

Les distances dans l'univers

Fabrice Feinstein

CPPM

13 juin 2018

Summer Camp OCEVU 2018

Contact : feinstein@cppm.in2p3.fr



Déroulé

Comment mesurer et appréhender les distances	15
Les barreaux de l'échelle cosmique	20
Les distances cosmologiques et l'expansion de l'univers	15
Petite pause	10
Le diagramme de Hubble	10
Le Large Synoptic Survey Telescope	15
La chance que vous avez d'arriver maintenant !	15

Trois méthodes (1)

Arpenter :

sur Terre, avec un mètre ou un laser
distance Terre – Lune avec un laser
écho radar entre la Terre et Vénus

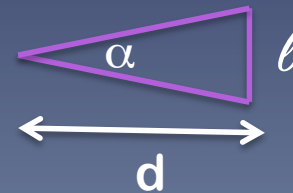
La vitesse de la lumière est fixée à : 299 792 458 m/s

Mesurer une distance revient à mesurer le temps
que met la lumière à la parcourir

Trois méthodes (2)

Triangler :

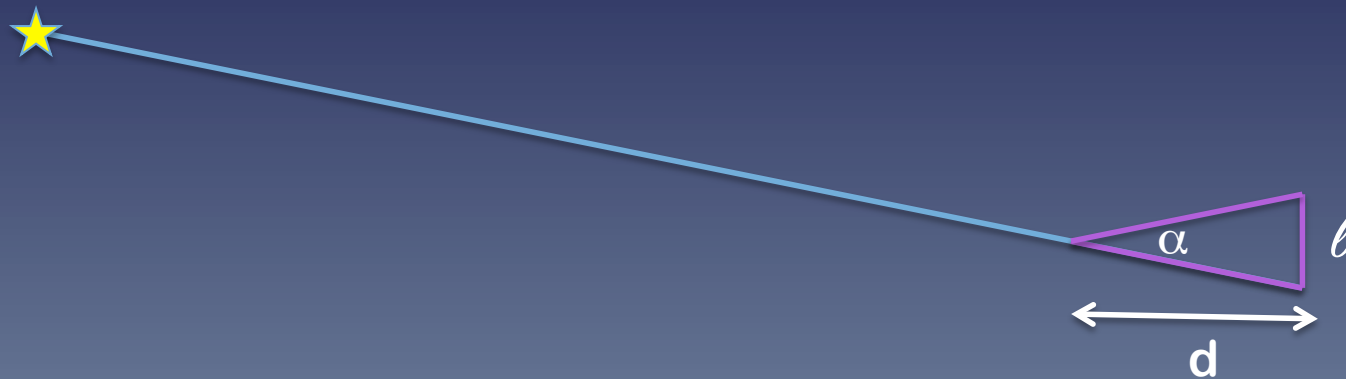
Dans le triangle violet, je connais l'angle α , la base ℓ
et la hauteur d



Trois méthodes (2)

Triangler :

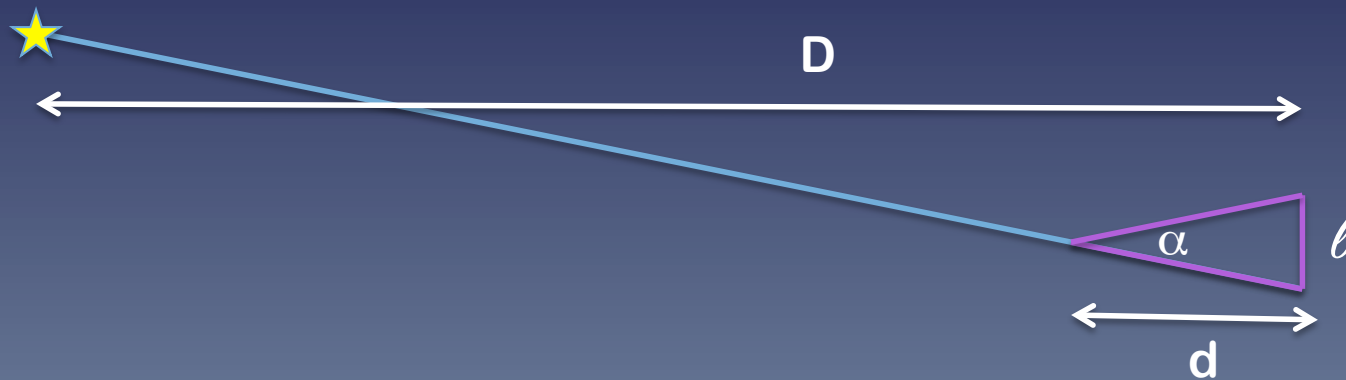
Je vise l'objet lointain.



Trois méthodes (2)

Triangler :

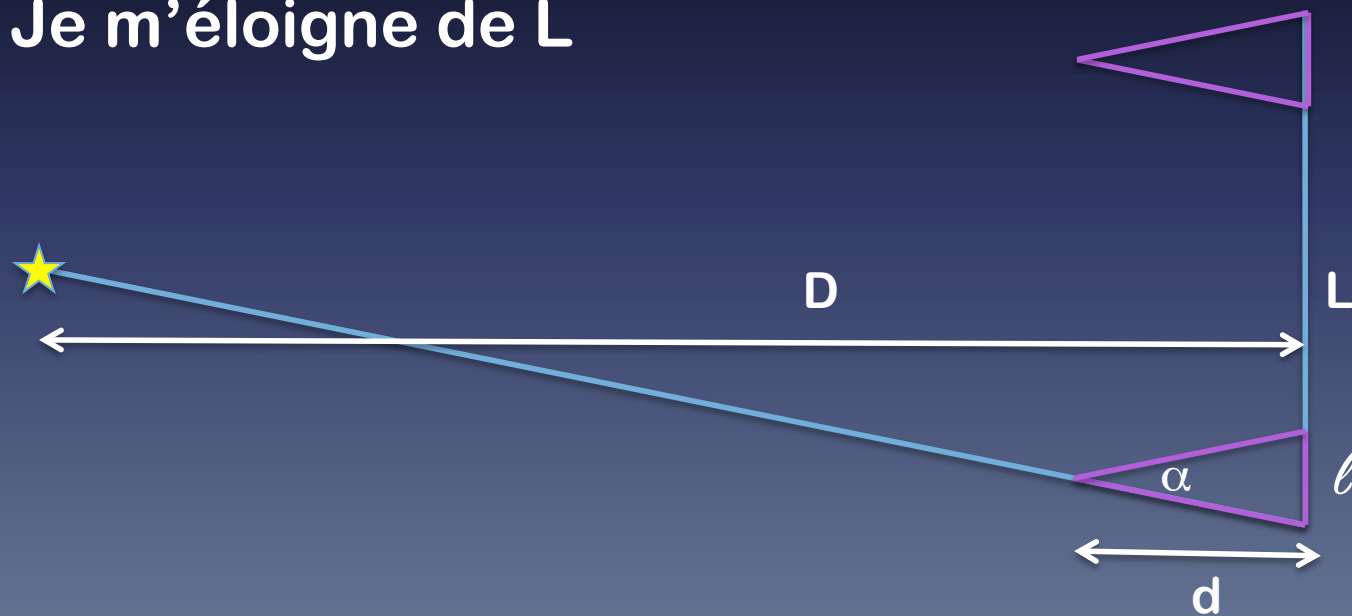
Je vise l'objet lointain. A quelle distance D est-il ?



Trois méthodes (2)

Triangler :

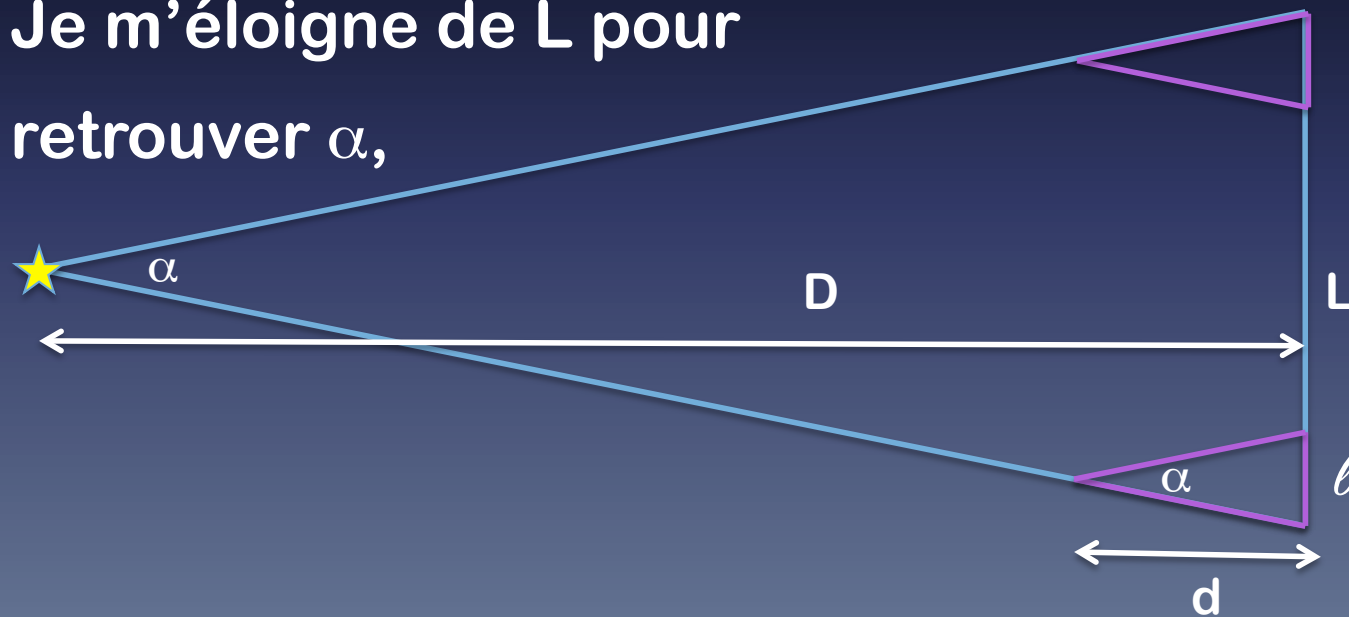
Je m'éloigne de L



Trois méthodes (2)

Triangler :

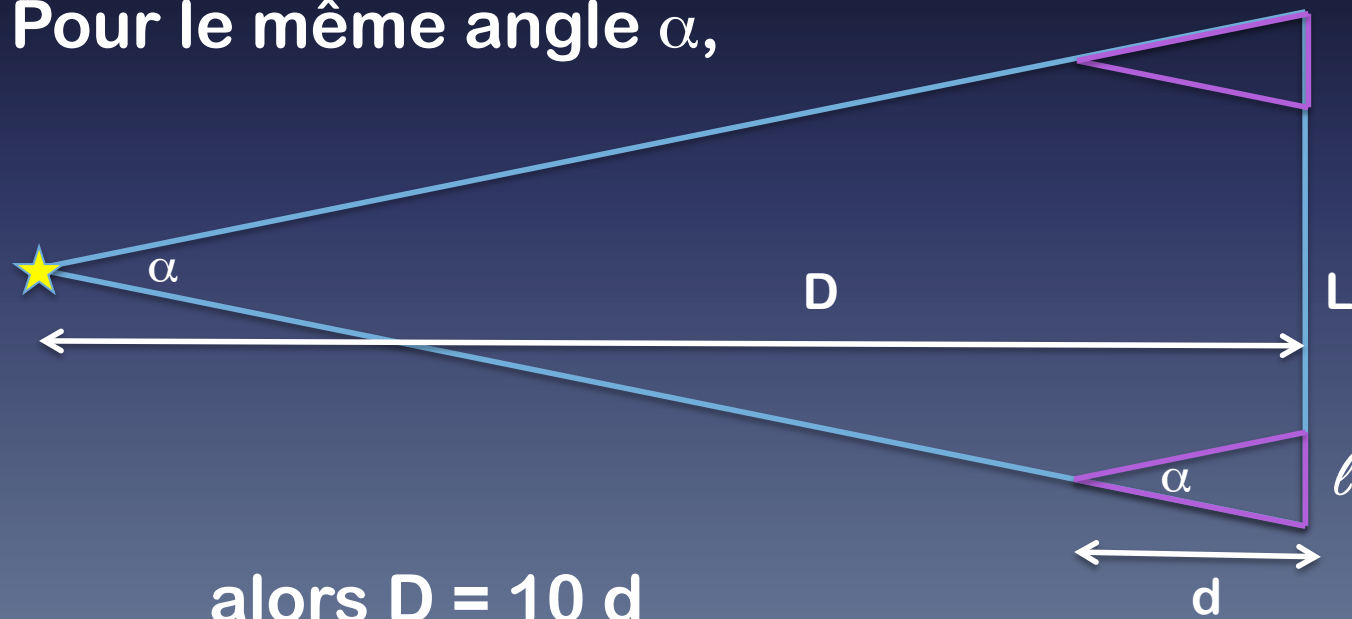
Je m'éloigne de L pour
retrouver α ,



Trois méthodes (2)

Triangler :

Pour le même angle α ,

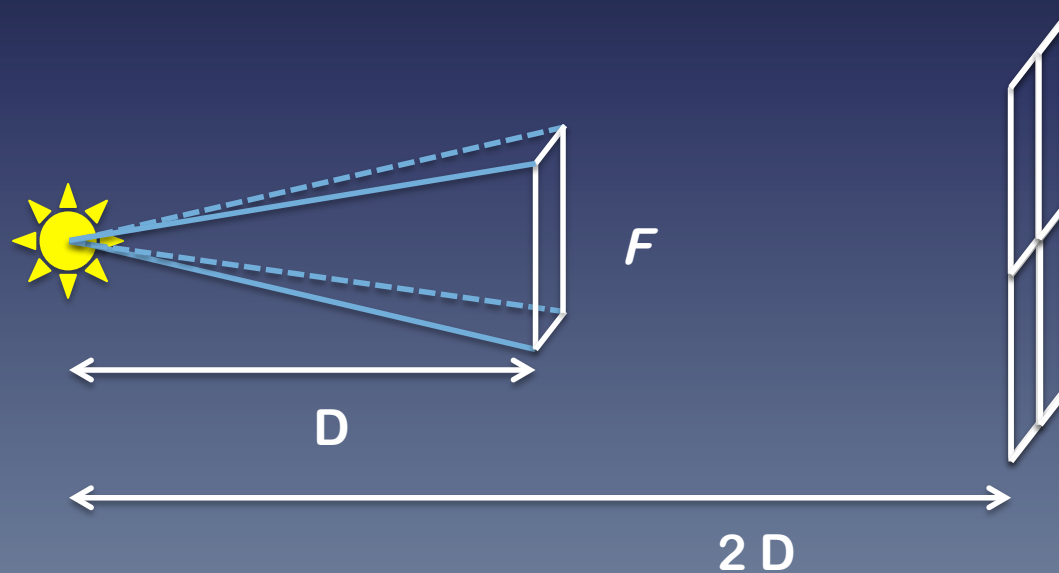


alors $D = 10 d$

si $L = 10 \ell$,

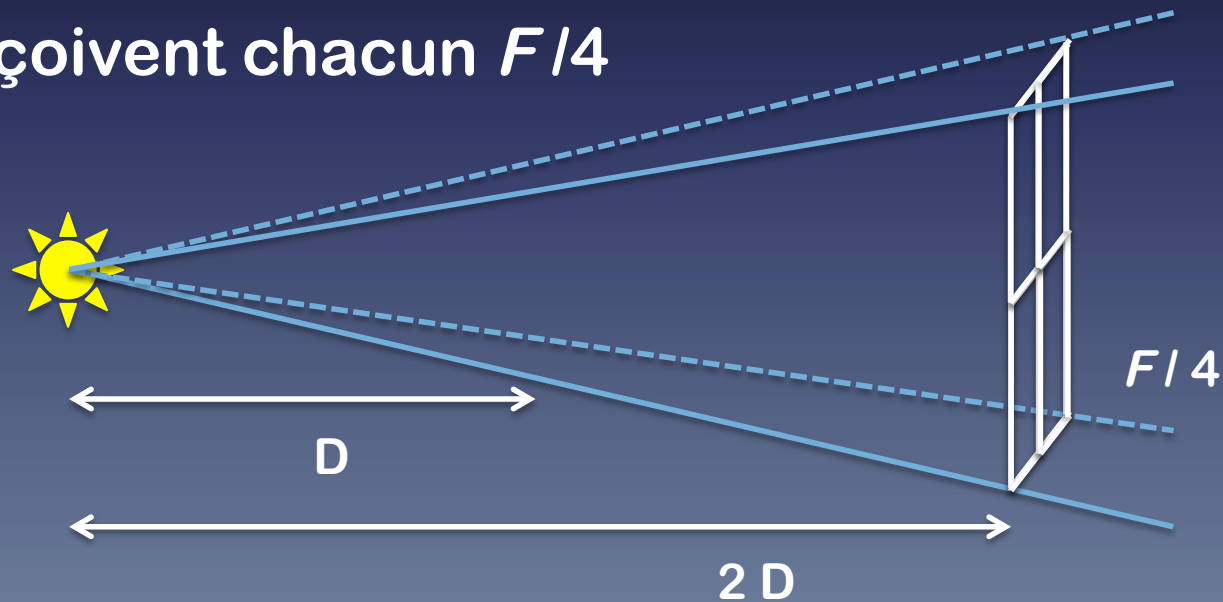
Trois méthodes (3)

Comparer les éclats apparents à distances D et $2D$:
Le même flux F de lumière tombe sur le 1^{er} écran...



Trois méthodes (3)

Comparer les éclats apparents à distances D et $2D$:
Le même flux F de lumière tombe sur le 1^{er} écran...
que sur l'ensemble des 4 écrans situés 2 x plus loin,
qui reçoivent chacun $F/4$



La distance de la Lune (1)

Mesure d'Hipparque (-190 – -120)

Eclipse de Lune

L'ombre de la Terre :

4 x diamètre de la Lune

La Terre a un diamètre de :

$40\,000 \text{ km} / \pi = 12\,700 \text{ km}$

La Lune a un diamètre de $12\,700 \text{ km} / 4 = 3\,200 \text{ km}$



La distance de la Lune



A l'échelle, on ne voit pas grand chose... c'est loin !

Il faudrait 384 h en avion, soit 16 jours pleins

Apollo 11 a fait le voyage en 3 jours

Pour parvenir à mesurer cette distance, il a fallu :

arpenter la distance Syène – Alexandrie

en déduire la taille de la Terre

l'ombre de la Terre a donné la taille de la Lune

une triangulation a donné la distance de la Lune

La 1^e parallaxe stellaire

Bessel, en 1838, étudie 61 dy Cygne et trouve une parallaxe de 0,35'', soit :

$$D_{61\text{Cyg}} = 590\,000 \text{ UA}$$

Cette fois on connaît enfin la distance aux étoiles...

et c'est très loin ! 100 000 milliards de km.

Apollo mettrait 2 millions d'années

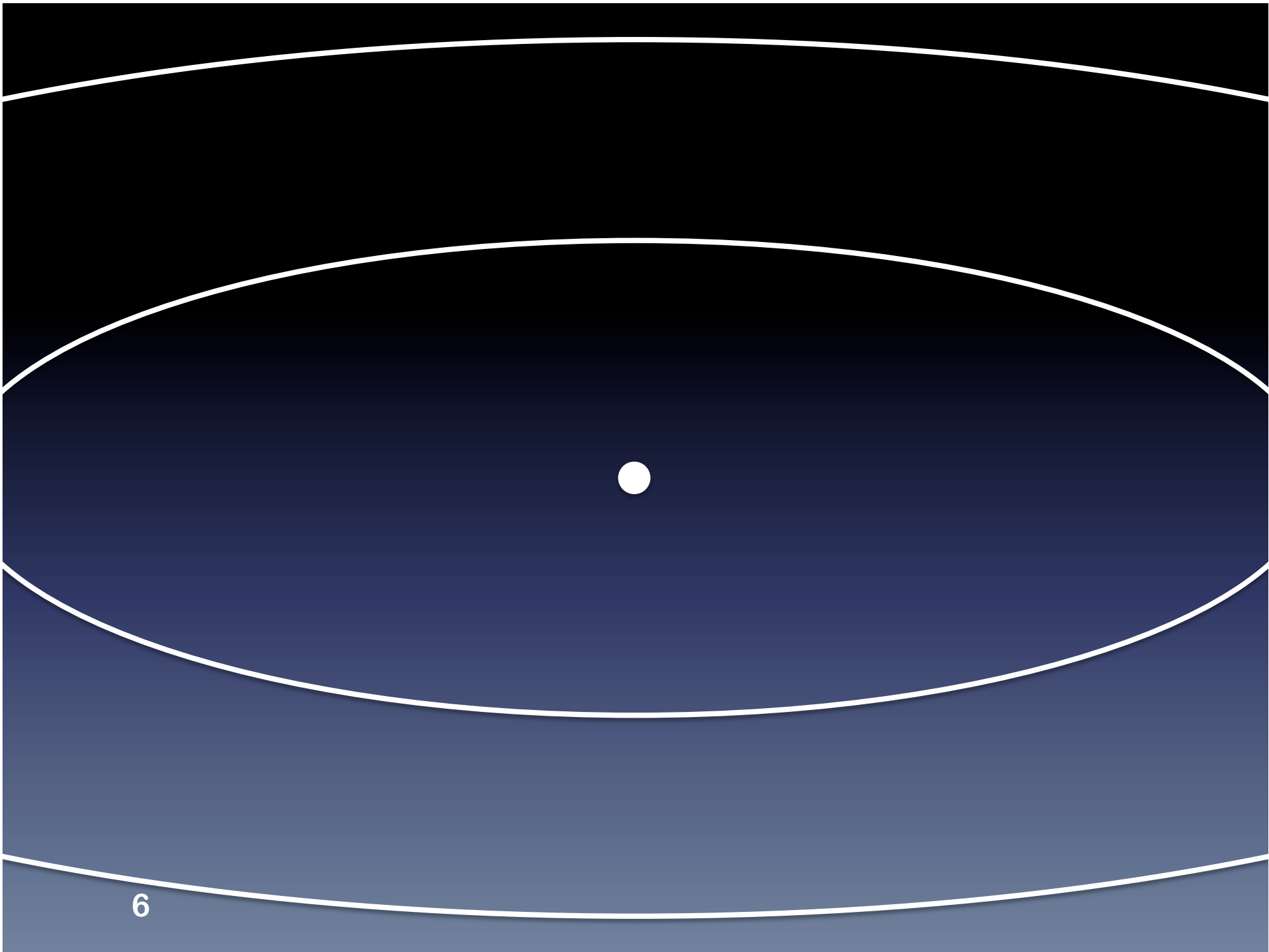
Petit voyage vers les étoiles



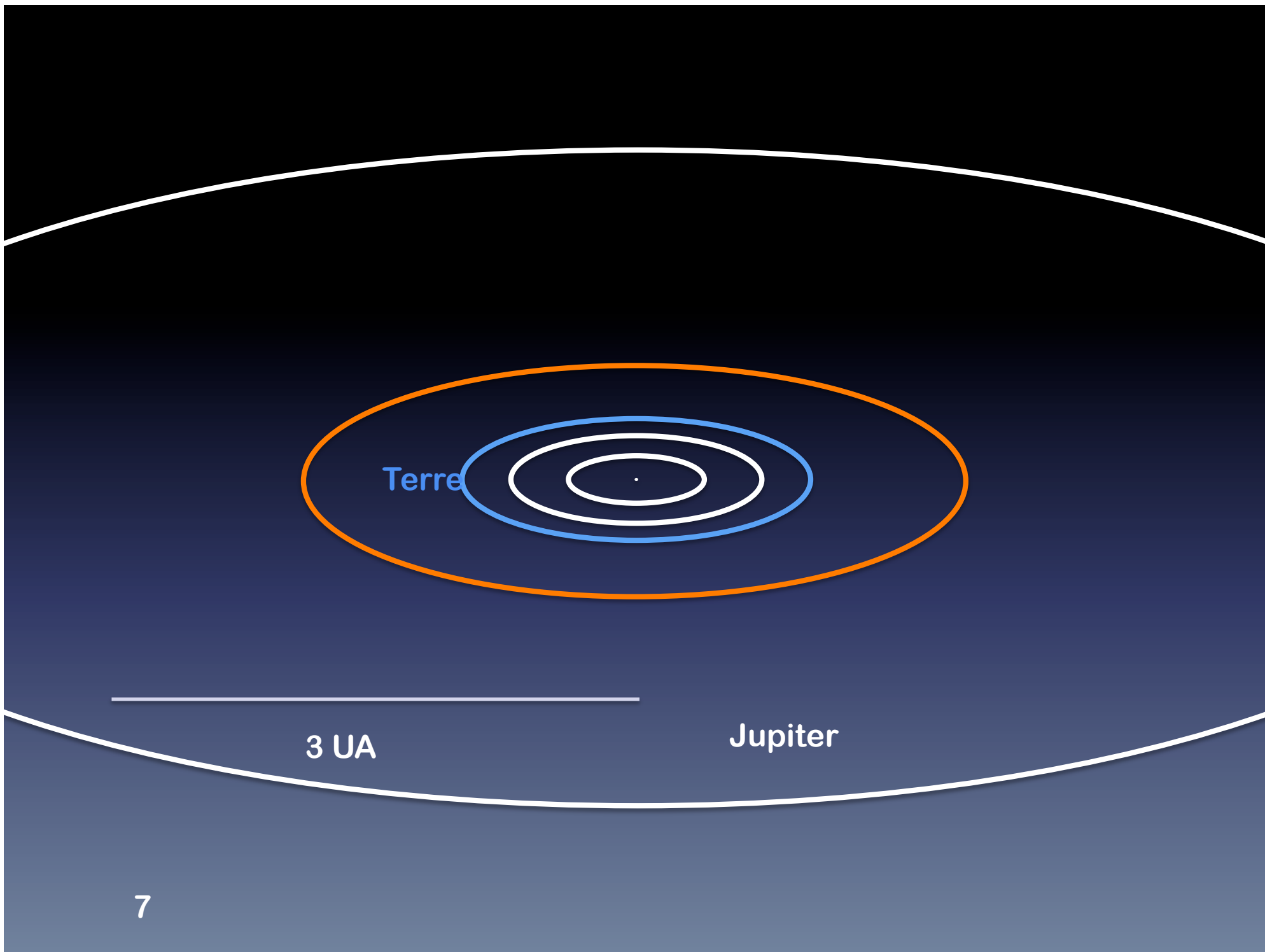








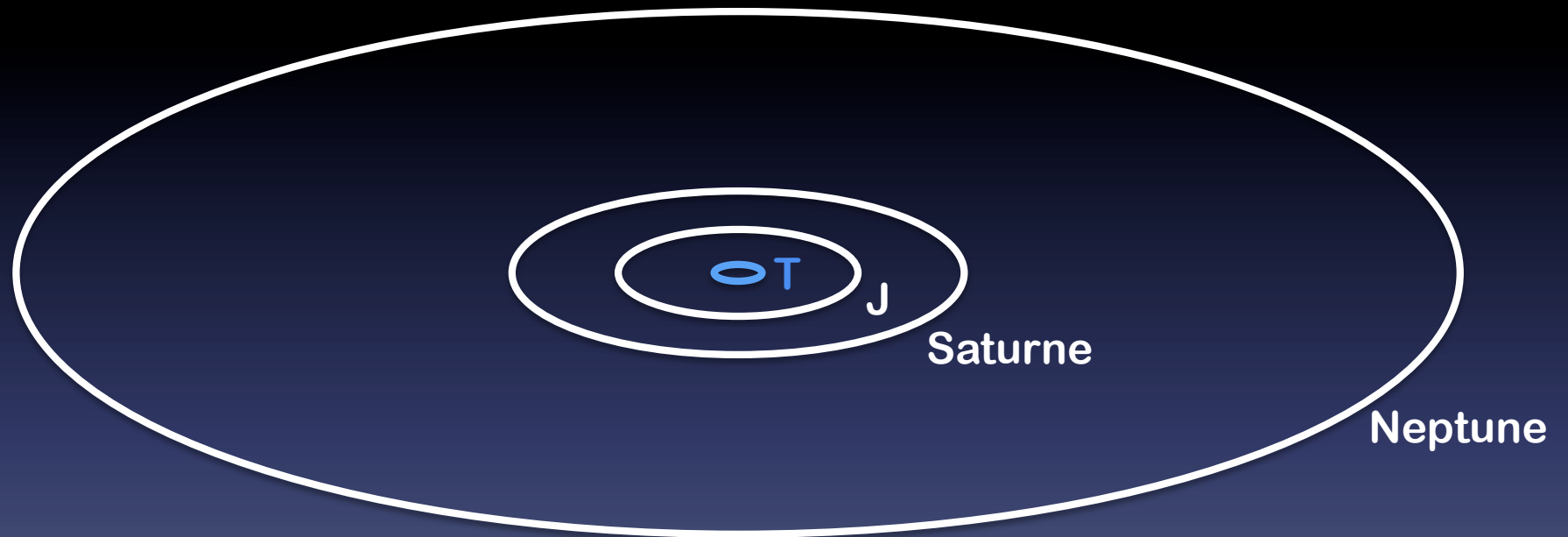
6



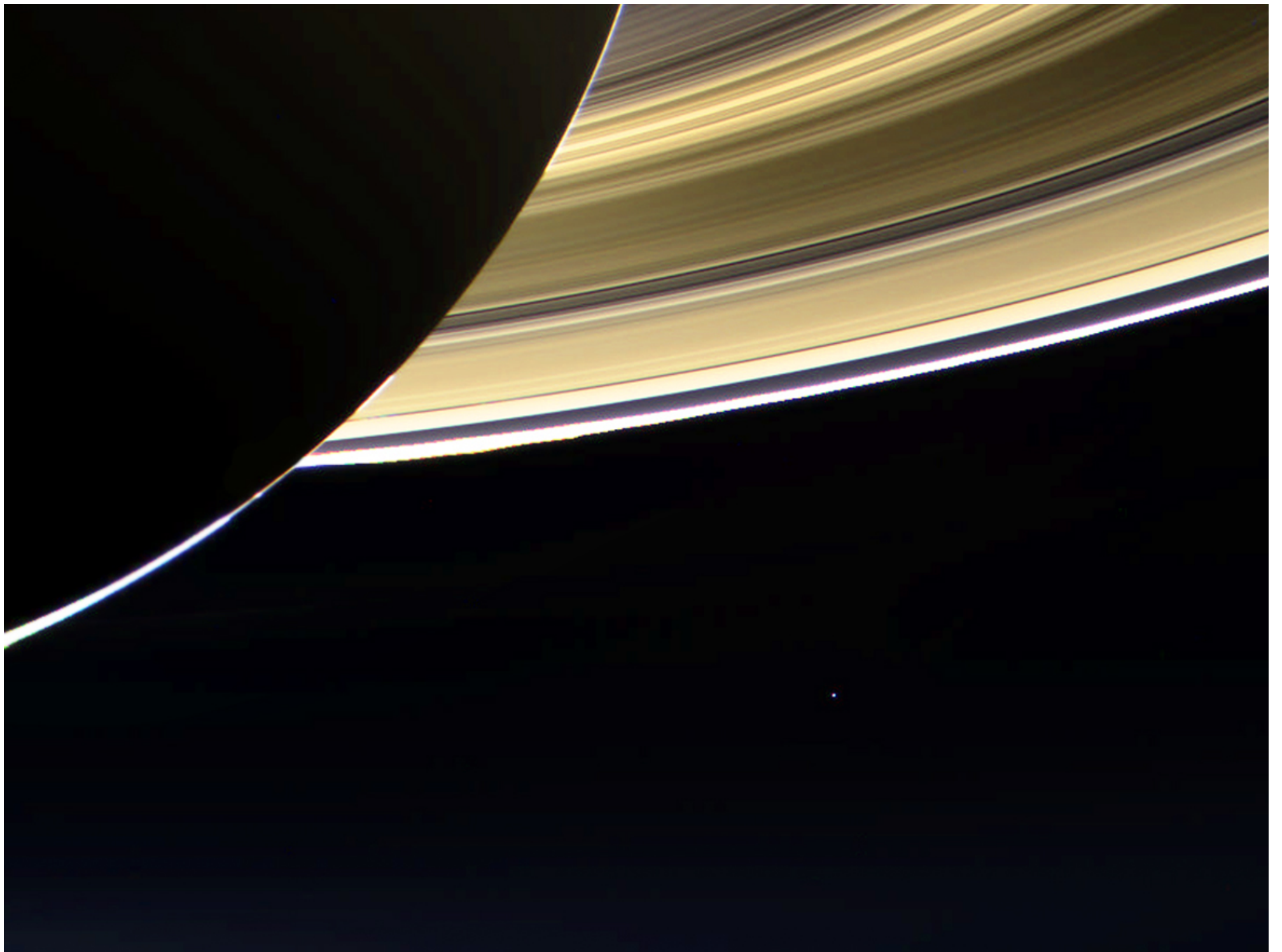
Terre

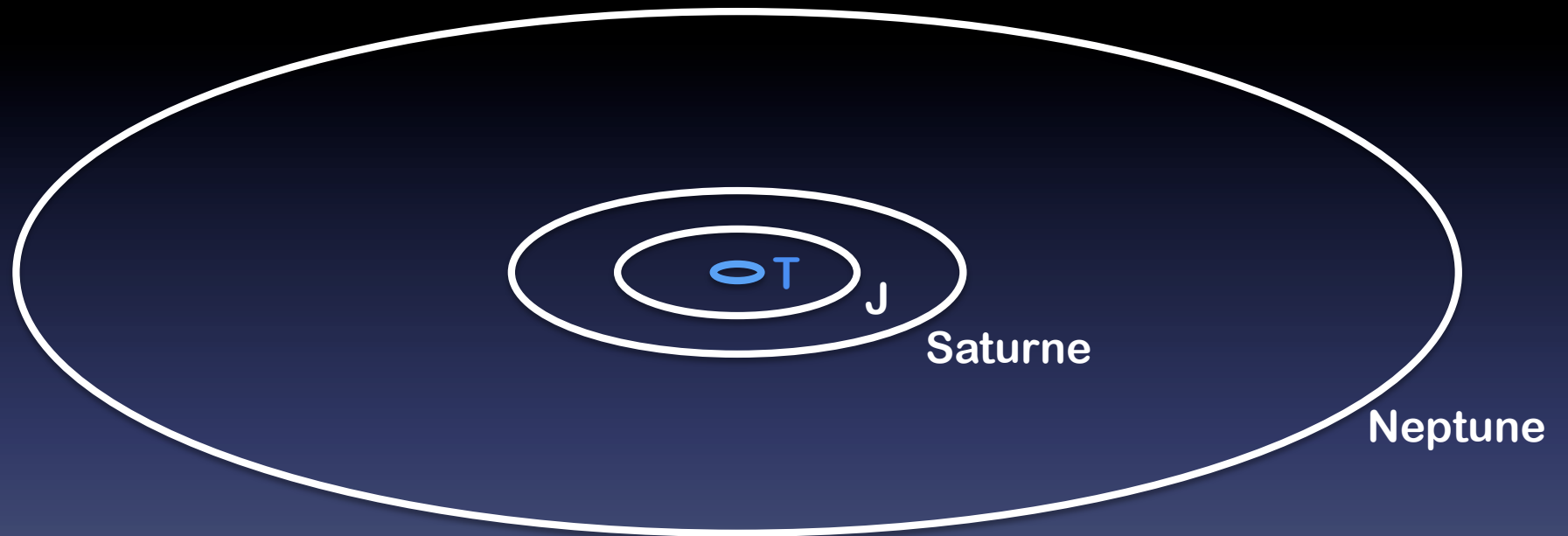
3 UA

Jupiter



30 UA





30 UA



300 UA



3000 UA



30 000 UA

Proxima
du
Centaure



300 000 UA

Comment aller plus loin ?

En utilisant le phénomène le plus brillant de l'Univers :

- **l'explosion des supernovas**

Proxima
du
Centaure



300 000 UA

Une explosion de SN 1a

~ 1 explosion par siècle, par galaxie

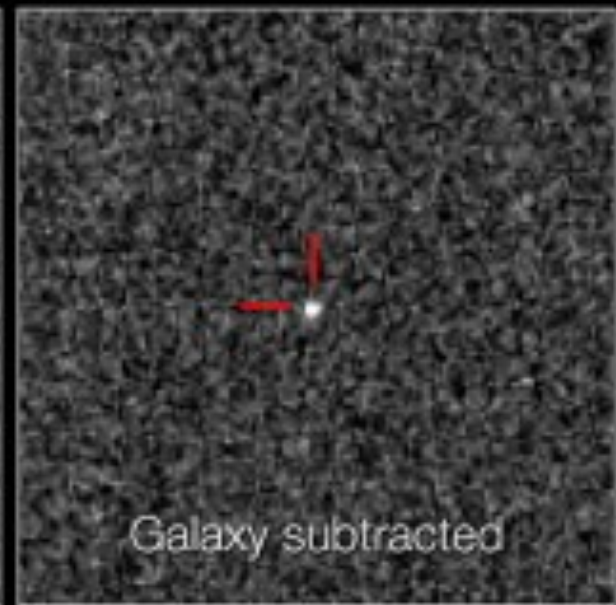
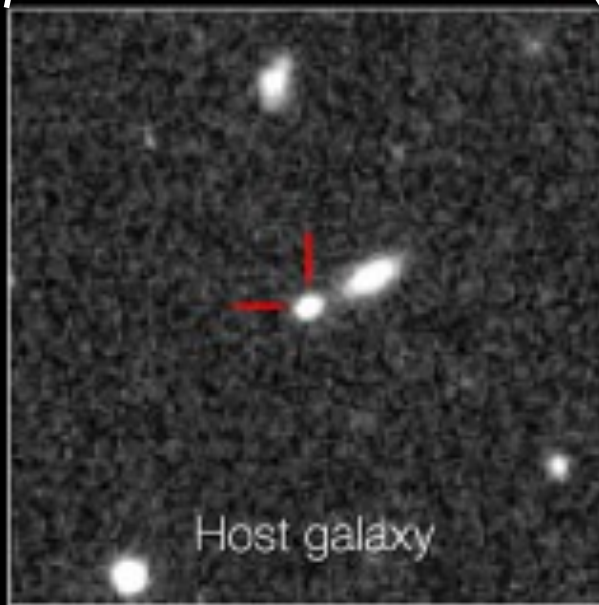


La plus distante SN 1a

Une lumière qui a voyagé 10 milliards d'années



La plus distante SN 1a



Le Large Synoptic Survey Telescope

Un télescope c'est avant tout fait pour :

capturer/concentrer de la lumière

⇒ voir des objets ténus (lointains quand on fait de la cosmologie)

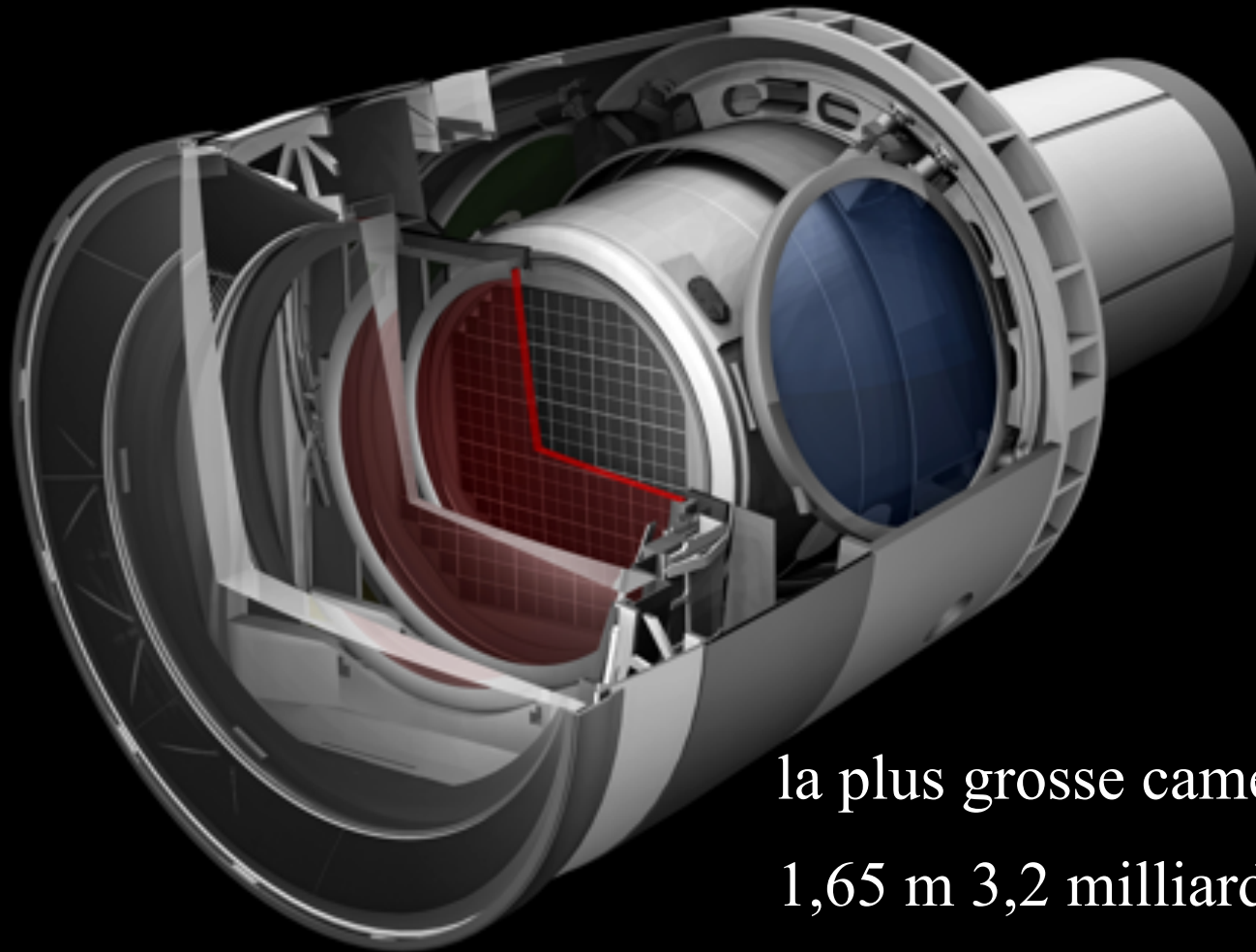
A partir de 2024,

LSST mesurera des dizaines de milliers de SN

pour étudier l'expansion de l'Univers



Le Large Synoptic Survey Telescope



la plus grosse caméra du monde :
1,65 m 3,2 milliards de pixel

Encore plus loin (dans le temps) ?

Si on veut voir plus loin, à cause de $c = 0,3 \text{ pc / an}$,
on voit des sources anciennes

loin = signal ténu

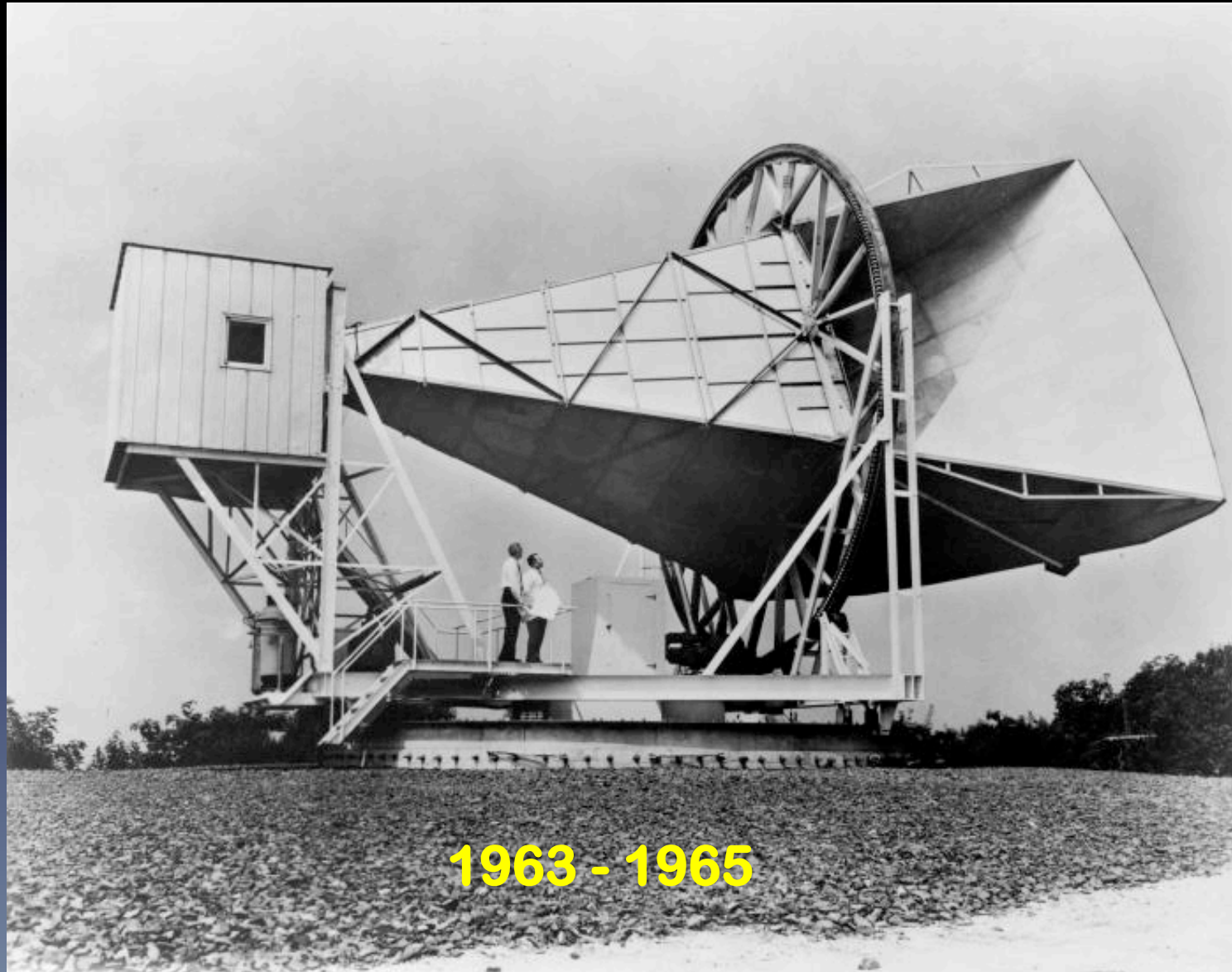
⇒ source très intense indispensable : l'Univers lui-même

loin = ancien

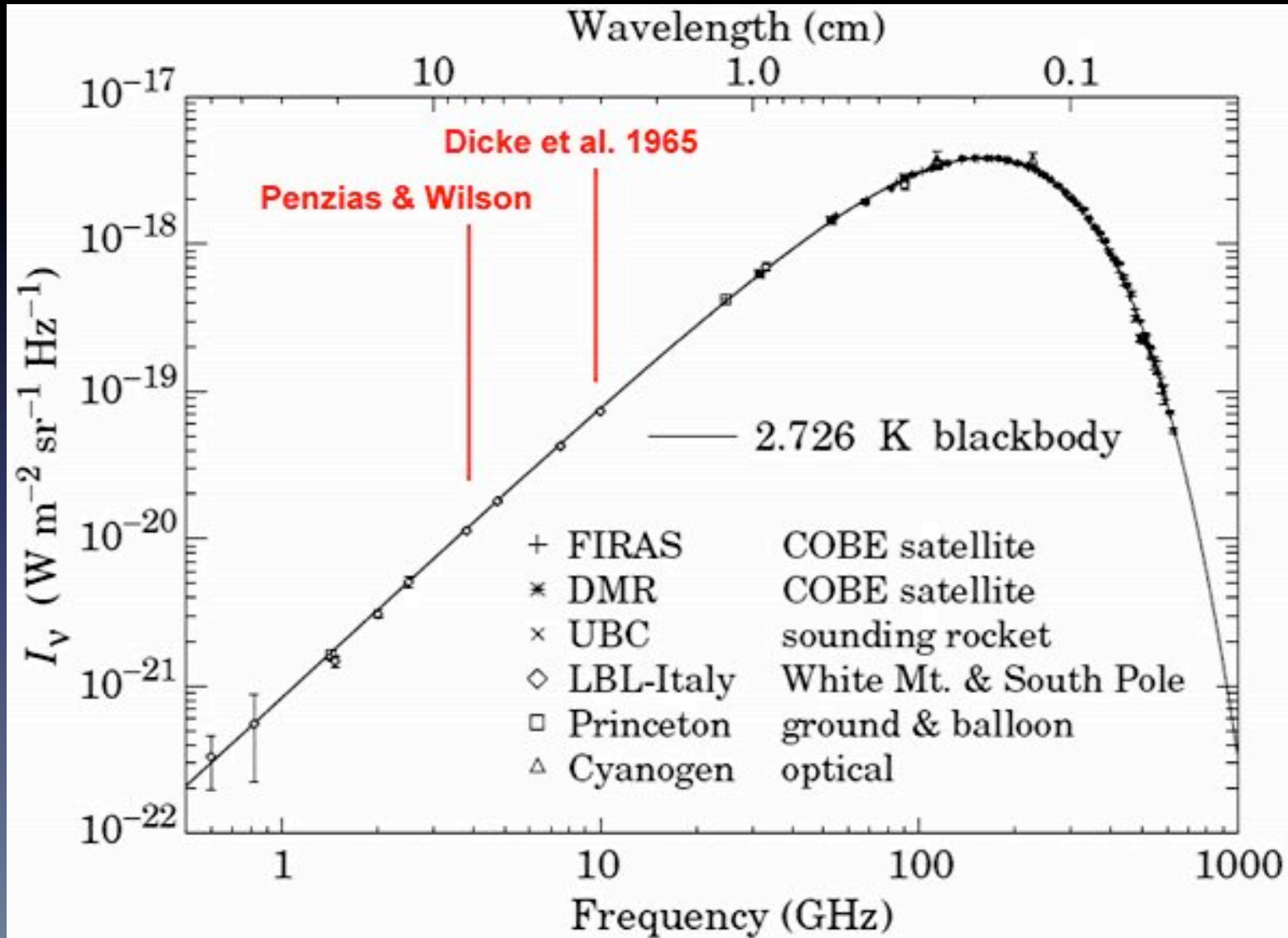
⇒ expansion de l'univers durant le trajet

⇒ signal décalé vers le rouge, puis IR, puis radio

Penzias et Wilson



COBE



Encore plus loin (dans le temps) !

Le bruit de fond cosmologique à 2,7 K

Le BdFC est le résidu d'un rayonnement émis par l'Univers lorsqu'il était dans une phase très chaude et dense

Prédit par Lemaître dans les années 1920,

Puis par Gamow, Alpher et Herman dans les années 1950.

Emis par l'univers tout entier, 380 000 ans après le Big Bang

Aujourd'hui, refroidi 1100 x par l'expansion de l'Univers.

Que doit-on comprendre ?

Cela a bien un sens de considérer l'Univers comme un objet d'étude puisque un paramètre clé, T est homogène.

Toutes les parties de l'Univers ont été connectées à une période.

Que doit-on comprendre ?

Cela a bien un sens de considérer l'Univers comme un objet d'étude puisque un paramètre clé, T est homogène.

Toutes les parties de l'Univers ont été connectées à une période.

La cosmologie n'est pas un délire ! OUF !

Conclusion

La mesure des distances dans l'Univers reste un sujet d'actualité

Les techniques employées ont des principes simples

L'expansion accélérée de l'Univers est un mystère