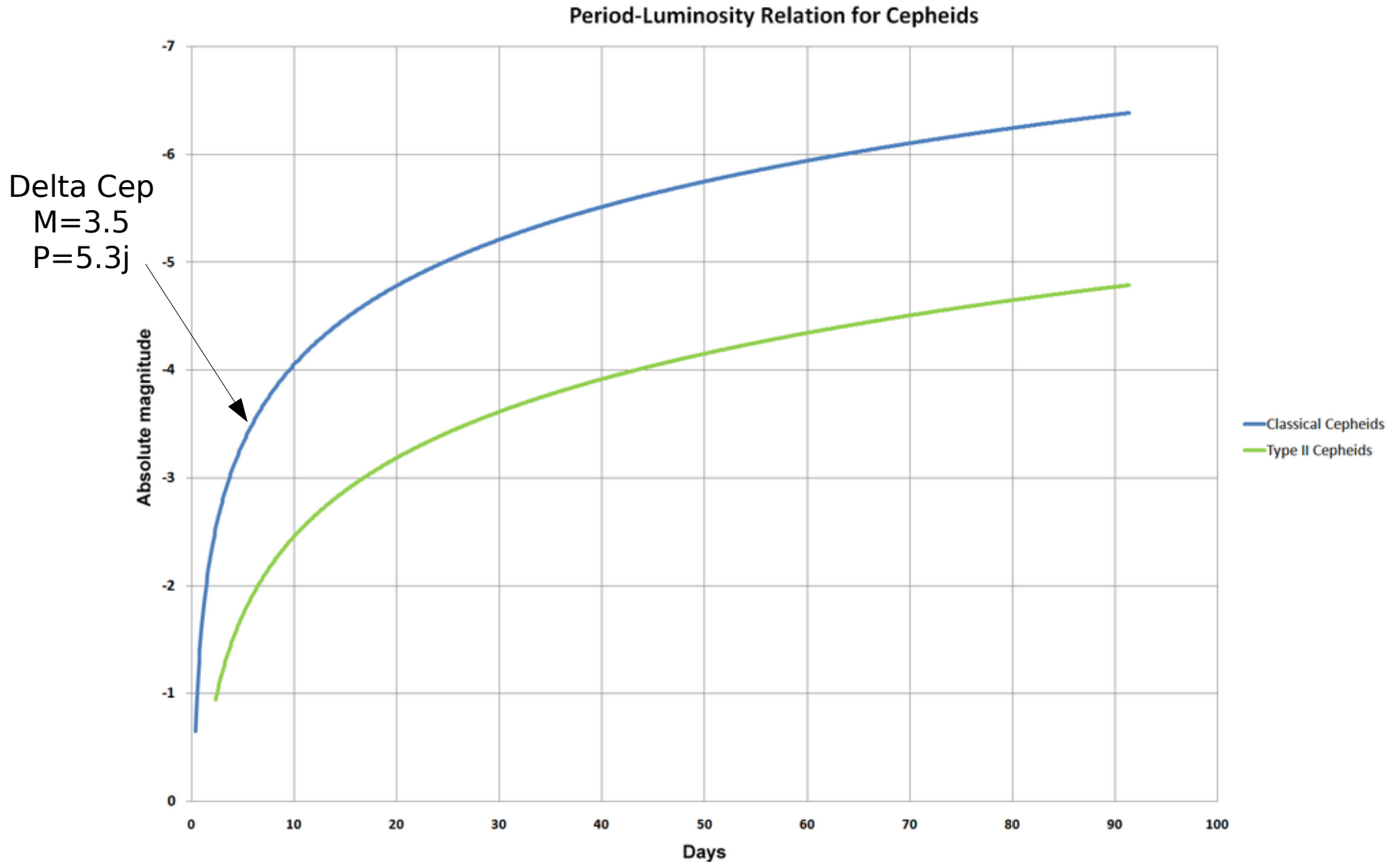


Mesure de la distances d'étoiles lointaines

- **Céphéïdes** : type d'étoiles variables
 - Leur période dépend de leur luminosité absolue
 - Quelques jours ou mois
 - Mesure de leur luminosité relative => distance
- D'après [δ Cephei](#)
 - Étudiée en 1897 par **Michel Luizet**
 - Étude de **Henrietta Leavitt** vers 1910-1920
 - Céphéïdes des nuages de Magellan
 - Distances quasi identiques => luminosité proportionnelle à leur période



La courbe des Céphéides



Mesures de distances avec les Céphéïdes

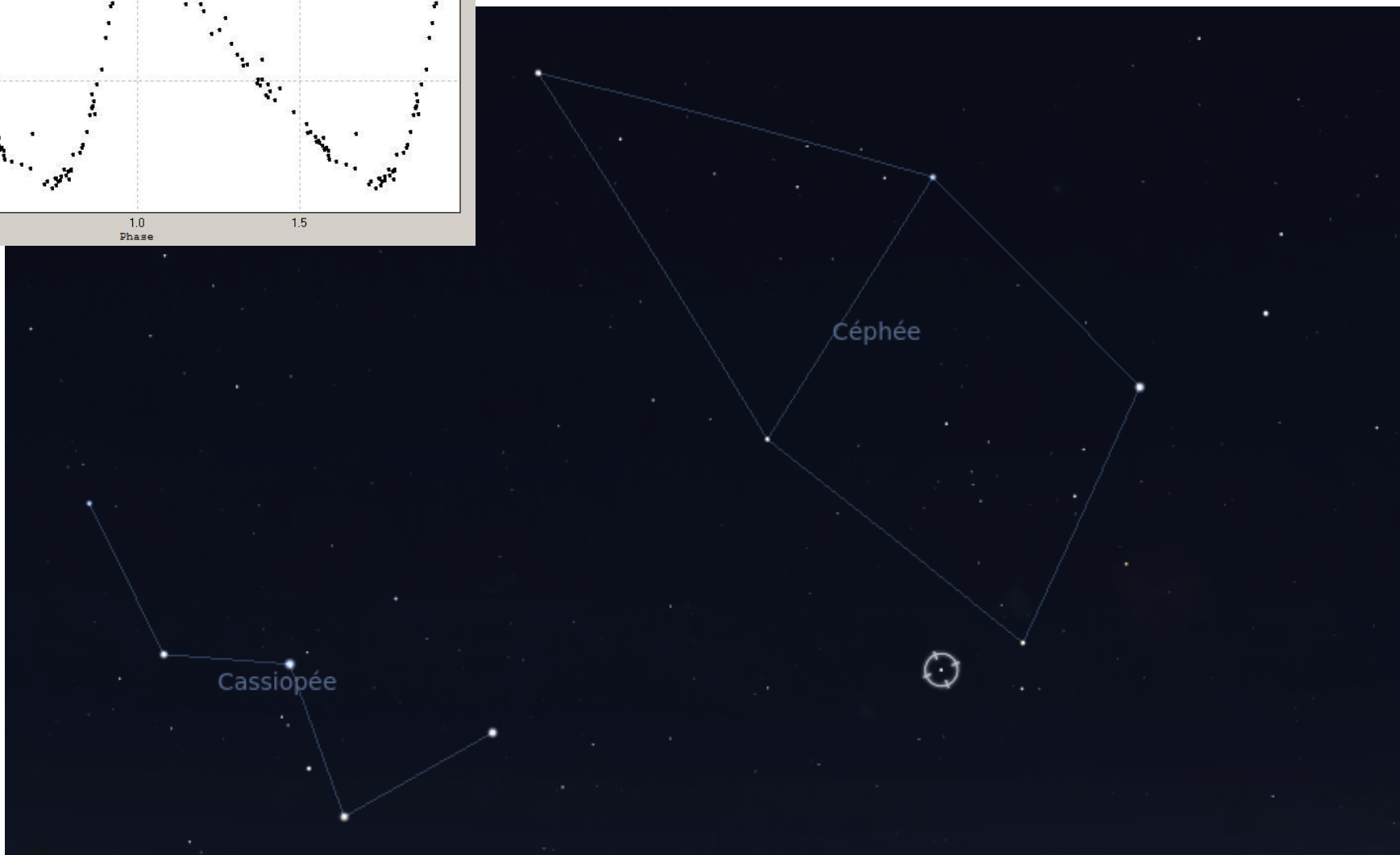
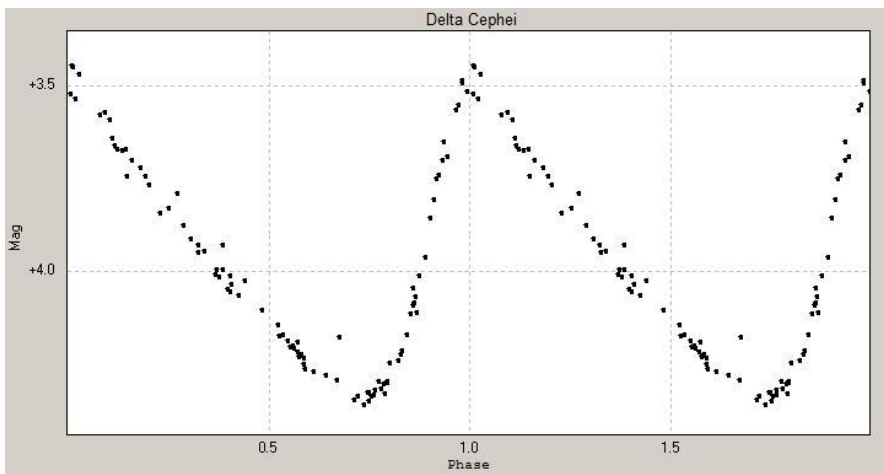
- Permet aussi de mesurer la distance de galaxies proches
 - Si elles contiennent une céphéïde brillante
- Autres types de “chandelles standard” : RR Lyrae, Supernovae Ia
- Nécessite de connaître la distance de céphéïdes proches (calibration)

$$M_v = (-2.43 \pm 0.12) (\log_{10} P - 1) - (4.05 \pm 0.02)$$

M_v = magnitude absolue moyenne, P = période en jours
Loi établie avec 10 mesures de parallaxes de Céphéïdes
avec le télescope Hubble

Delta Cephei

- Période : 5,3 jours
- Mag 4,07 (3,48 - 4,37)

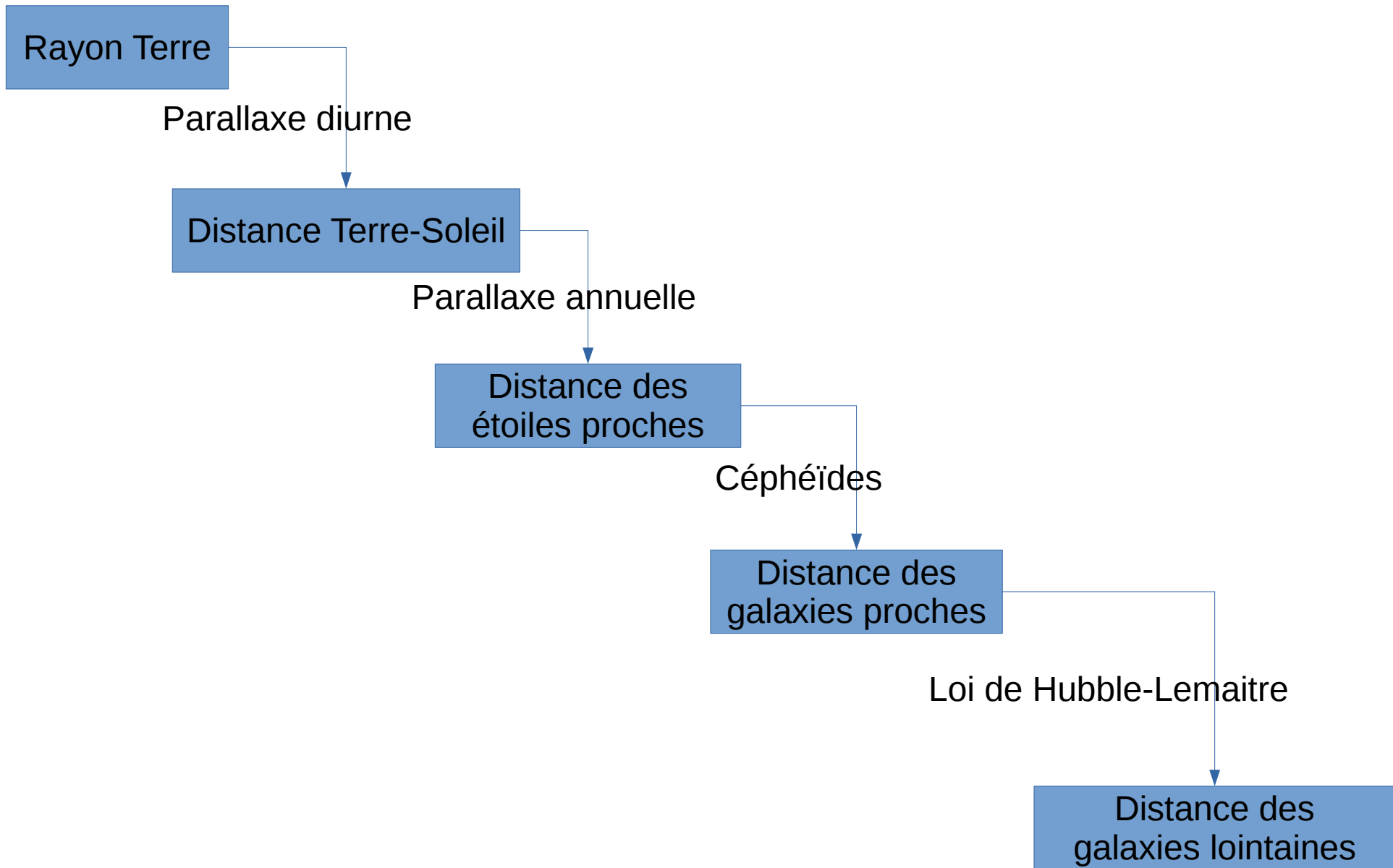


Mesure de la distance des galaxies

- Dans les années 1920 Edwin Hubble (1889-1953)
 - étudie les céphéïdes d'autres galaxies => **distances**
 - et mesure leur décalage vers le rouge (Doppler) => **vitesse**
 - Il remarque que les galaxies s'éloignent à une vitesse proportionnelle à leur distance (loi de Hubble-Lemaître)
 - Plus elles sont loin, plus elles s'éloignent vite
- => Mesurer la **vitesse d'éloignement** d'une galaxie permet d'en déduire sa **distance**
- **Nécessite de connaître les distances de galaxies proches**



Synthèse



“Cosmic distance ladder”

- Mesurer les distances est une **somme de méthodes**
- Chacune est valable **à une échelle donnée**
- Et se base sur une mesure du niveau en dessous
- Si on se trompe à un niveau, toute la suite est fausse : une erreur de mesure se propage !



Synthèse des unités de distance

- Mètre m (unité SI)
- Kilomètre km
- Unité astronomique
- Année-lumière