#### ARPENTER LE COSMOS ?





A. MAZURE 26/04/2010

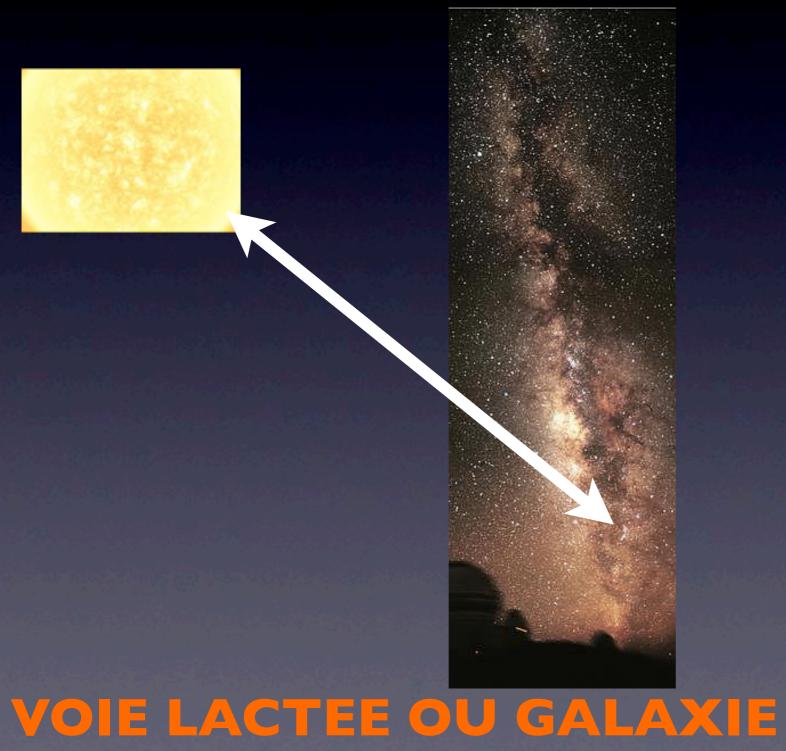
#### • POURQUOI MESURER DES DISTANCES ?

REPONDRE A UNE CURIOSITE PRESENTE DEPUIS L'AUBE DES TEMPS :

#### A QUELLES DISTANCES SONT LA LUNE, LES PLANETES, LE SOLEIL....



### DETERMINER NOTRE PLACE DANS L'UNIVERS?



## REPONDRE A LA QUESTION: LA VOIE LACTEE TOUT L'UNIVERS?



Des nébuleuses dedans ou dehors de la Voie Lactée?



Nébuleuses de Messier

La réponse seulement en 1920

#### MAIS ON NE PEUT PAS COMPTER SES PAS

NI DEPLOYER UNE CHAINE D'ARPENTEUR

NI REGARDER SON COMPTEUR KILOMETRIQUE



LES ASTRES SAUF LA LUNE ET BIENTOT MARS SONT INACCESSIBLES

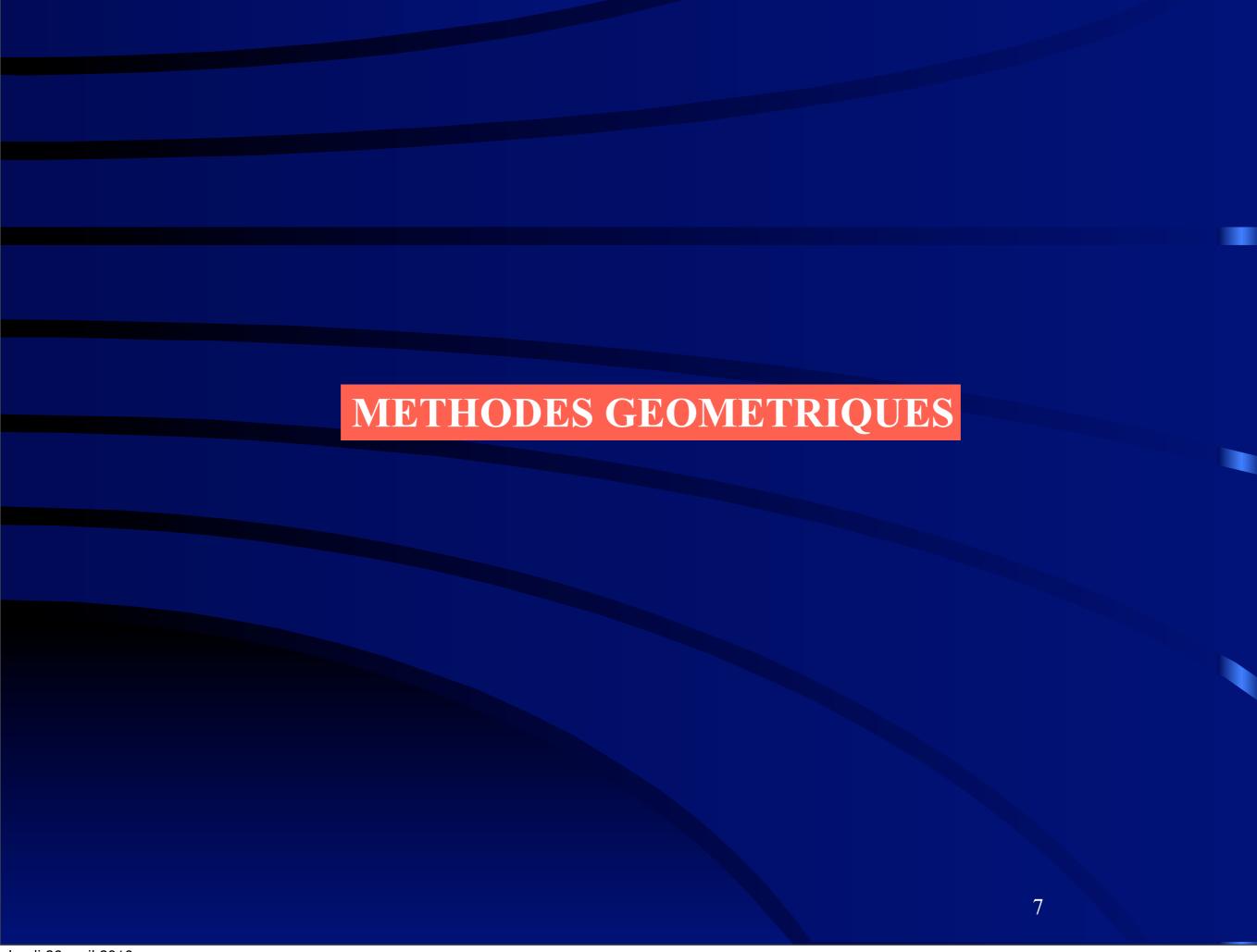
#### PLUSIEURS TECHNIQUES UTILISEES

#### METHODES GEOMETRIQUES

L'APPLICATION DE LOIS PHYSIQUES

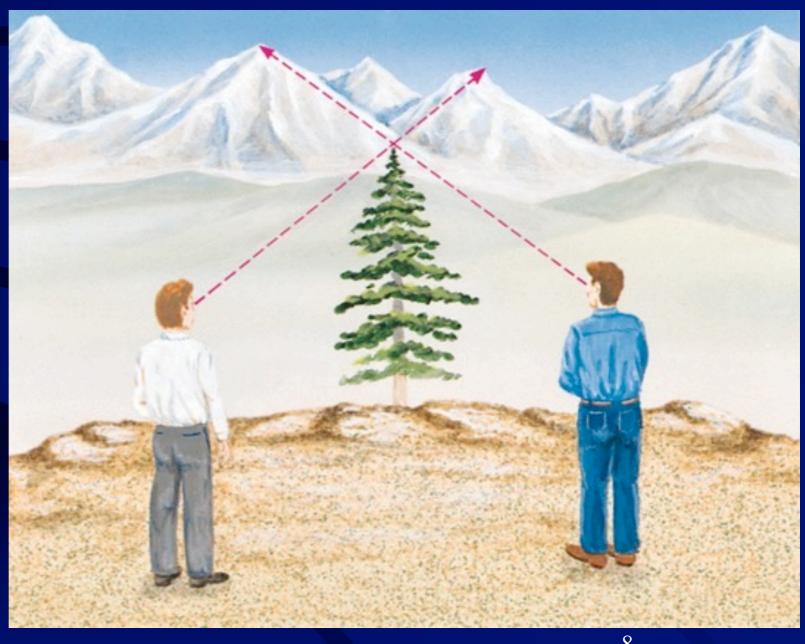
CHANDELLES STANDARD

LOI DE HUBBLE

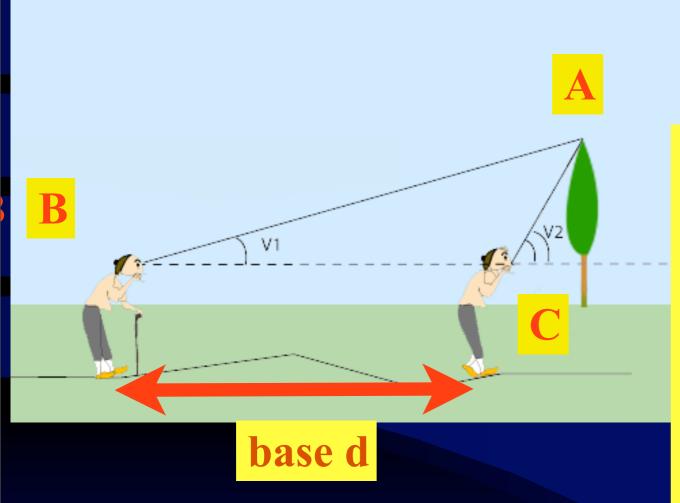


#### EFFET DE PARALLAXE

Ce mot apparaît au XVIe siècle, emprunté au grec qui signifie « déplacement contigu »



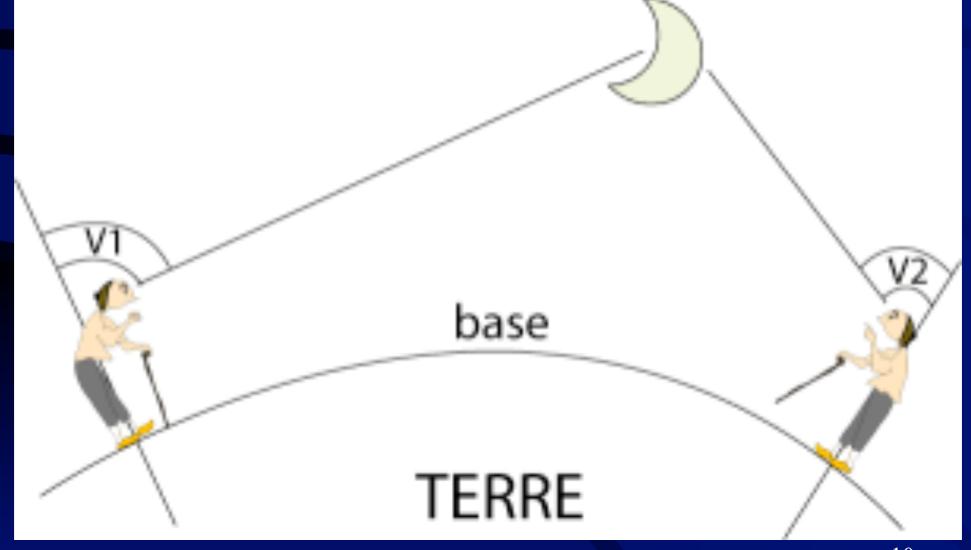
#### APPLICATION: LA TRIANGULATION SUR TERRE



- On voit un objet dans une certaine direction (visée n° l)
- Si on se déplace d'une distance appelée "base", on voit l'objet dans une direction différente (visée n°2).
- Dans le triangle "ABC", on connaît un côté et deux angles : on peut calculer les autres côtés et déterminer la distance de l'objet.

#### La parallaxe en astronomie

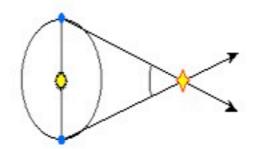
 Depuis deux lieux sur Terre, on va mesurer l'angle de vue d'un astre et, connaissant la base, calculer la distance



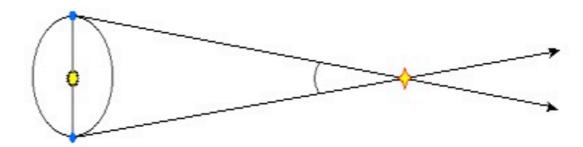
#### PROBLEMES PRATIQUES ET LIMITATIONS

- Cette méthode a ses limites: Plus l'objet est éloigné, plus les angles se rapprochent
- Il faut que la différence d'angle de visée entre les deux observateurs soit mesurable avec l'instrumentation dont les astronomes disposent.
- Jusqu'au XVIIème siècle, même la distance de la Lune n'était pas accessible par cette méthode

Closer stars have larger parallaxes:

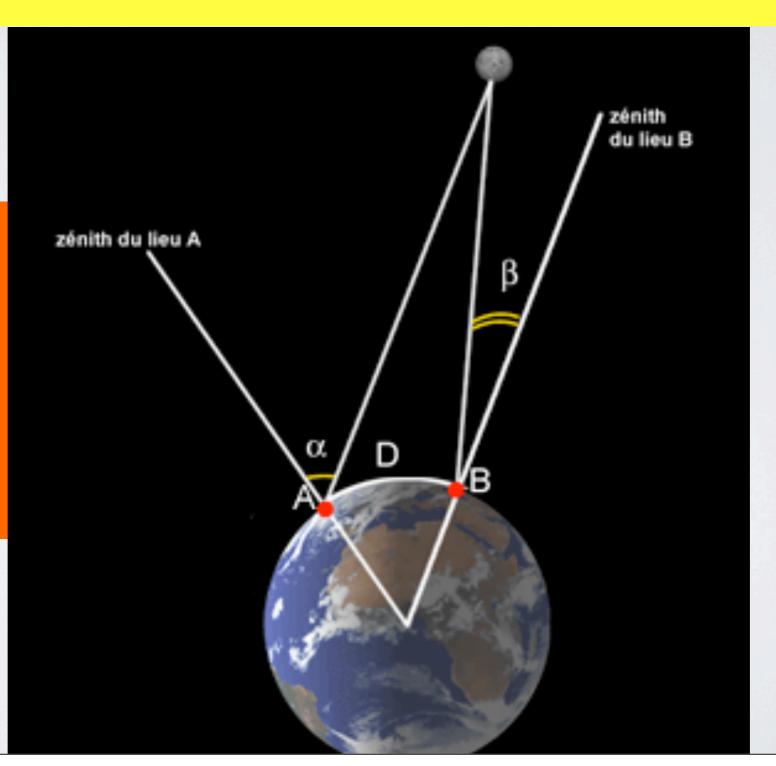


Distant stars have smaller parallaxes:



- Le principe de détermination de la distance Terre-Lune par la parallaxe
- (on connaît D et le rayon terrestre et on mesure  $\alpha$  et  $\beta$ )

ON SE
DEPLACE
SUR TERRE
ET ON FAIT
2 VISEES



#### ON PEUT AUGMENTER LA TAILLE DE LA BASE

position réelle d'une étoile proche position de l'étoile position de l'étoile vue depuis T1 vue depuis T2 d = 1/pUA = 149 000 000 km Terre en Janvier Terre en Juillet SOLEIL

On peut utiliser les différentes positions de la Terre sur son orbite (300 millions de kilomètres à 6 mois d'intervalle au lieu de I 2000 km sur Terre).

Les satellites astrométriques (Hipparcos, puis Gaia), permettent d'obtenir la distance à la Terre de beaucoup plus d'étoiles que depuis le sol



## UNE APPLICATION AU SYSTEME SOLAIRE:

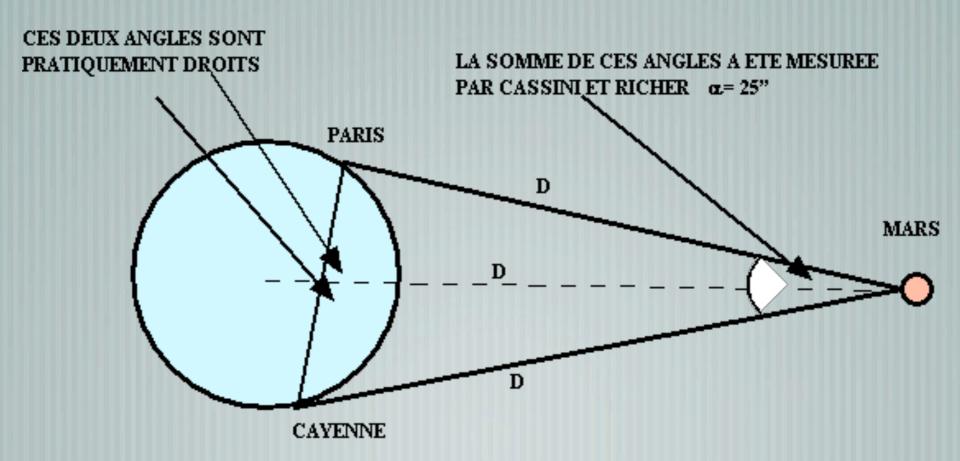
## LA DISTANCE DE MARS AU 17 ème SIECLE

Jean-Dominique Cassini, directeur de l'Observatoire de Paris eut l'idée en 1672 d'appliquer cette méthode à Mars.

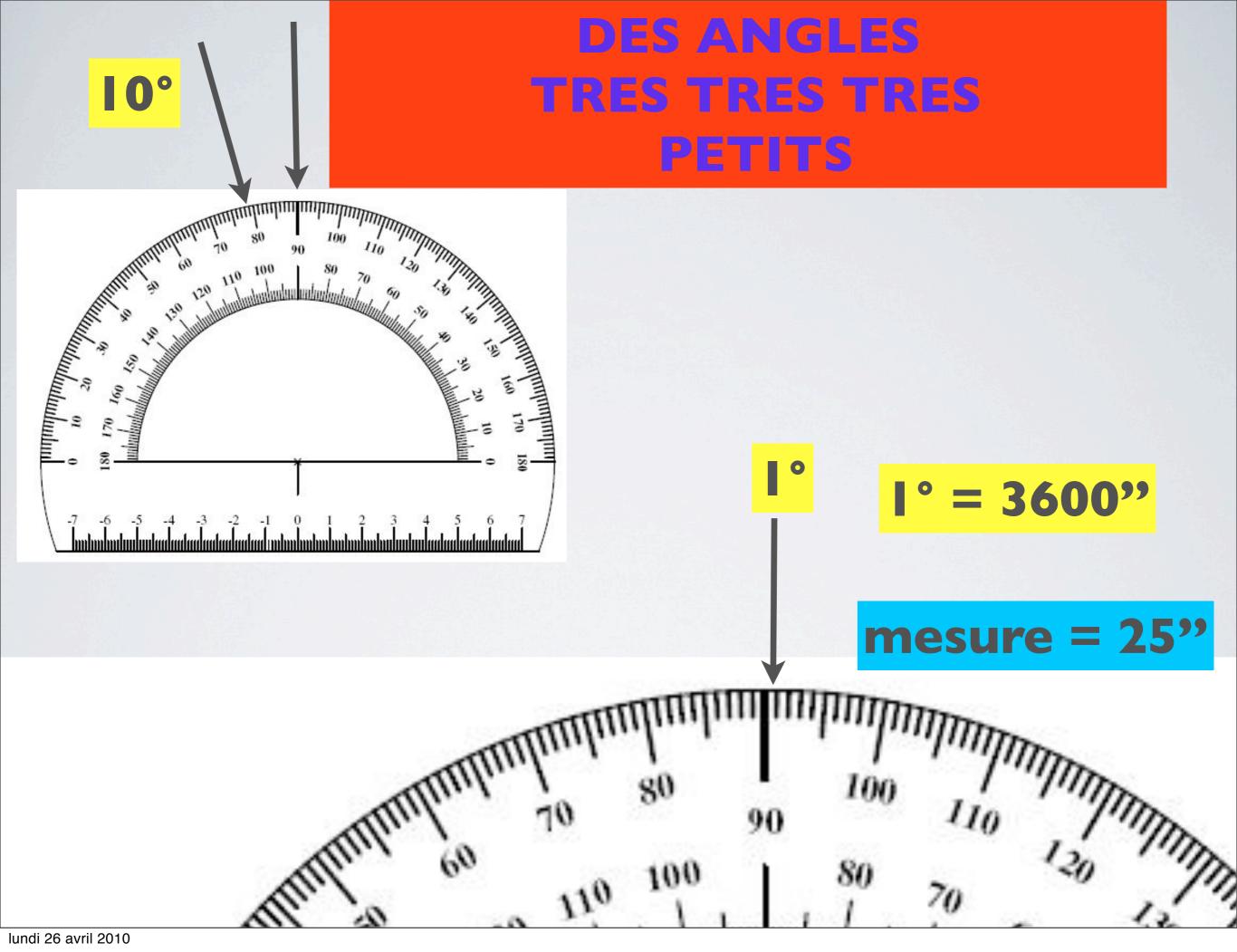
Il envoya son collègue Jean Richer à Cayenne et lui-même fit des mesures à Paris.

Au même moment exactement (ce qui n'était pas facile à l'époque car il n'y avait pas le téléphone!)

Ils visèrent chacun Mars et ils remarquèrent que la position était légèrement différente (25") vue de Paris et de Cayenne.



LA DISTANCE DE PARIS A CAYENNE ETANT CONNUE (d), ET & TRES PETIT ON EN DEDUIT LA DISTANCE (D) MARS-TERRE ET DONC LA DISTANCE TERRE-SOLEIL OU LA PARALLAXE DU SOLEIL



#### L'APPLICATION DE LOIS PHYSIQUES



#### **JOHANNES KEPLER (1571-1630)**

Utilise les données de Tycho Brahé accumulées pendant des décennies, ce qui lui permet de trouver les lois des orbites planétaires!

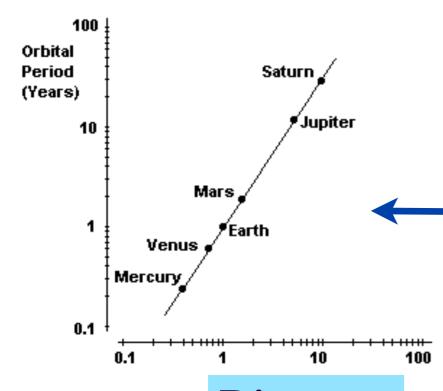
Notamment la 3ème Loi de Kepler:

T²/a³ = constante,

où T est la période de révolution de la planète
et à la distance au Soleil

Ceci allait permettre de calculer exactement en RELATIF la distance de toutes les planètes

AVEC LA DISTANCE ABSOLUE DE MARS CONNUE, ON AVAIT TOUTES LES VRAIES VALEURS



Distance au Soleil

#### METHODE MODERNE



LA DISTANCE TERRE - LUNE ET **DE PLANETES** PAR TIR LASER



#### **LA TECHNIQUE**

#### **DES**

#### **CHANDELLES STANDARD**

ON UTILISE LE RAYONNEMENT
QUE LES ASTRES NOUS
ENVOIENT

## MESURER LA DISTANCE D'UNE SOURCE DONNEE



ON RECOIT

1) 250 watts

**PUIS** 

2) IO watts

COMME ECLAT APPARENT

DONC LA 2EME FOIS L'AMPOULE EST 5 FOIS PLUS LOIN QUE LA IERE FOIS



## MESURER LA DISTANCE D'UNE SOURCE DONNEE



ON RECOIT

1) 250 watts

**PUIS** 

2) IO watts

COMME ECLAT
APPARENT

1000w 1000w

ON CONNAIT
LA LOI DE VARIATION
DE L'ECLAT AVEC
LA DISTANCE

I/R<sup>2</sup>

DONC LA 2EME FOIS L'AMPOULE EST 5 FOIS PLUS LOIN QUE LA IERE FOIS



#### SI ON CONNAIT L'ECLAT ABSOLU, ON A LES DISTANCES ABSOLUES

IL FAUT DONC:

I) MESURER L'ECLAT APPARENT (250/10 watts....)

2) AVOIR UNE LOI QUI DONNE LES DISTANCES RELATIVES

3) AVOIR L'ECLAT ABSOLU (1000 watts)

càd

**AVOIR UNE CHANDELLE STANDARD** 



Une «chandelle standard»

I) Doit avoir les mêmes propriétés partout dans l'Univers

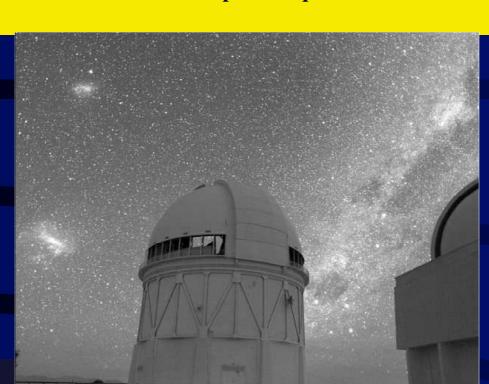
2) Etre très lumineuse pour sonder les grandes distances

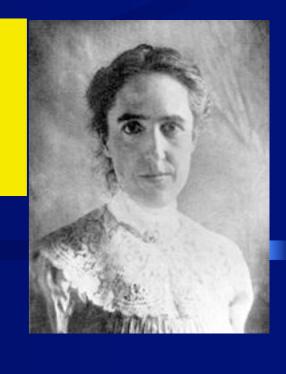
#### UN EXEMPLE:

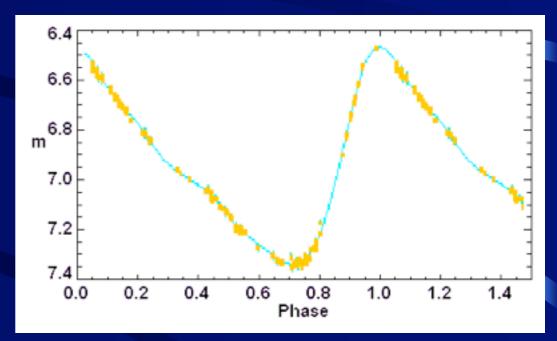
LES CEPHEIDES

En 1912, l'astronome américaine Henrietta Leavitt étudiait les Nuages de Magellan, les deux nébuleuses qui dominent le ciel austral.

Elle découvrit alors que certaines de ces étoiles, nommées céphéides, présentaient des variations d'éclat périodiques.

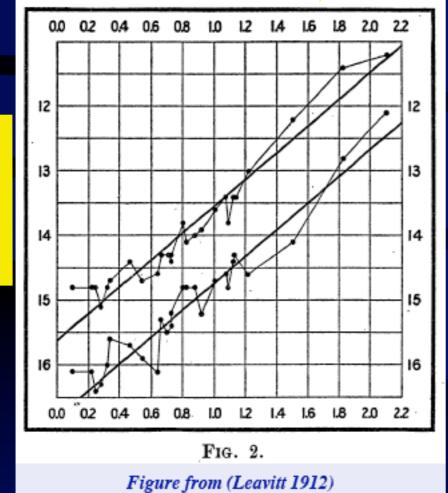






Courbe de lumière de l'étoile delta de la constellation de Céphée :l'éclat apparent varie régulièrement en fonction du temps.

## De plus: En observant plusieurs de ces étoiles, elle s'aperçut que cet éclat était d'autant plus grand que la période était longue



**PERIODE** 

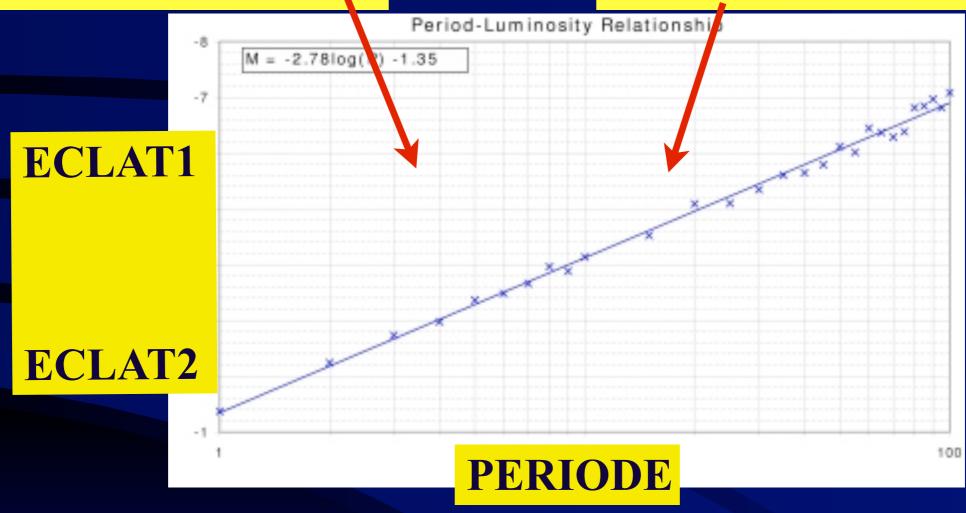
Comme toutes ces étoiles appartenaient à l'un des Nuages de Magellan, elles se trouvaient toutes à la même distance de la Terre

Cette propriété n'était pas un effet de distance mais bien une caractéristique physique réelle des étoiles.

#### UTILISATION

LOI DES CEPHEIDES
DANS LA GALAXIE 1
A LA DISTANCE D1

LOI DES CEPHEIDES
DANS GALAXIE 2
A LA DISTANCE D2

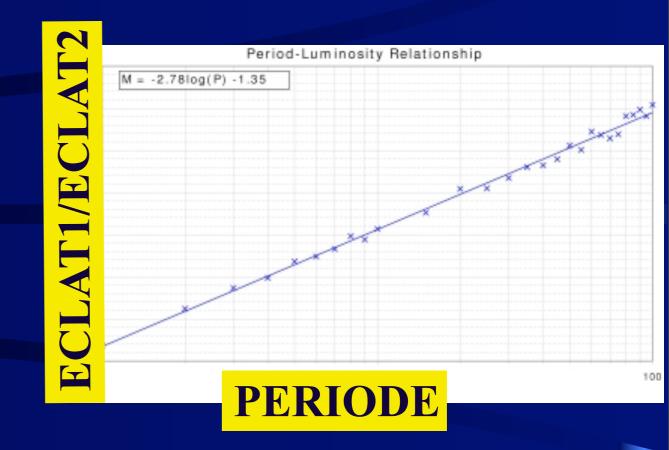


LES CEPHEIDES SONT LES MEMES PARTOUT DANS L'UNIVERS

LES ECLATS
APPARENTS
ECLAT1 ET ECLAT2

DEPENDENT DES
RAPPORTS DES
DISTANCES D1 ET D2

MAIS ON N'A QUE LA VALEUR RELATIVE DE CES DISTANCES



## IL FAUT DONC LA AUSSI CALIBRER EN AYANT LA VRAIE VALEUR D'UNE DISTANCE D'UNE OU PLUSIEURS CEPHEIDES

#### ET SHAPLEY EST ARRIVÉ.....

Harlow Shapley en 1917 mit au point une méthode s'inspirant des parallaxes qui lui permet de déterminer la distance de Céphéides.

Il put ainsi calibrer la courbe relative en courbe absolue en fonction de la période.



On put ainsi calculer la distance les nuages de Magellan : ~ 150.000 AL approx puis la distance à Andromède: 2MAL.

#### L'HISTOIRE CONTINUE....

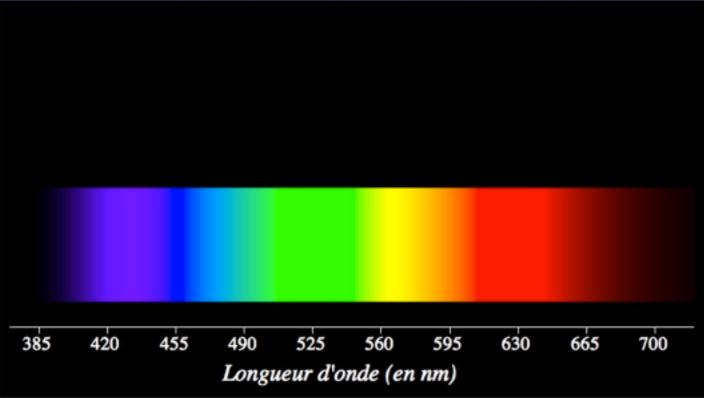
## MAIS FAISONS UN PETIT DETOUR VERS LA LUMIERE ET SON SPECTRE

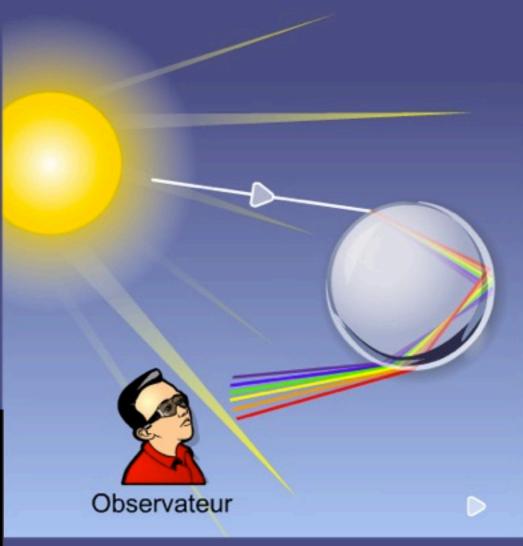
#### SPECTRE DU SOLEIL



Arc-en-ciel au-dessus de Reims

L'arc-en-ciel est une manifestation de la décomposition de la lumière du Soleil en radiations de longueurs d'onde différentes, caractérisant chacune une couleur : le spectre de la lumière blanche apparaît ainsi naturellement.

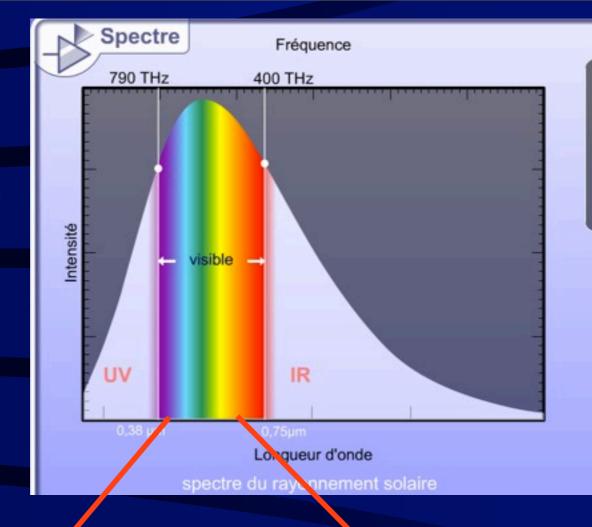




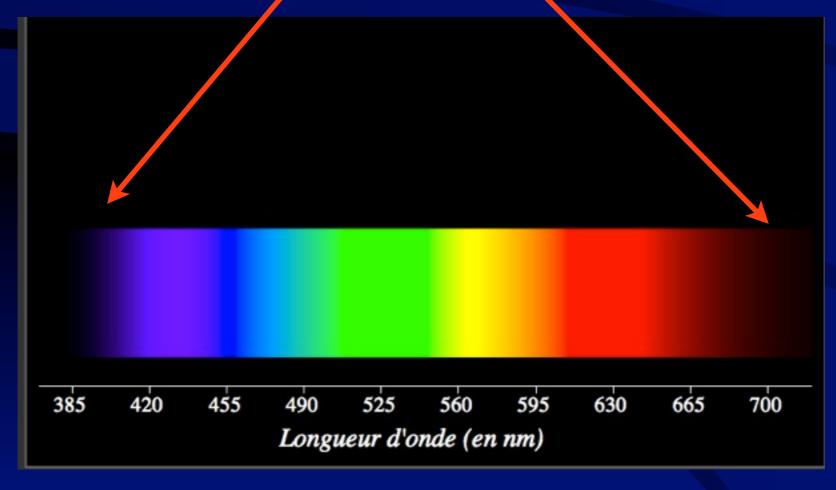
## PLUSIEURS COULEURS OU LONGUEURS D'ONDE

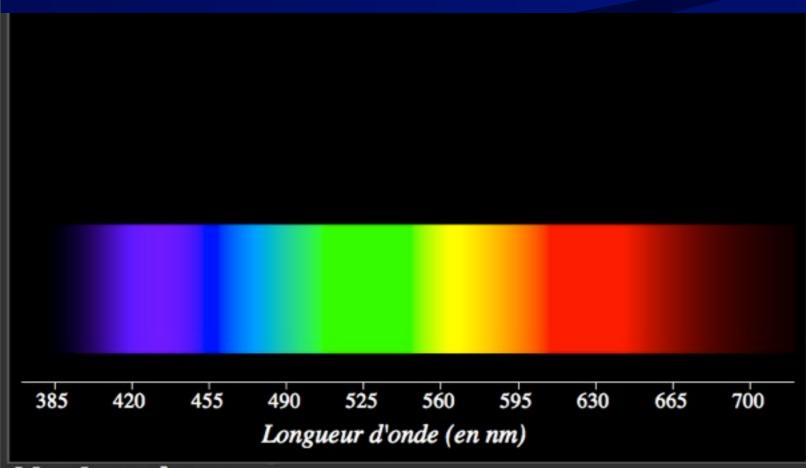
30

### SPECTRE DU SOLEIL

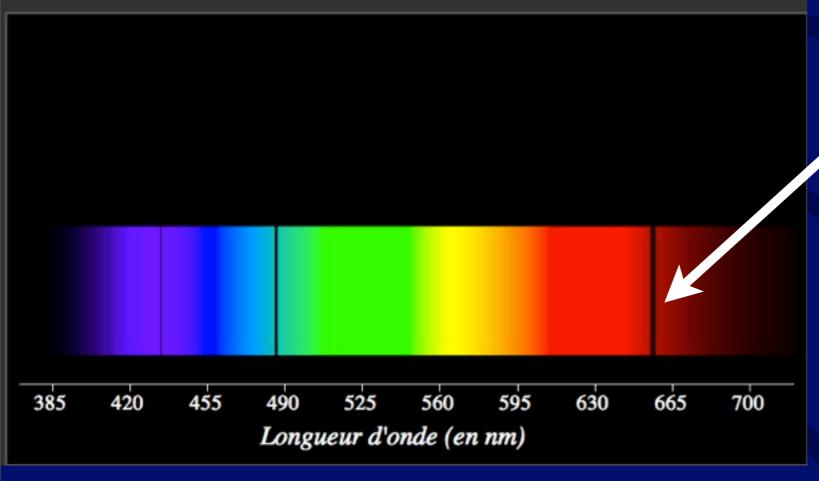


Par exemple, de par les caractéristiques de l'œil, la lumière visible s'étend sur une plage de longueurs d'onde allant de 0,38 μm (violet) à 0,75 μm (rouge). Le rayonnement solaire s'étend sur cette plage de longueur d'ondes mais aussi en deçà (ultraviolet) et au-delà (infra-rouge).





#### Hydrogène



# EN FAIT ON VOIT AUSSI DES ZONES SOMBRES A DES LONGUEURS D'ONDE BIEN DEFINIES:

RAIES
D'ABSORPTION

#### Hydrogène Longueur d'onde (en nm) Calcium Longueur d'onde (en nm)

## RAIES D'ABSORPTION AUX POSITIONS BIEN DEFINIES EN LABORATOIRE

DUES A LA PRESENCE D'ATOMES COMME

L'HYDROGENE

OU
-LE CALCIUM...



#### SLIPHER MONTRA DANS LES ANNEES 1910

EN OBSERVANT LE SPECTRE DE CERTAINES NEBULEUSES DE MESSIER

QUE LES RAIES DE TOUS LES ELEMENTS
CHIMIQUES

ETAIENT
DECALEES VERS LE ROUGE

PAR RAPPORT A LEUR POSITION
DETERMINEE
EN LABORATOIRE!!!

### LA LUMIERE C'EST UNE ONDE (ELECTROMAGNETIQUE)!

LE SON C'EST UNE ONDE (SONORE)!

SI LA SOURCE DU SON A UN MOUVEMENT: LA FREQUENCE OU LA LONGUEUR D'ONDE SUBIT UN DECALAGE!

### LA LUMIERE C'EST UNE ONDE (ELECTROMAGNETIQUE)!



LE SON C'EST UNE ONDE (SONORE)!

SI LA SOURCE DU SON A UN MOUVEMENT: LA FREQUENCE OU LA LONGUEUR D'ONDE SUBIT UN DECALAGE!

#### **IDEM POUR LA LUMIERE !!!**

C'EST L'EFFET DOPPLER

ET L'EFFET DOPPLER

NOUS DIT QUE CE DECALAGE

MESURE LA VITESSE

**DE LA SOURCE** 

EN MOUVEMENT!!!

VERS LE ROUGE (ou son plus grave): ELOIGNEMENT DE LA SOURCE

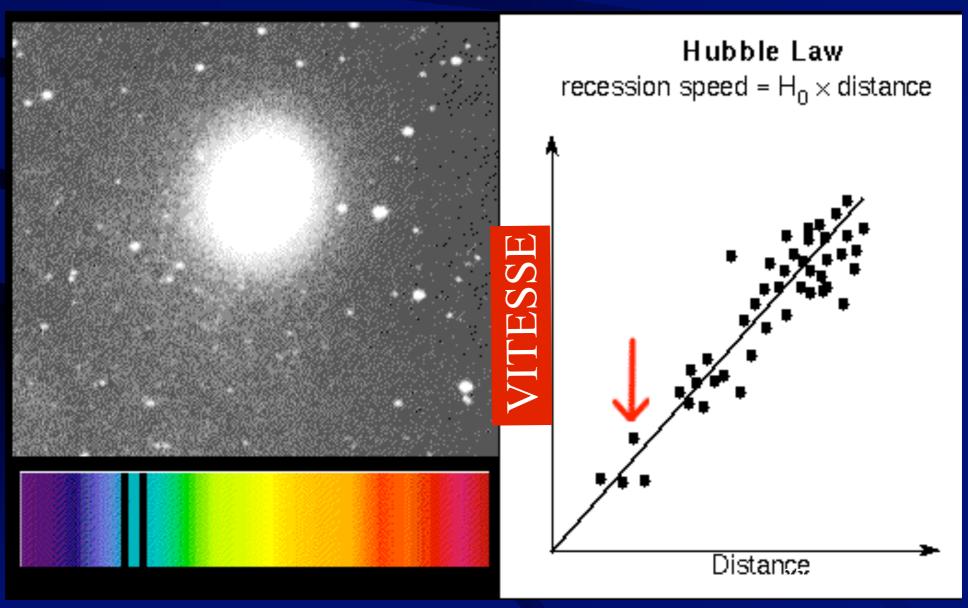
VERS LE BLEU (ou son plus aigu): RAPPROCHEMENT DE LA SOURCE

DONC LES NEBULEUSES OBSERVEES S'ELOIGNENT DE NOUS!

#### MAIS L'HISTOIRE CONTINUE!!

## HUBBLE ET HUMASON DANS LES ANNEES 30 EURENT A LA FOIS LA VITESSE PAR LE DECALAGE DE LEUR SPECTRE ET LA DISTANCE ABSOLUE DES NEBULEUSES EN UTILISANT LA METHODE DES CEPHEIDES





#### C 'ETAIT UNE REVOLUTION!!!!

#### LES DECALAGES ETANT VERS LE ROUGE

LES GALAXIES S'ELOIGNENT

C'EST L'EXPANSION DE L'UNIVERS!!!

EN MESURANT LE DECALAGE

DU SPECTRE DE GALAXIES

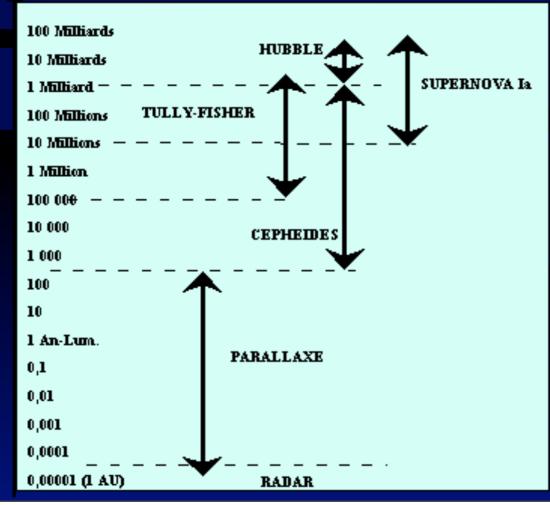
ONALEUR DISTANCE!!!!

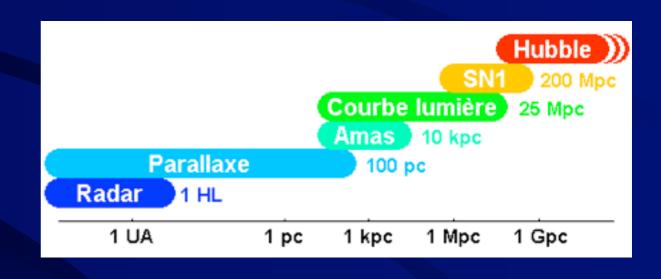
## ON ALLAIT POUVOIR CONSTRUIRE L'ECHELLE DES DISTANCES

#### MAIS CHAQUE METHODE A SA LIMITATION PROPRE

IL FAUT ESCALADER L'ECHELLE DES DISTANCES DE MARCHE EN MARCHE

#### ETALON PRIMAIRE / SECONDAIRE....





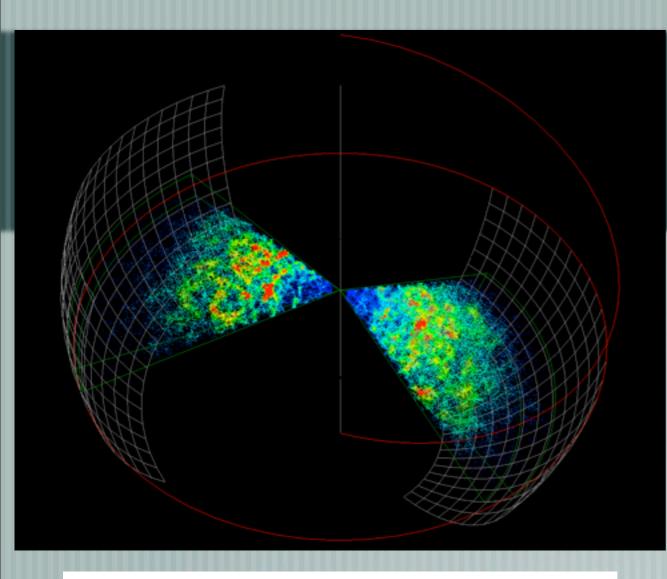
#### TACHE DIFFICILE

## OBJETS DONT L'ECLAT APPARENT DECROIT AVEC LA DISTANCE => GRANDS TELESCOPES/ DES SPECTROGRAPHES PERFORMANTS

MESURER AVEC PRECISION: OBTENIR DE BONNES CALIBRATIONS!!

LES ERREURS SUR UN DES «ETALONS» MET TOUTE L'ECHELLE EN PERIL

••••



# DES CENTAINES DE MILLIERS ET BIENTOT DES MILLIONS DE GALAXIES CARTOGRAPHIEES

# ON PEUT ENFIN ARPENTER LE COSMOS

