

Apports de la photométrie à l'astronomie et à l'astrophysique

Thierry Lépine
thierry.lepine@institutoptique.fr
Institut d'Optique
Laboratoire Hubert Curien (UMR 5516)

Plan

- L'échelle des magnitudes
- L'arpentage de l'univers
 - Les céphéides
 - Les supernovas de type Ia
- La détection des planètes extrasolaires

L'échelle des magnitudes

- La **magnitude apparente** (Pogson, 1856) est une mesure (log) de l'éclairement dû à un astre, vu depuis la Terre. Elle se mesure dans une bande spectrale donnée (souvent le visible)

$$m_V = -2.5 \log_{10}(E) + C$$

ou

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log_{10} \left(\frac{E_1}{E_2} \right)$$

L'échelle des magnitudes

- Soleil = -26.7
- Pleine Lune = -12.6
- Vénus = -4.6
- Sirius = -1.5
- **Véga = 0 (convention)**
- Limite à l'œil nu = 6
- Magnitude limite du HST = 31

L'échelle des magnitudes

- La magnitude apparente dépend bien-sûr de la distance. Mais sa mesure ne suffit pas pour déduire la distance
- On définit alors la **magnitude absolue**, intrinsèque à l'objet, par la magnitude apparente qu'aurait cet astre s'il était placé à une distance de référence fixée à 10 parsecs (environ 32,6 années-lumière) et en l'absence d'extinction interstellaire
- Soleil : $M_v = 4.83$

L'échelle des magnitudes

- La comparaison de la magnitude apparente avec la magnitude absolue, en négligeant l'absorption (!), permet de connaître la distance D (en parsec) de l'objet :

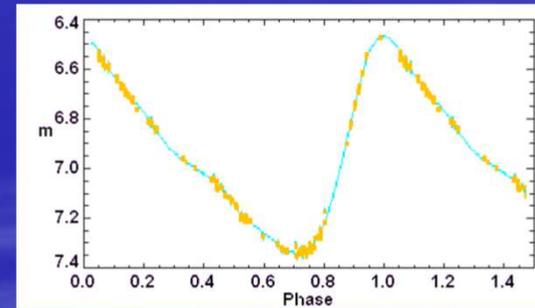
$$m - M = 5 \log_{10} (D) - 5$$

- m est mesurée
- M est déduit des modèles (stellaires, cosmologiques)
- D'où la distance D (en parsec)

Mesures des distances : les céphéides



- Les céphéides sont des étoiles variables pulsantes : elles se dilatent et se contractent périodiquement, donc leur luminance varie



- En 1912, **Henrietta Leavitt** étudiait celles des nuages de Magellan (donc toutes à la même distance de la Terre). Elle remarqua que, plus la période était longue, plus la magnitude apparente était faible (relation période - luminosité)

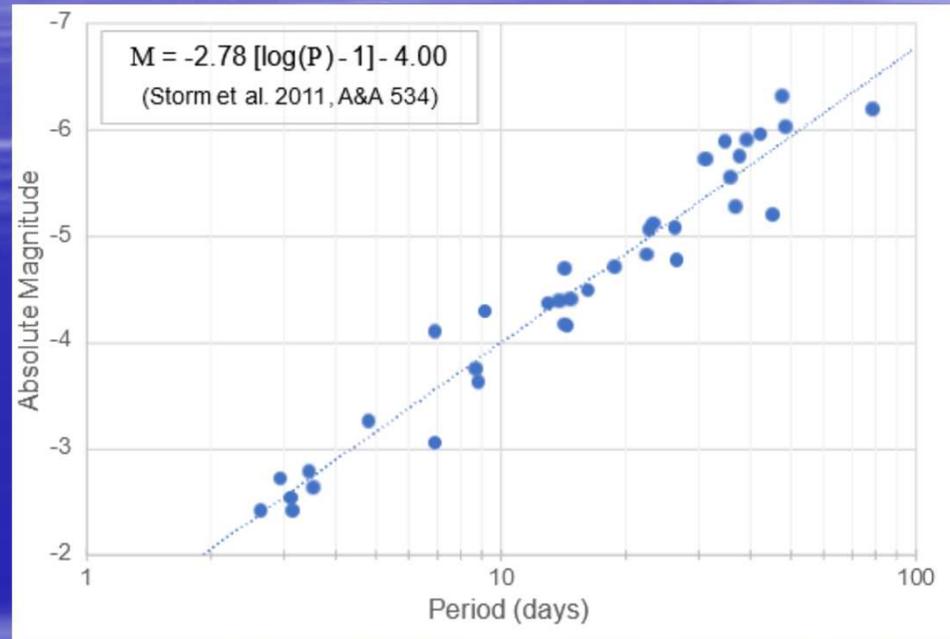
Mesures des distances : les céphéides

- Il restait un problème à résoudre :
mesurer la magnitude absolue



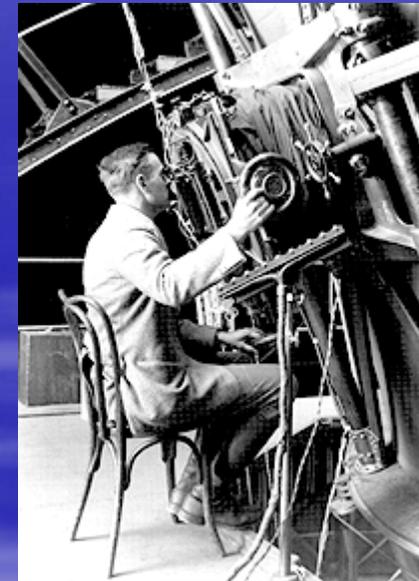
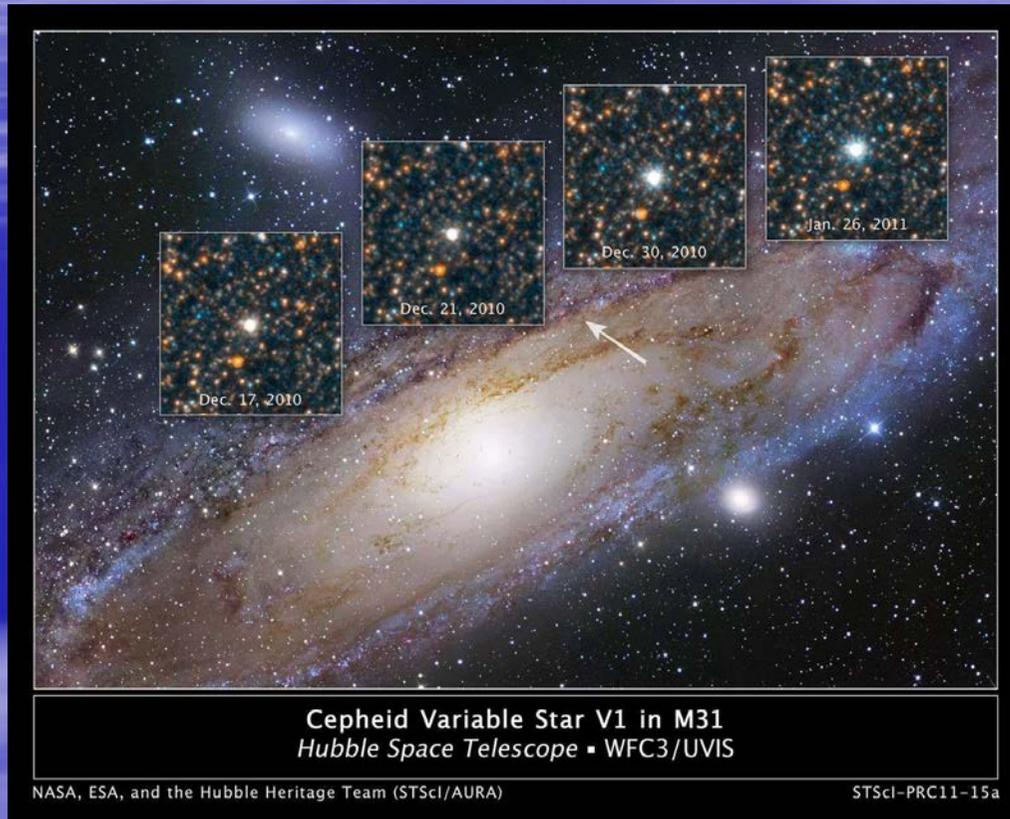
- Il sera résolue par **Harlow Shapley** en 1917, qui parviendra à mesurer la distance d'une céphéide par une méthode qui combinait l'astrométrie et la spectroscopie par effet Doppler.

Mesures des distances : les céphéides



- Grâce à ces travaux, les céphéides devenaient des étalons de distance, des « **chandelles standard** »

Mesures des distances : les céphéides

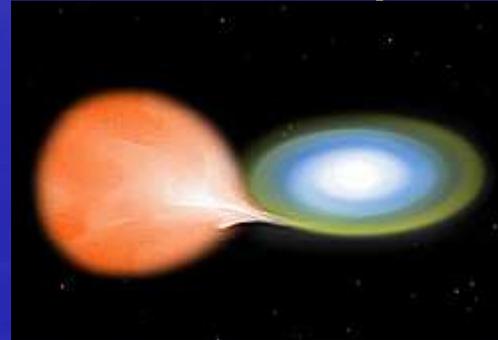


- Première mesure de la distance de la grande « nébuleuse » d'Andromède par **Edwin Hubble** en 1929

Colloque "la photométrie
aujourd'hui", 20 mai 2022

Mesures des distances : les supernovas de type Ia

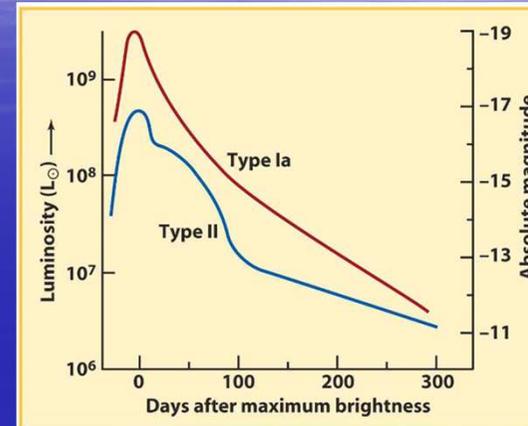
- Ce sont des étoiles doubles contenant au moins une naine blanche, l'autre étoile pouvant être de n'importe quel type



- La masse d'une naine blanche est limitée à 1.4 masse solaire (limite de Chandrasekhar)
- Au-delà de cette masse, il y a un emballement des réactions de fusions qui conduisent à l'explosion de l'étoile

Mesures des distances : les SNIa

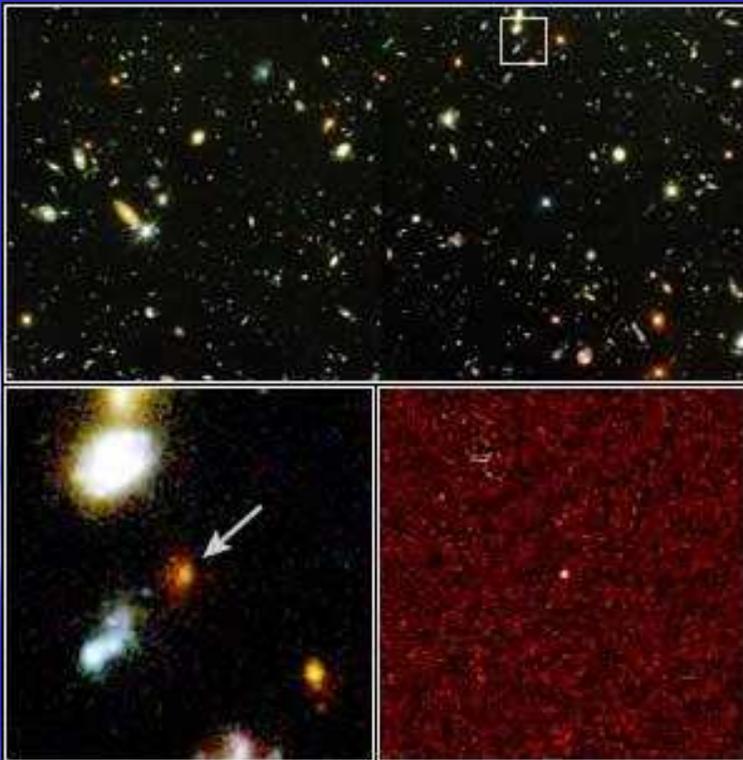
- Les supernovae de type Ia ont une courbe de lumière caractéristique



- Comme leur processus d'amorce est bien défini, la magnitude atteinte et la courbe de décroissance de leur luminosité sont caractéristiques de ce type de supernova
- Elles sont donc utilisées comme « **chandelles standards** » pour déterminer les distances extragalactiques

Mesures des distances : les SNIa

- A partir de 1997, deux équipes concurrentes étudient plus de 5000 galaxies, à la recherche de SNIa.



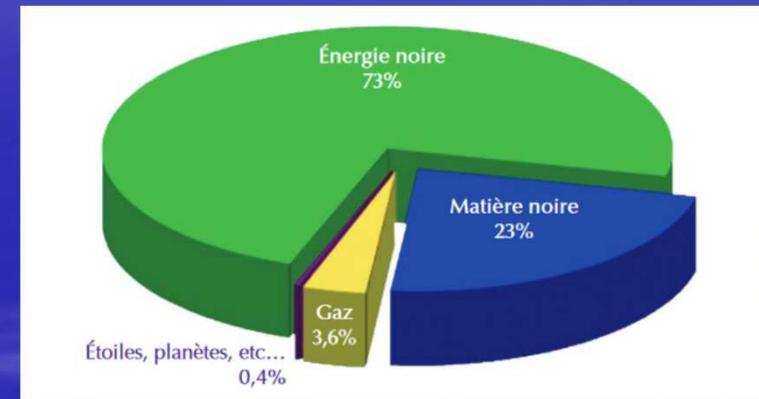
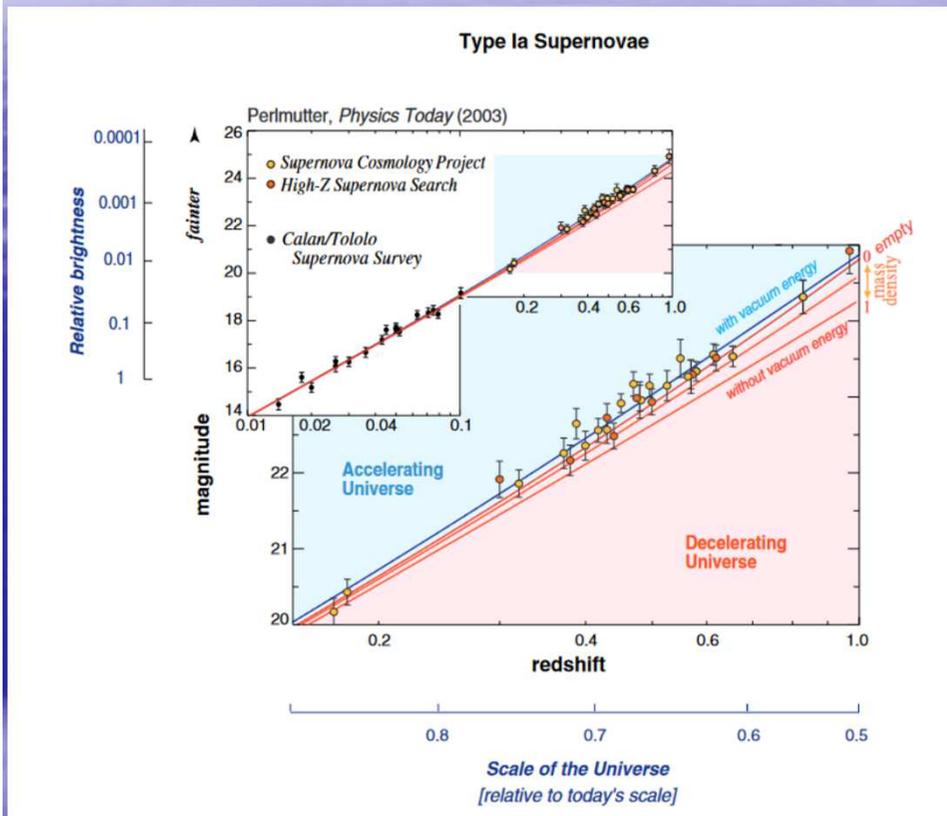
Crédit : A. Riess/STScI/NASA

poque "la photométrie
aujourd'hui", 20 mai 2022

Mesures des distances : les SNIa

- La magnitude absolue est connue. La mesure de la magnitude apparente permet de déduire la distance de la source
- Par ailleurs, la mesure du « **redshift** » z permet aussi de déduire la distance, en supposant un modèle d'univers donné
- Et là, gros problème !!! Les deux diffèrent

Mesures des distances : les SNIa



- Les supernovas lointaines se sont révélées moins lumineuses, et donc plus éloignées, que ce qui est attendu dans un univers dominé par la seule force de la gravité. L'expansion de l'Univers, au lieu de ralentir, s'accélère.

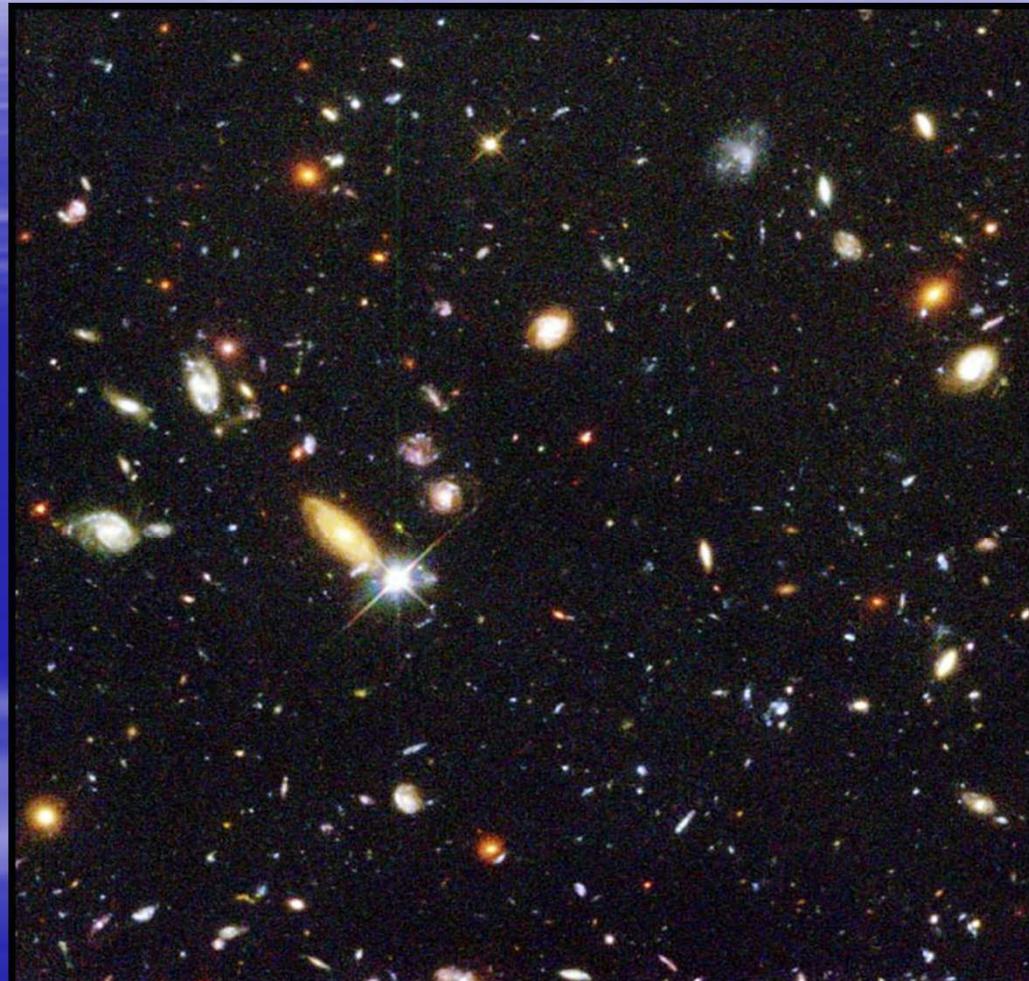
Colloque "la photométrie
aujourd'hui", 20 mai 2022

Les exoplanètes



Colloque "la photométrie
aujourd'hui", 20 mai 2022

Les exoplanètes



Hubble Deep Field HST · WFPC2
PRC96-01a · ST ScI OPO · January 15, 1996 · R. Williams (ST ScI), NASA

Colloque "la photométrie
aujourd'hui", 20 mai 2022

Un problème ancien

- "En effet, il y a un nombre illimité de mondes, certains semblables au notre, certains différents" (Epicure, lettre à Hérodote, 300 BC)
- Répondre à la question fondamentale :
 - « *Sommes nous seuls dans l'univers ?* »

Comment les étudier ?

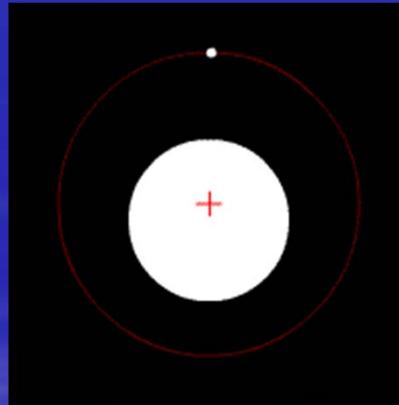
Approche pas à pas :

- Existe-t-il des planètes géantes ?
- Existe-t-il des planètes terrestres ?
- Existe-t-il des planètes habitables ?
- Existe-t-il des planètes habitées ?
- Existe-t-il des civilisations évoluées ?

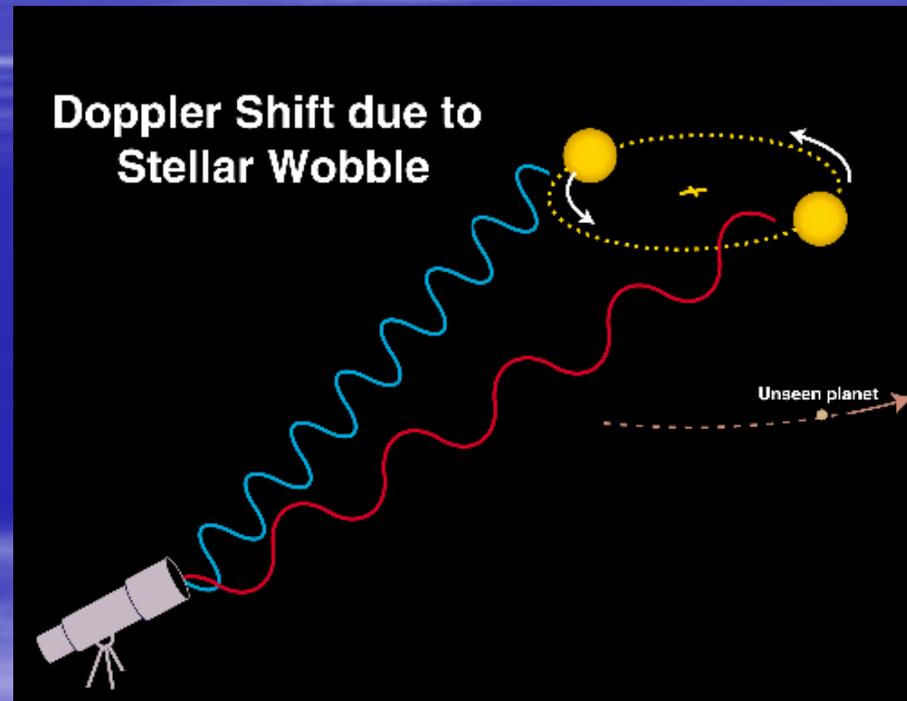
Observation directe : défis

- **Le flux à détecter est très faible**
~ 10 photon $m^{-2} s^{-1}$ dans toute la bande 6-20 μm
- **La séparation angulaire est très faible**
0,1 arcsec pour le couple Terre-Soleil à 10 pc
1 arsec ? : ~ un petit pois vu à 1 km
- **L'écart de luminosité étoile/planète est considérable**
7 10^6 à 10 μm

Méthodes indirectes



Vitesse radiale

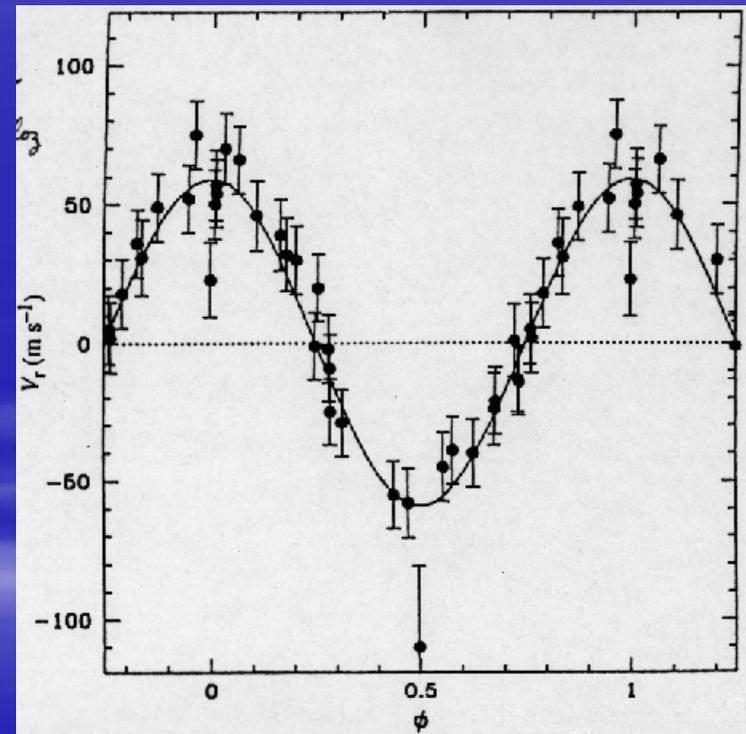


Vitesse radiale : 51 péglise

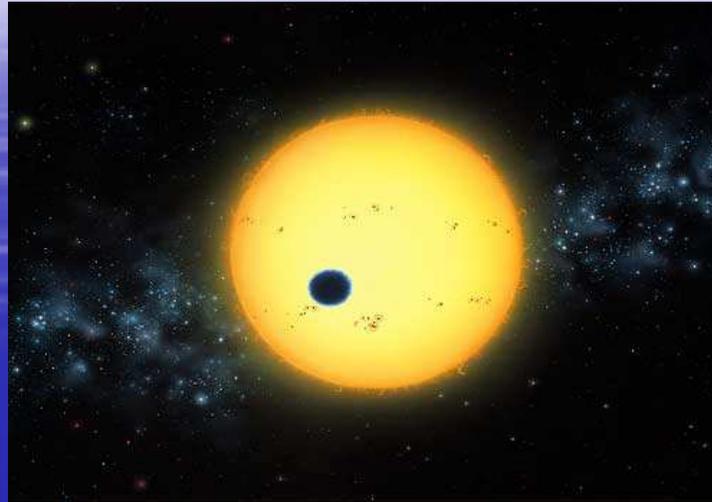
51 Peg

Mayor, Queloz (1995)

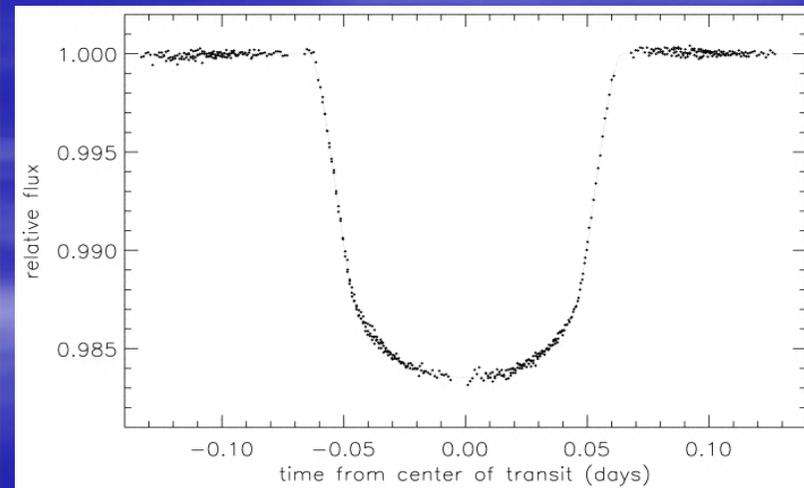
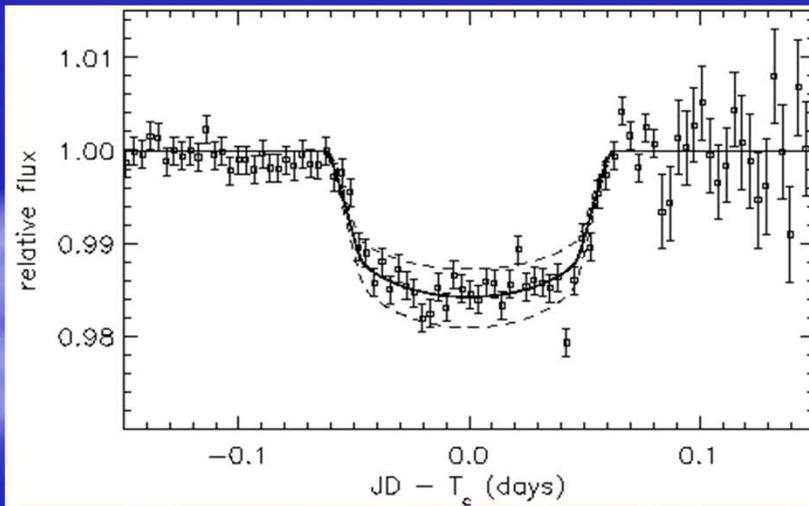
$P = 4,2 \text{ j}$
 $M \sin i = 0.47 M_{\text{jup}}$
 $R_p = 1,2-1,4 R_{\text{jup}}$



Transit : HD 209458



$P = 3,5 \text{ j}$
 $M \sin i = 0,7 M_{\text{jup}}$
 $R_p = 1,4 R_{\text{jup}}$



Transit : quelques courbes de lumière produites par Corot

