

# Planètes Extra-solaires



Roger Ferlet  
Institut d'Astrophysique de Paris  
CNRS/UPMC

Alexandria  
26 mars 2006



# La pluralité des mondes : une idée très ancienne



*Les mondes sont en nombre infini, les uns semblables à celui-ci, les autres dissemblables; (...) il n'y a nulle part d'obstacle à cette infinité; (...) il n'y a aucune nécessité à ce qu'ils aient la même forme.*

Epicure (341 – 270 av. JC)

Lettre à Hérodoté



# La pluralité des mondes : une idée qui perdure



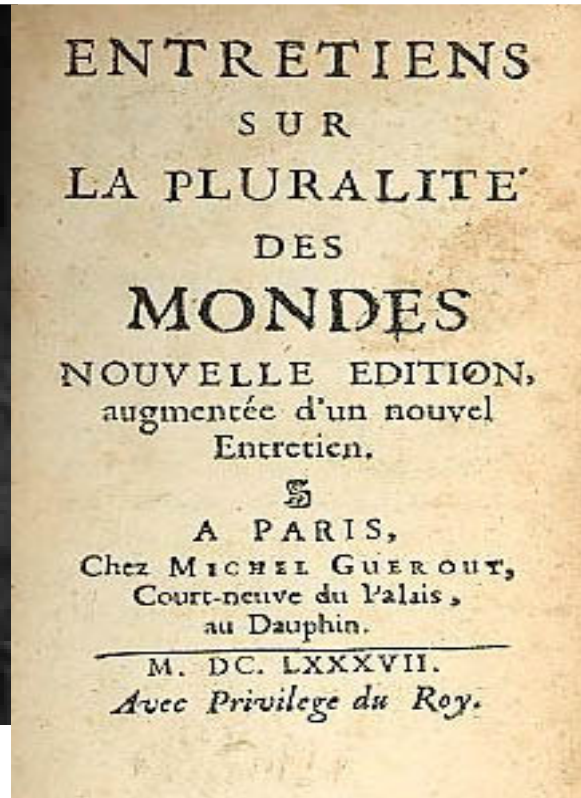
## Giordano Bruno

1584 :

*De l'infini, l'univers et les mondes*

L'univers est infini, peuplé d'une  
multiplicité de mondes analogues au  
nôtre

Rome, 1600



La Marquise et le Philosophe  
Frontispice des *Entretiens sur la pluralité des mondes*  
Fontenelle, *Oeuvres diverses*, t.1, La Haye, Gosse et Néaulme,  
1728.

**Bernard  
le Bovier  
de Fontenelle  
(1657 - 1757)**

***Le Philosophe* : il existe d'autres mondes habités  
dans l'Univers, même sur la Lune**

***La Marquise* : si c'était le cas, les habitants  
de la Lune auraient dû nous rendre visite maintenant**

***Le Philosophe* : le temps nécessaire pour maîtriser le  
voyage spatial est très long ; s'il est supérieur à 6000 ans  
on comprend pourquoi ils n'ont pas pu encore arriver ici.**

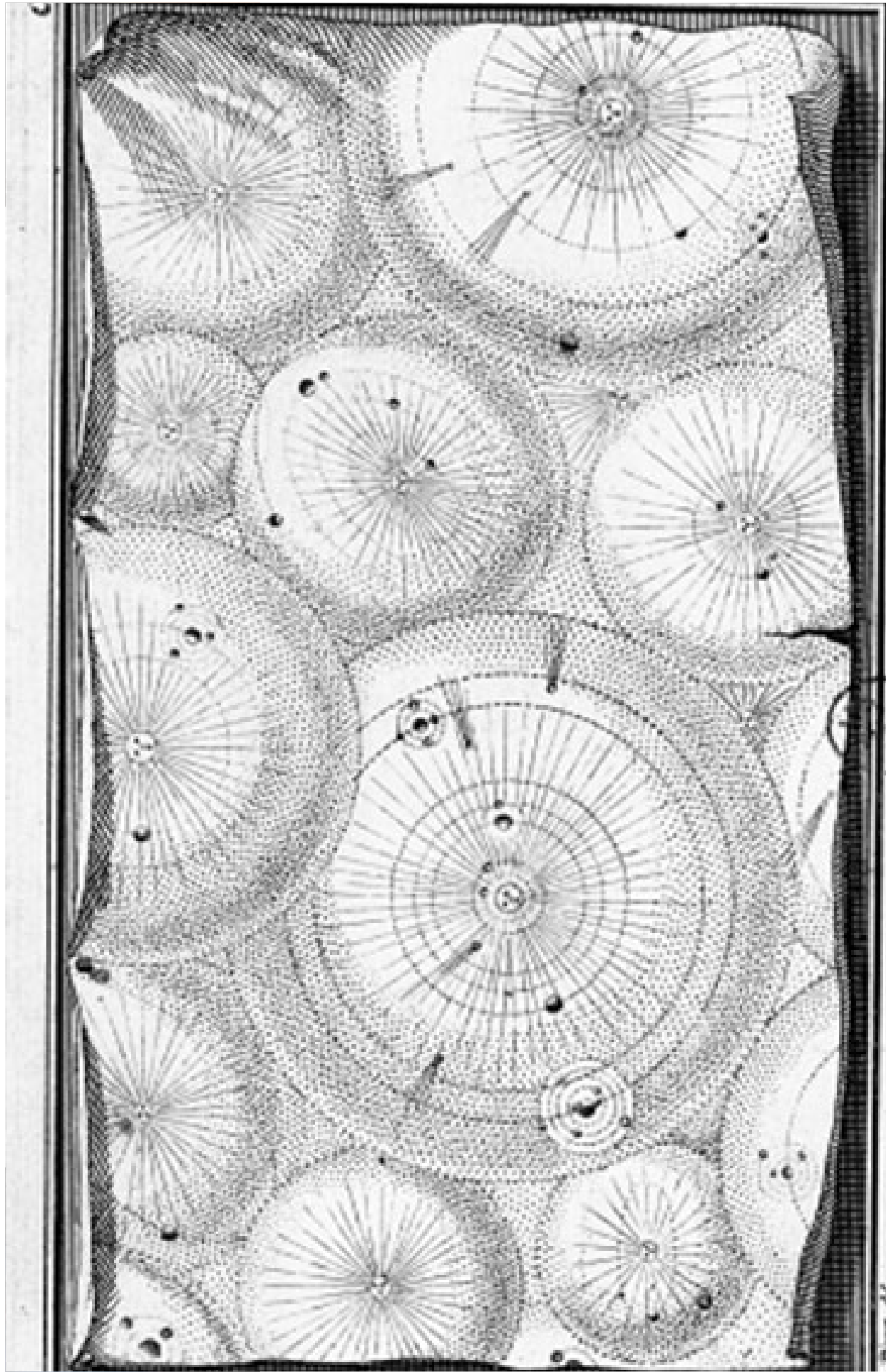


PLATE 11.

*PLURALITÉ DES MONDES.*

**Camille  
Flammarion**

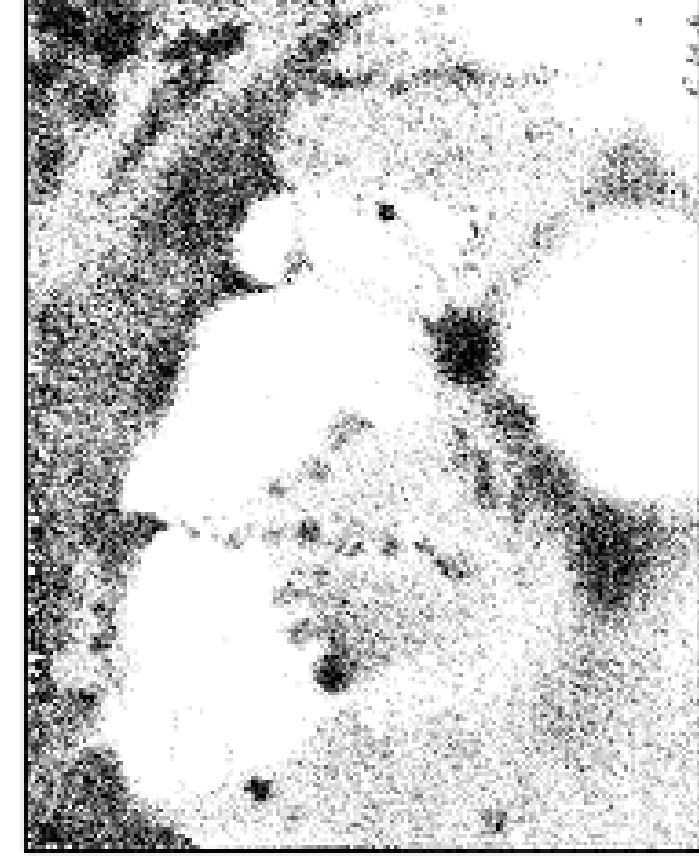
***La pluralité  
des mondes  
habités***  
**1862**





**G. Schiaparelli 1877**

**P. Lowell**



**H.G. Wells 1895**

*La guerre des mondes*

**E. Antoniadi 1909**



# La vie sur Mars : une idée qui perdure

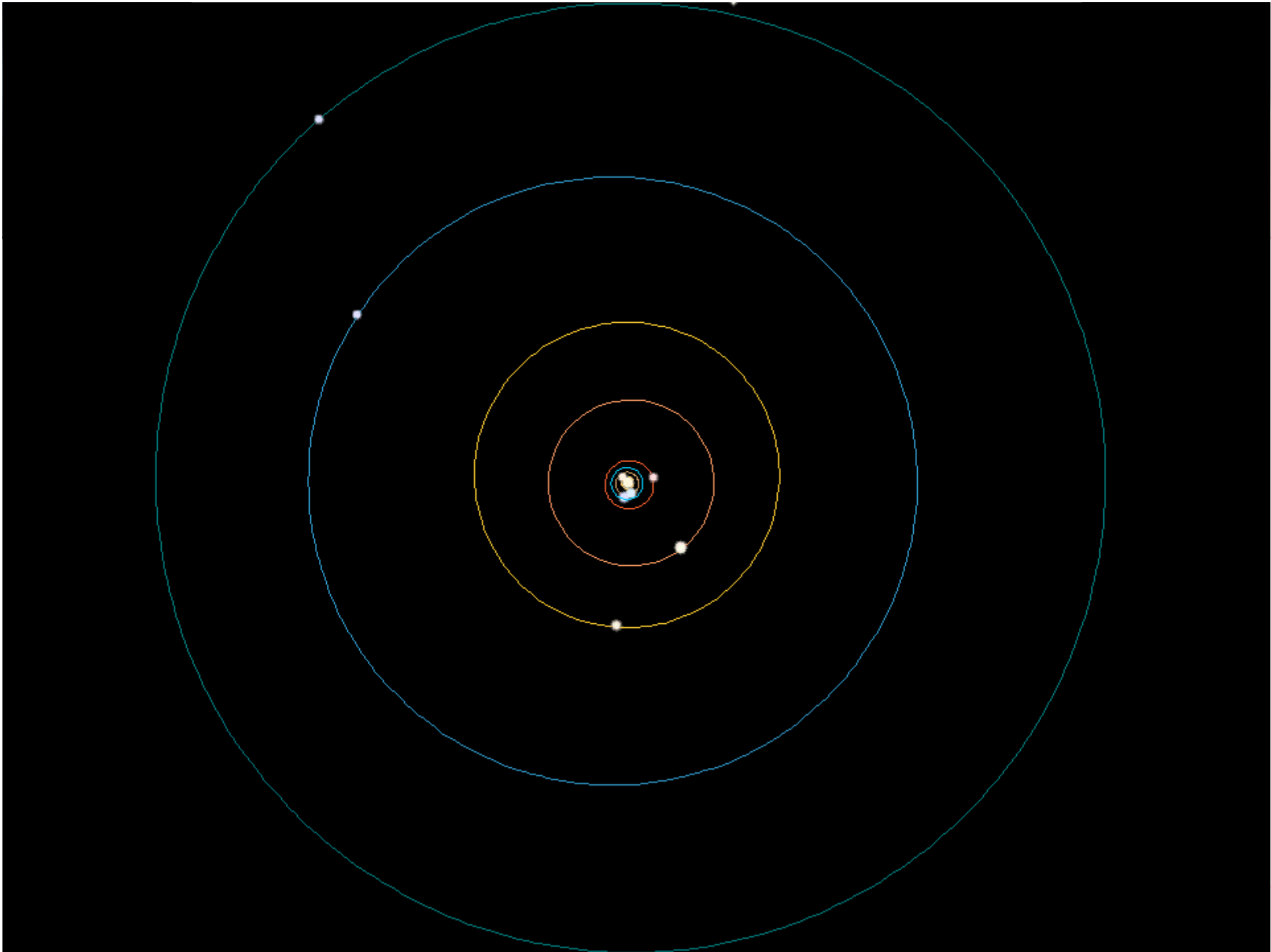


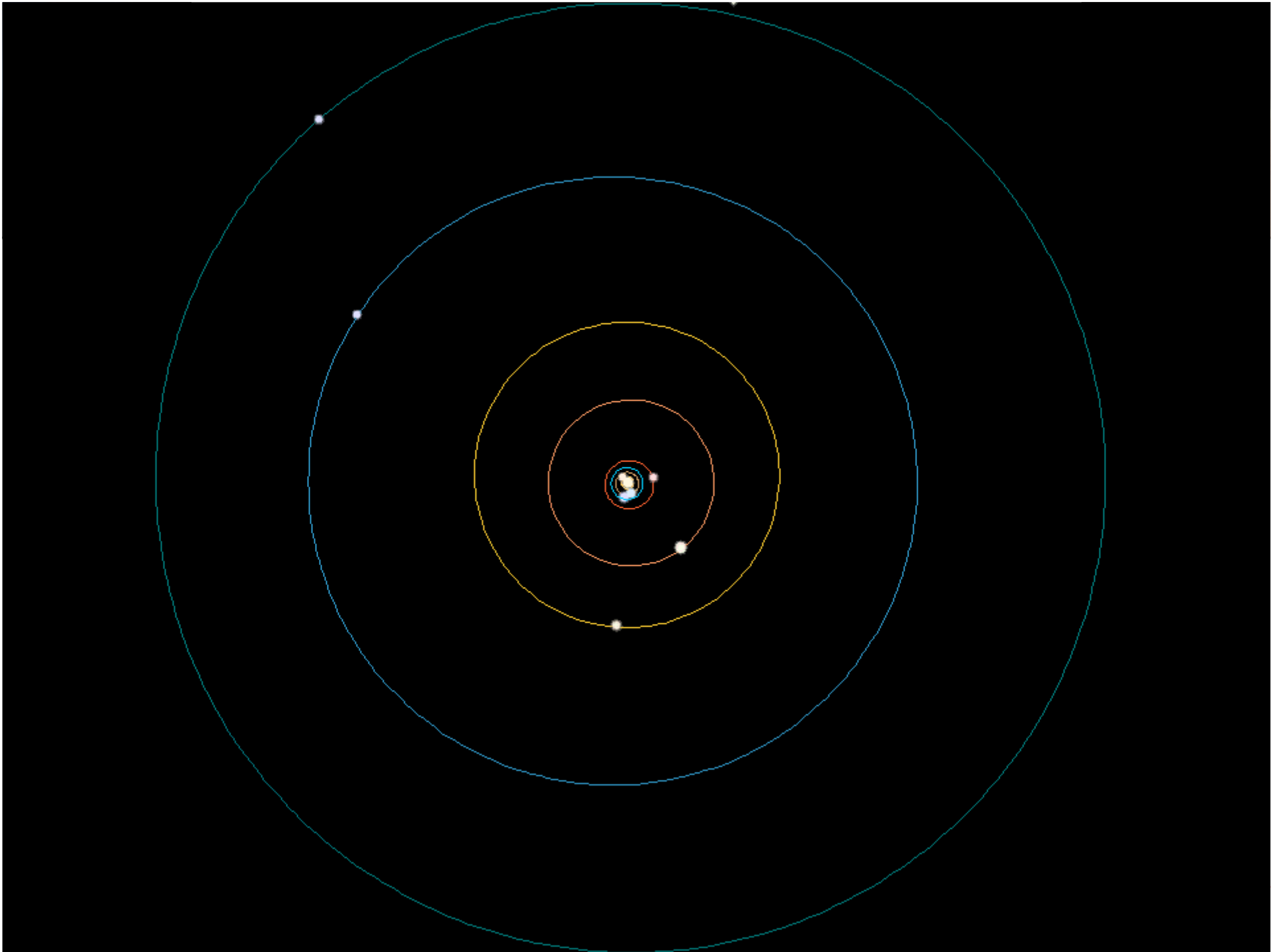
**Orson Welles 1938**

*Les variations saisonnières des calottes polaires sont remarquables. Des points blancs sont laissés en arrière quand elles rétrécissent, au printemps : il s'agit sans doute du sommet des montagnes martiennes. Les régions vert sombre tournent au jaunâtre à l'automne martien. Il pourrait s'agir de plantes du type thallophytes ou muscinées ou d'algues de glacier.*

**Pecker & Schatzman 1960**









# Les planètes se forment dans un disque : une idée ancienne



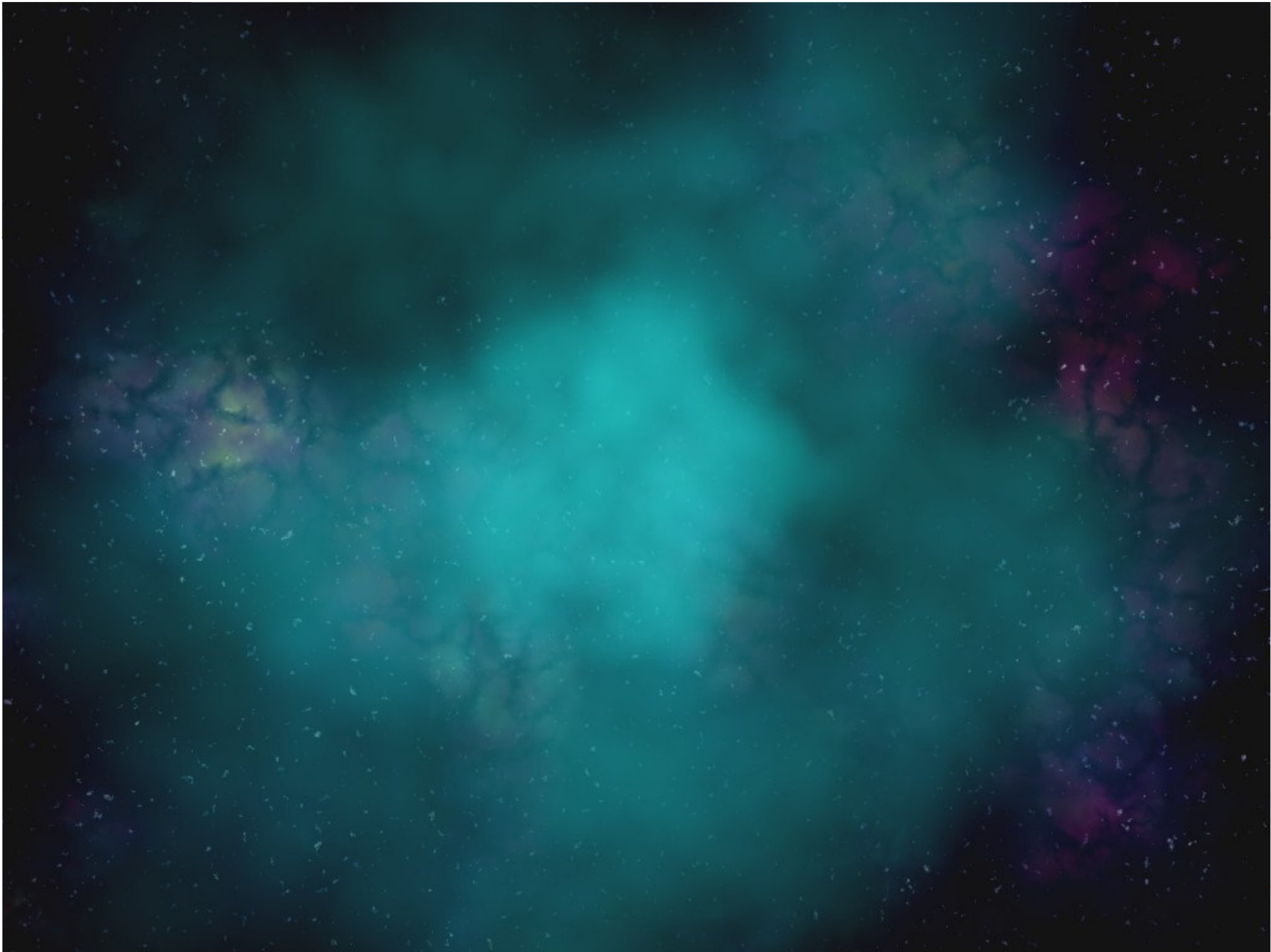
Les éléments du système des planètes ont entre eux des rapports qui peuvent nous éclairer sur son origine. En le considérant avec attention, on est étonné de voir toutes les planètes se mouvoir autour du soleil, d'occident en orient et presque dans un même plan; les satellites en mouvement autour de leurs planètes, dans le même sens et à peu près dans le même plan que les planètes; enfin, le soleil, les planètes et les satellites tourner sur eux-mêmes, dans le même sens et à peu près dans le plan de leurs mouvements de projection.

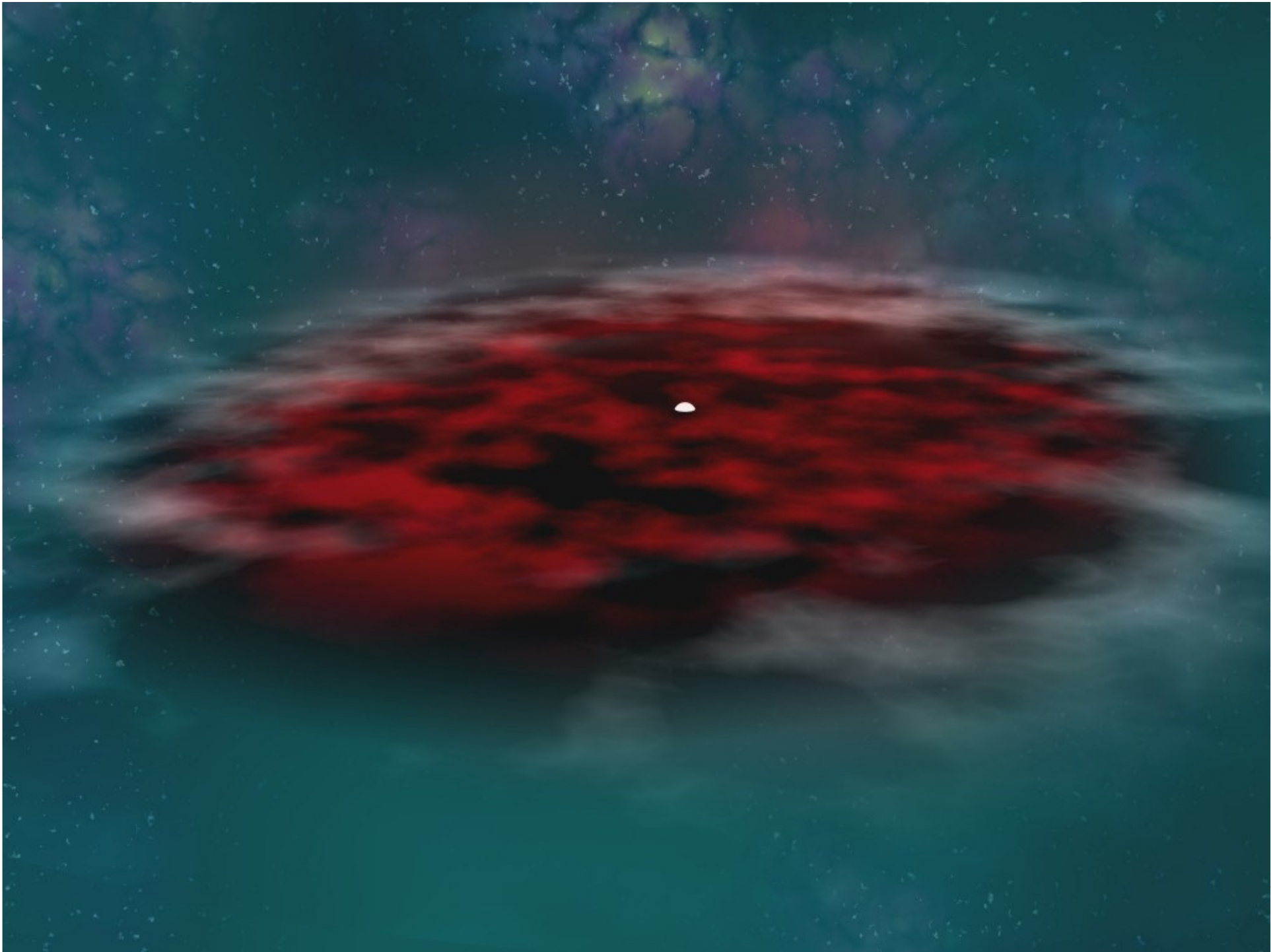
(...)

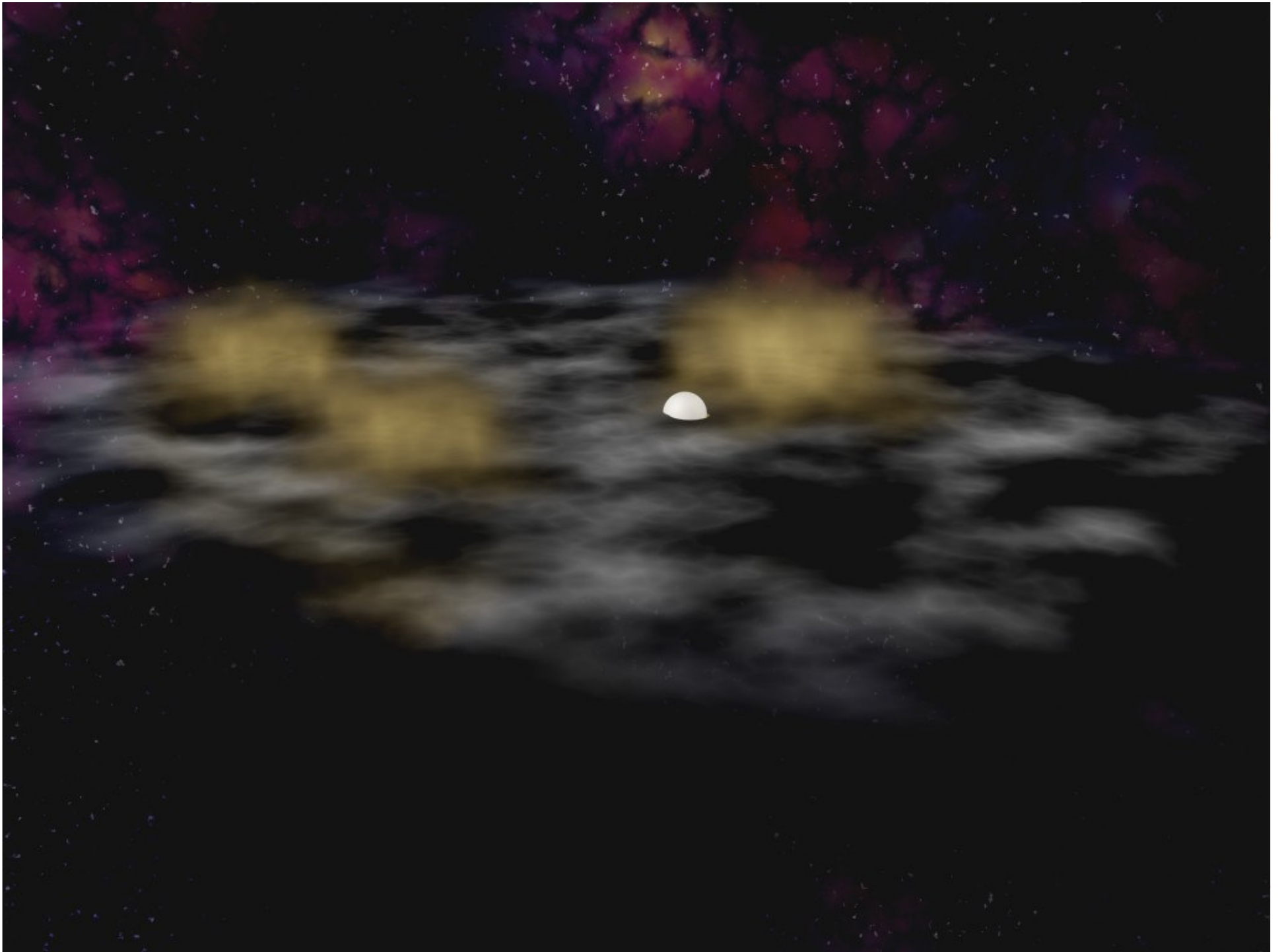
On peut conjecturer que les planètes ont été formées aux limites successives [de l'atmosphère solaire] par la condensation des zones de vapeurs qu'elle a dû, en se refroidissant, abandonner dans le plan de son équateur.

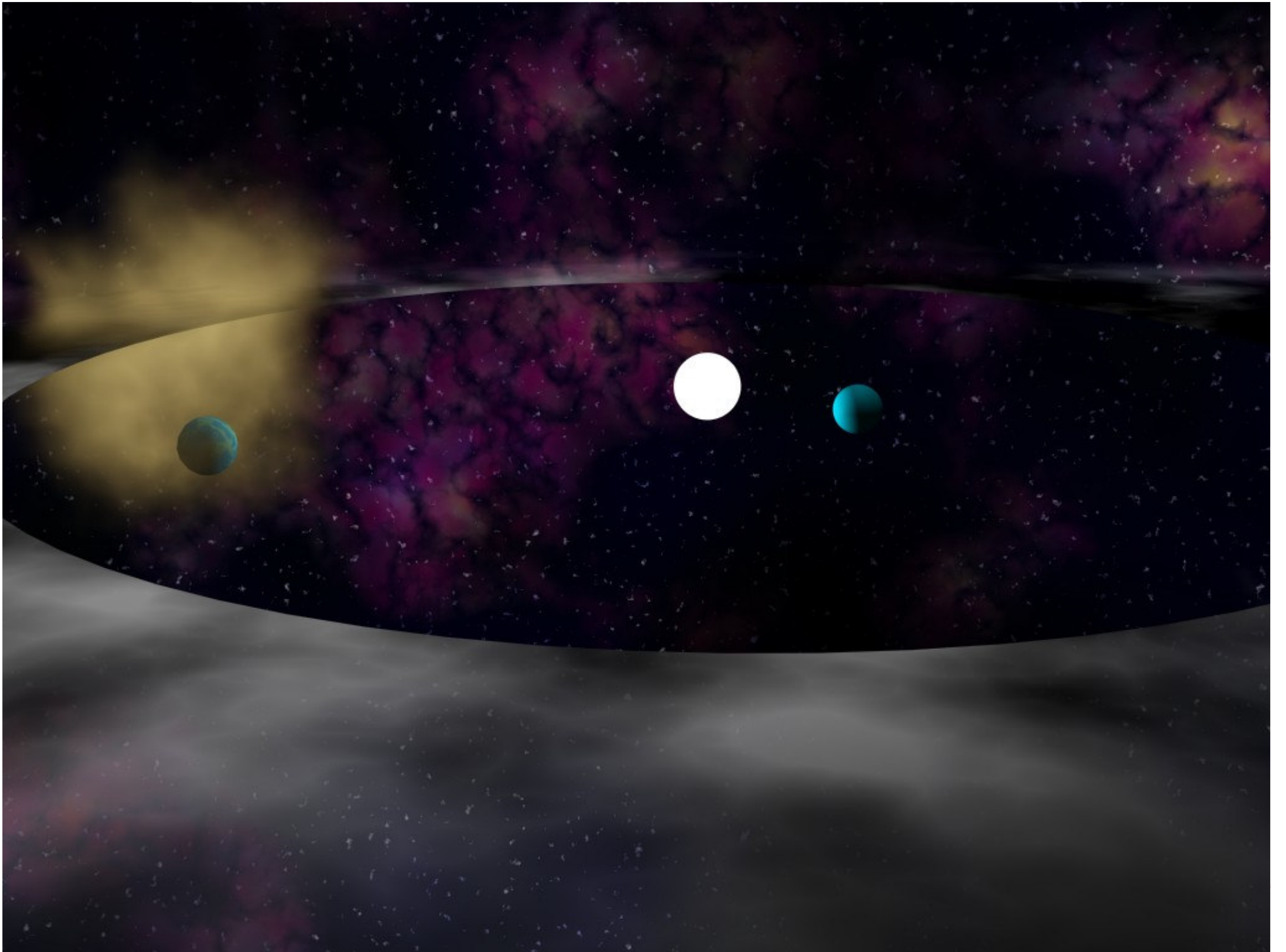
**Pierre-Simon Laplace**, 1795, *Exposition du système du monde*

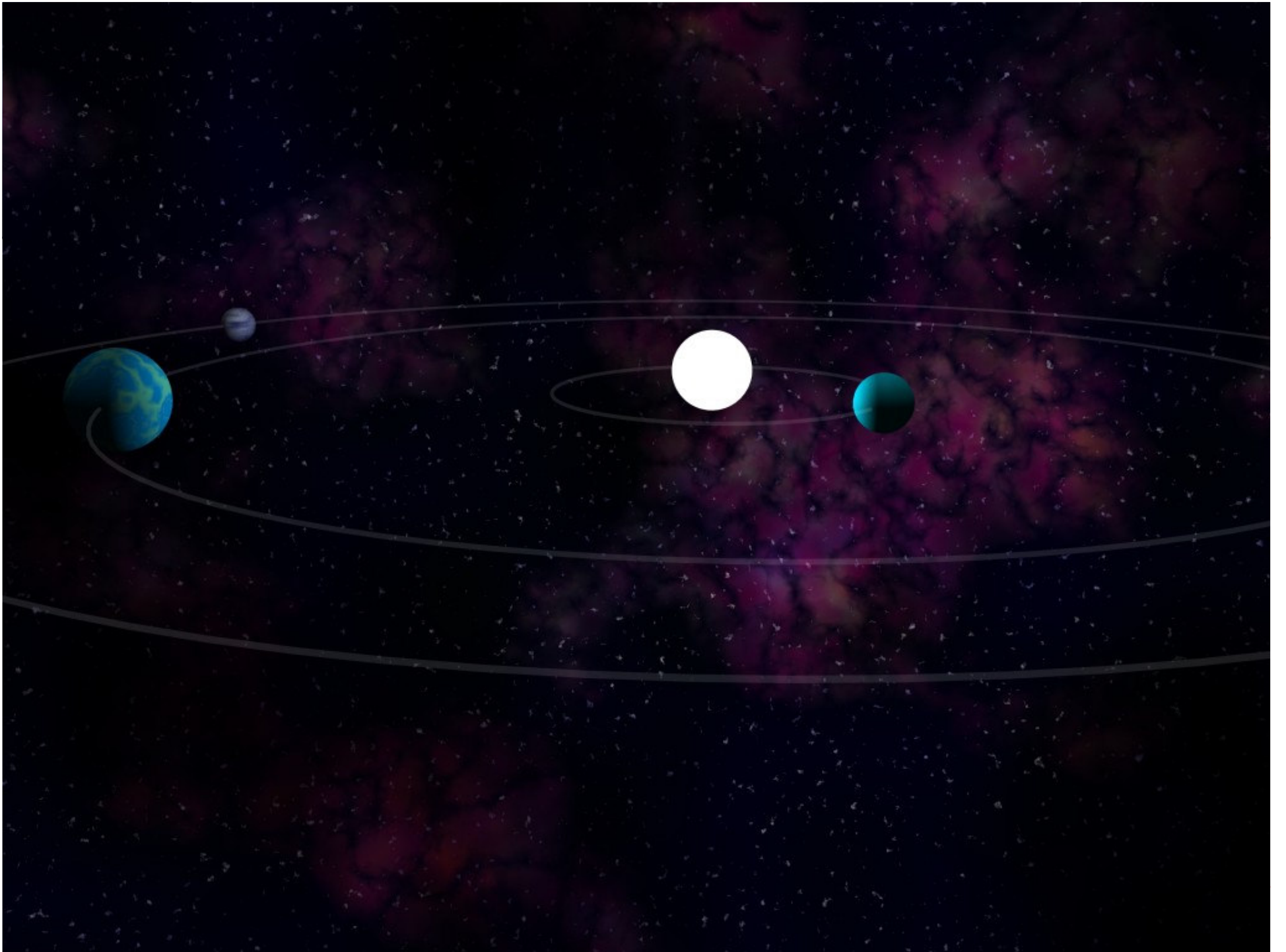
---







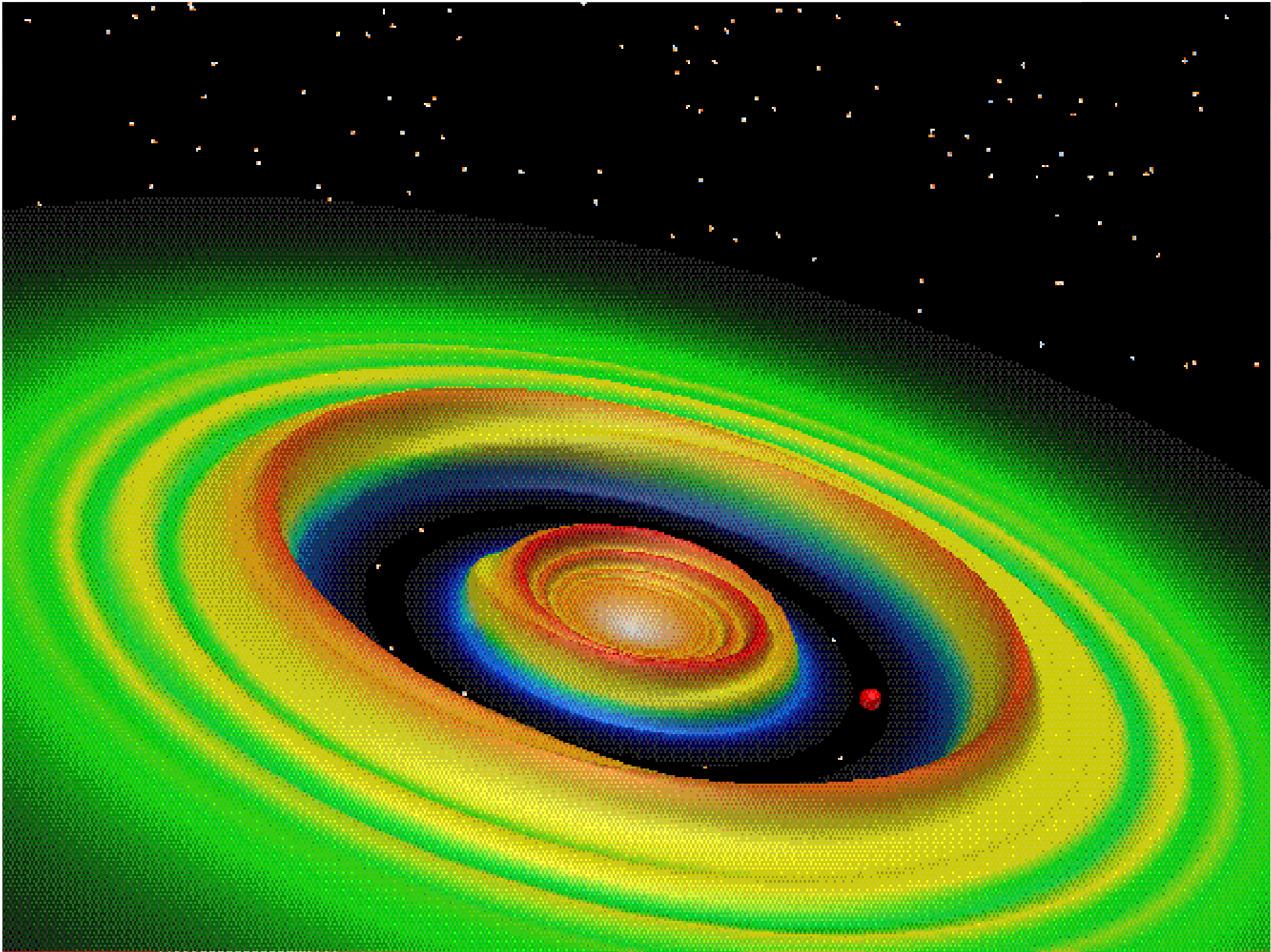


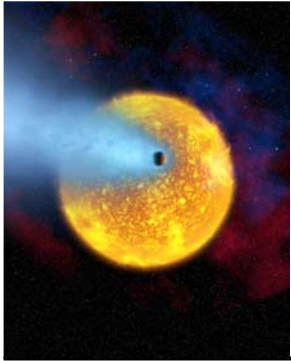








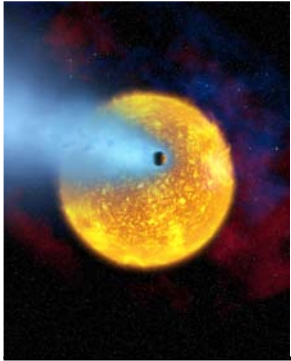




# Comment détecter des exoplanètes ?



1. Détection directe
2. Effets dynamiques :
  - a. Observation du mouvement propre
  - b. Variation de la vitesse radiale de l'étoile
3. Variation de la brillance de l'étoile :
  - a. Effet de lentille gravitationnelle
  - b. Passage ou transit



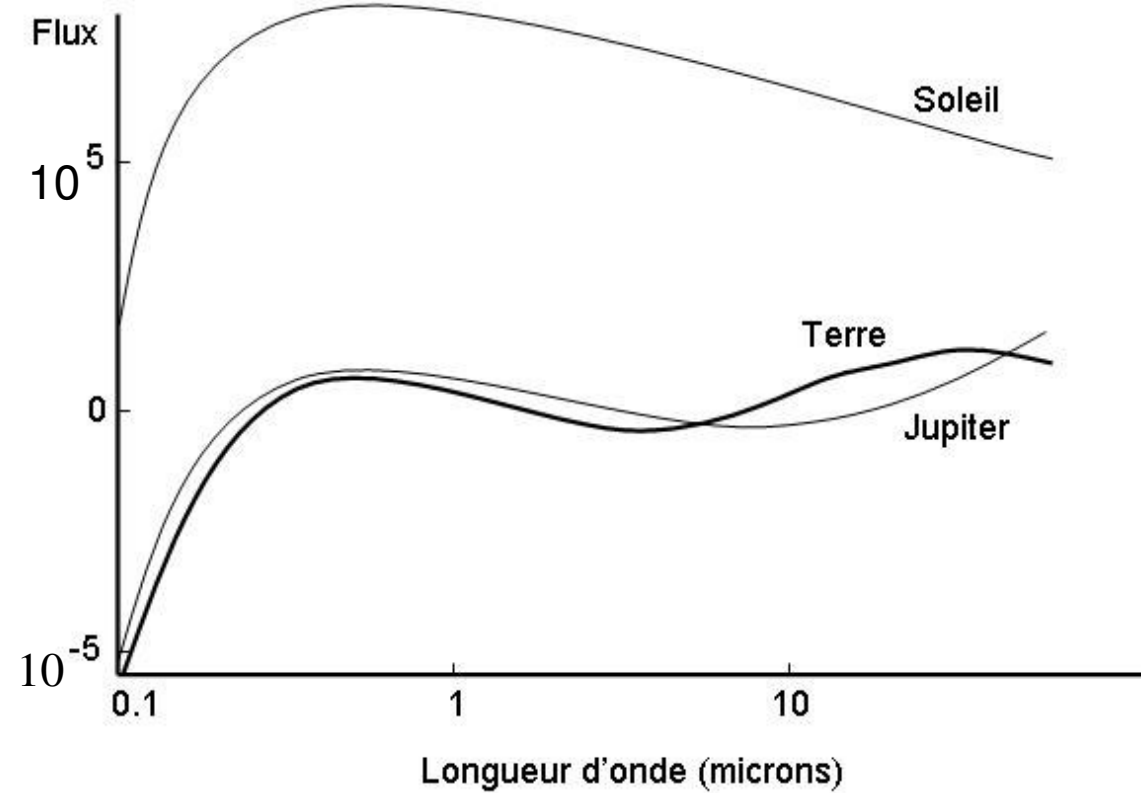
# Détection directe



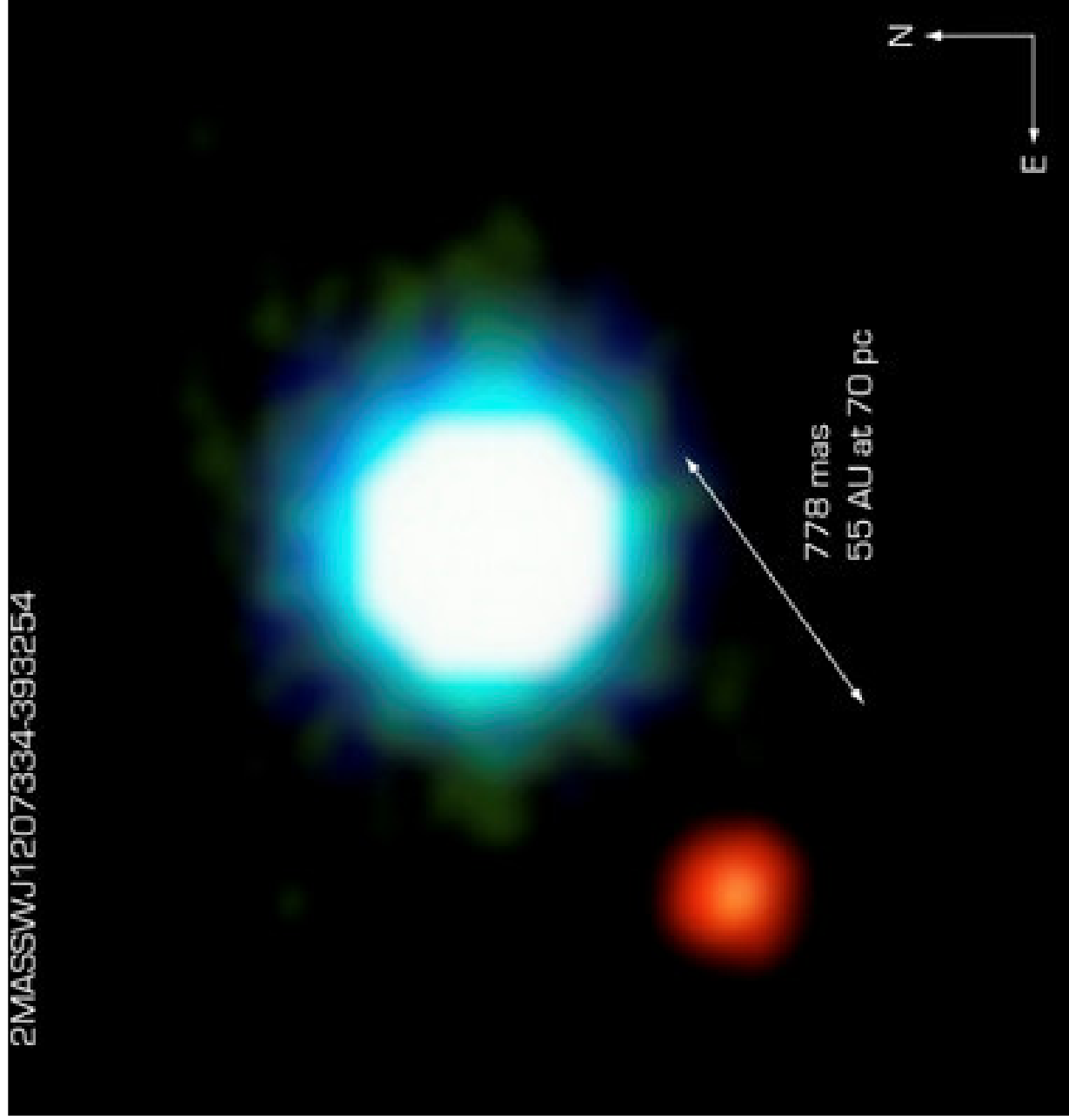
Contraste extrême

Séparation  
angulaire

$< 1''$



2MASSWJ1207334-393254

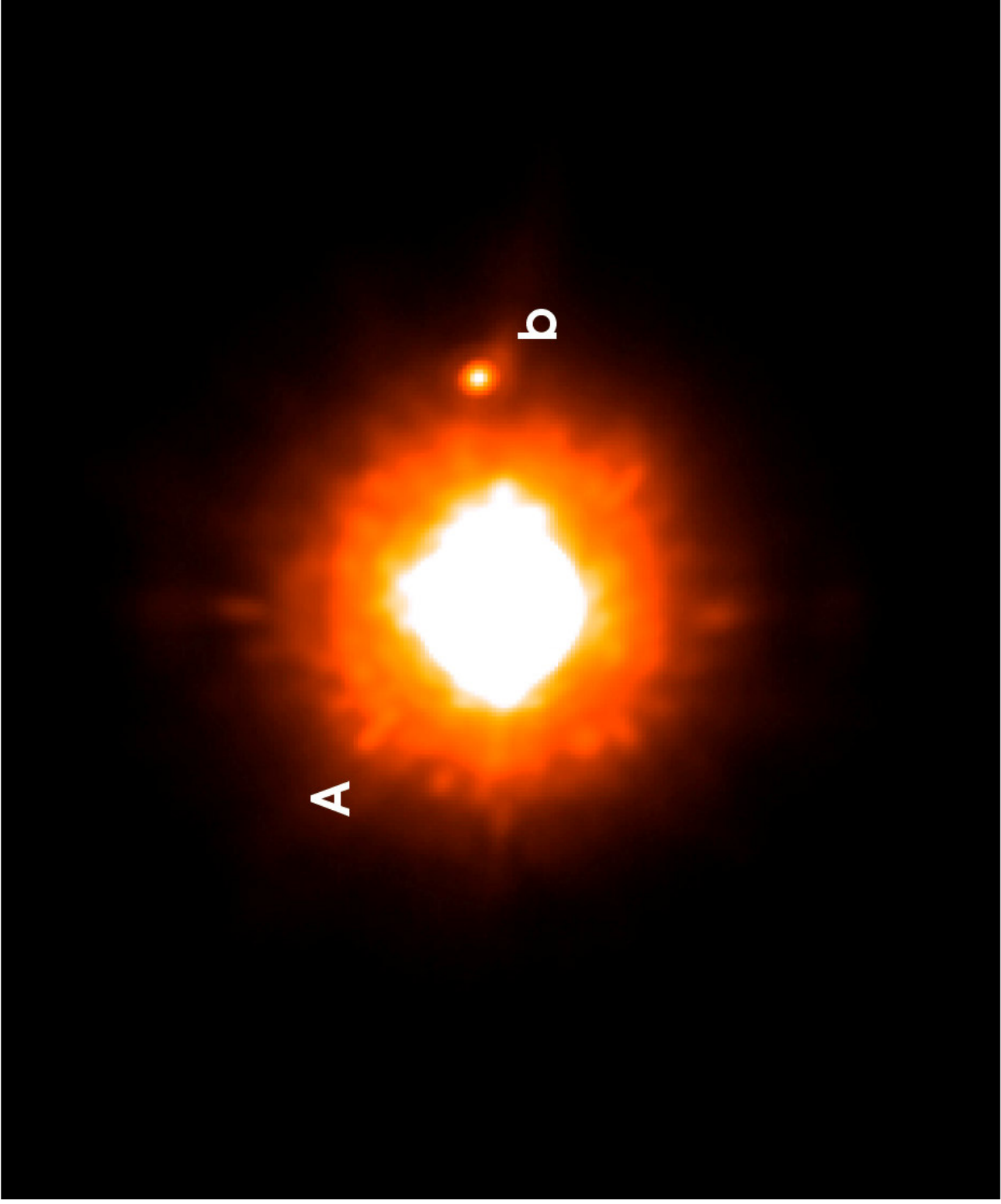


The Brown Dwarf 2M1207 and its Planetary Companion  
(VLT/NACO)

ESO PR Photo 14a/05 (30 April 2005)



©ESO



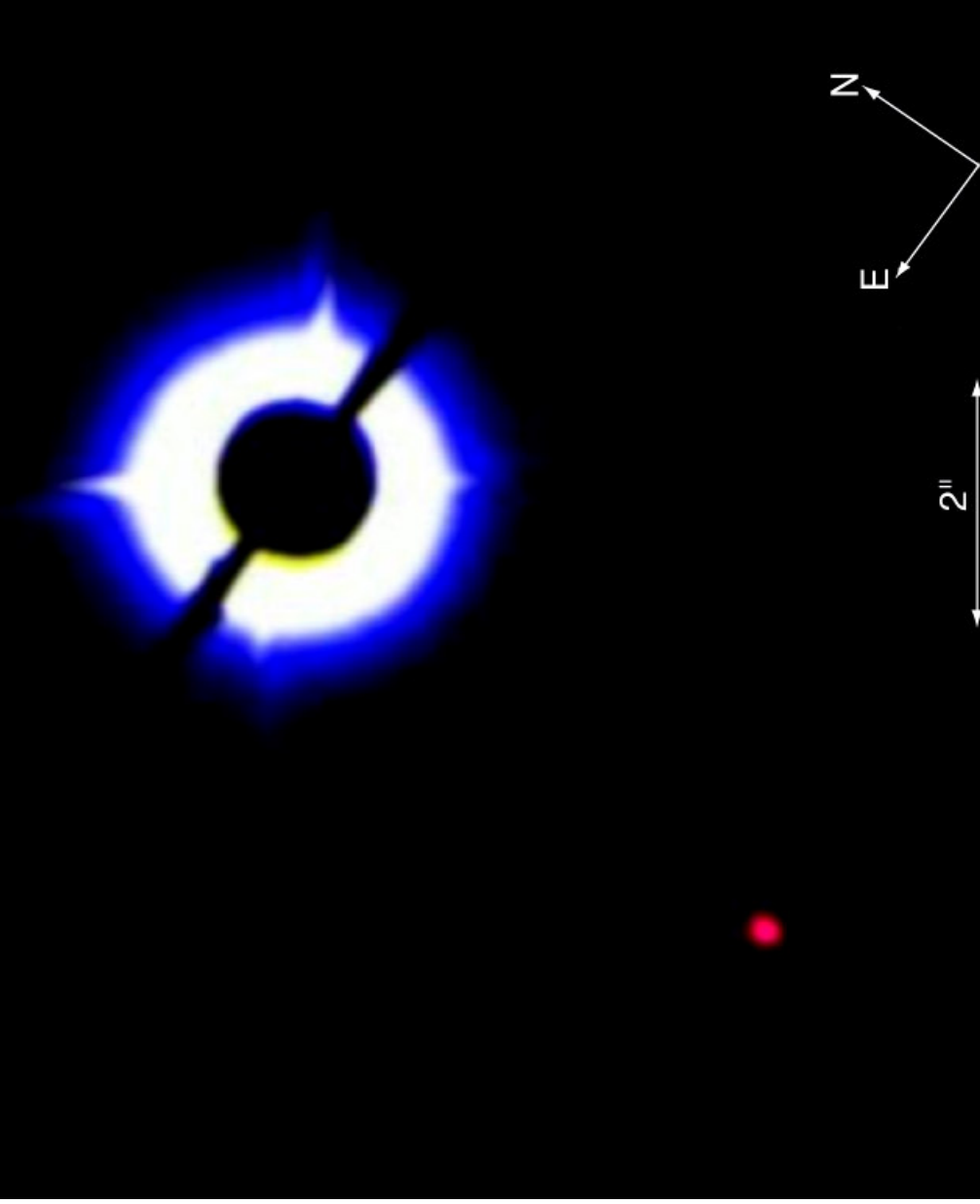
The Sub-Stellar Companion to GQ Lupi  
(NACOM/ILT)

ESO PR Photo 10a/05 (7 April 2005)



© European Southern Observatory

AB Pic



The Star AB Pictoris and its Companion  
(VLT/NACO)

ESO PR Photo 14d/05 (30 April 2005)



© ESO



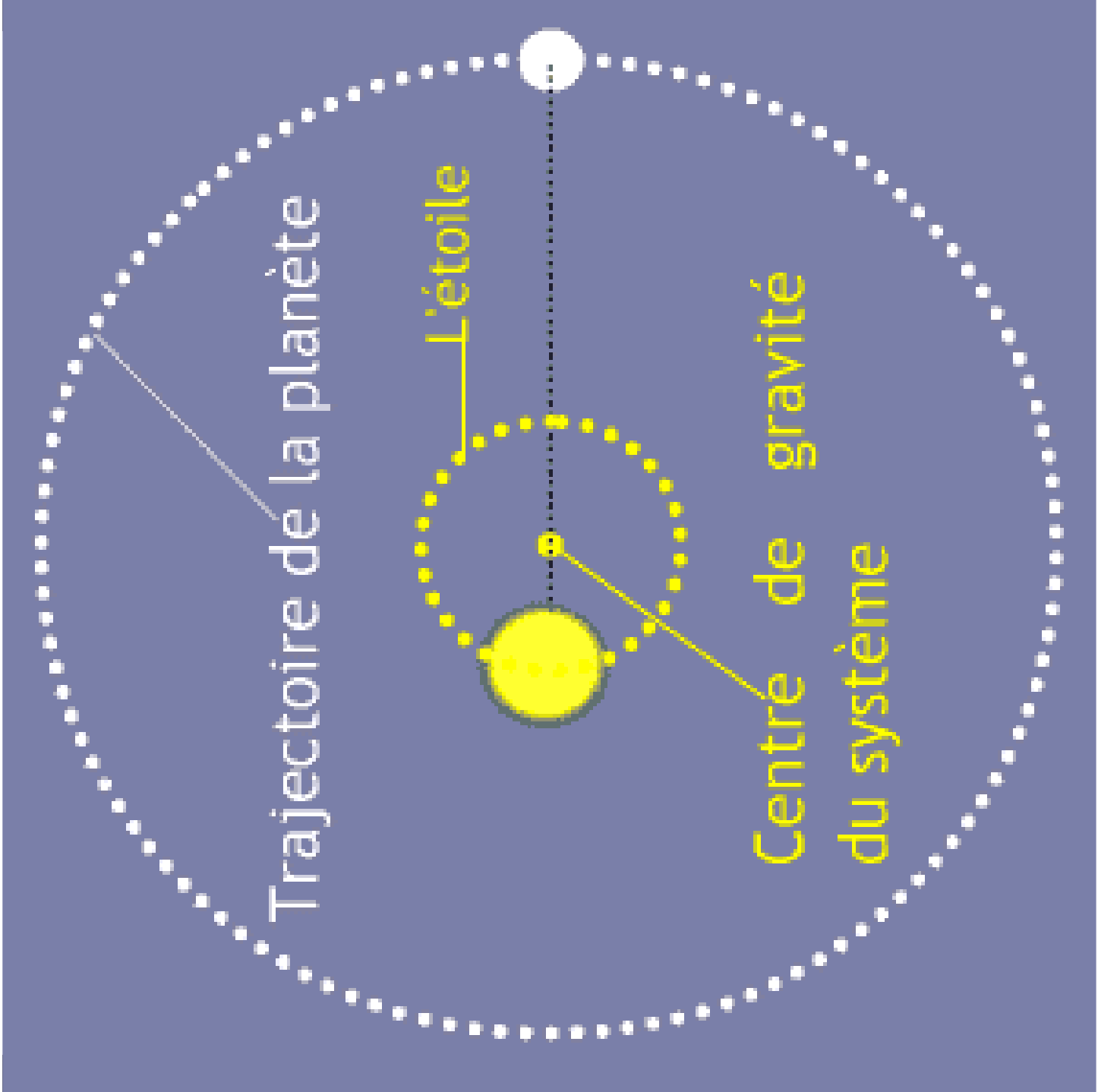
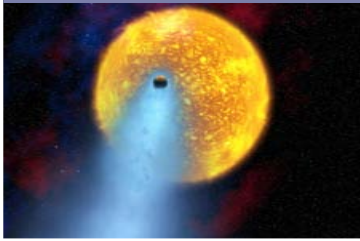


# Effets dynamiques



Le lanceur de marteau

---

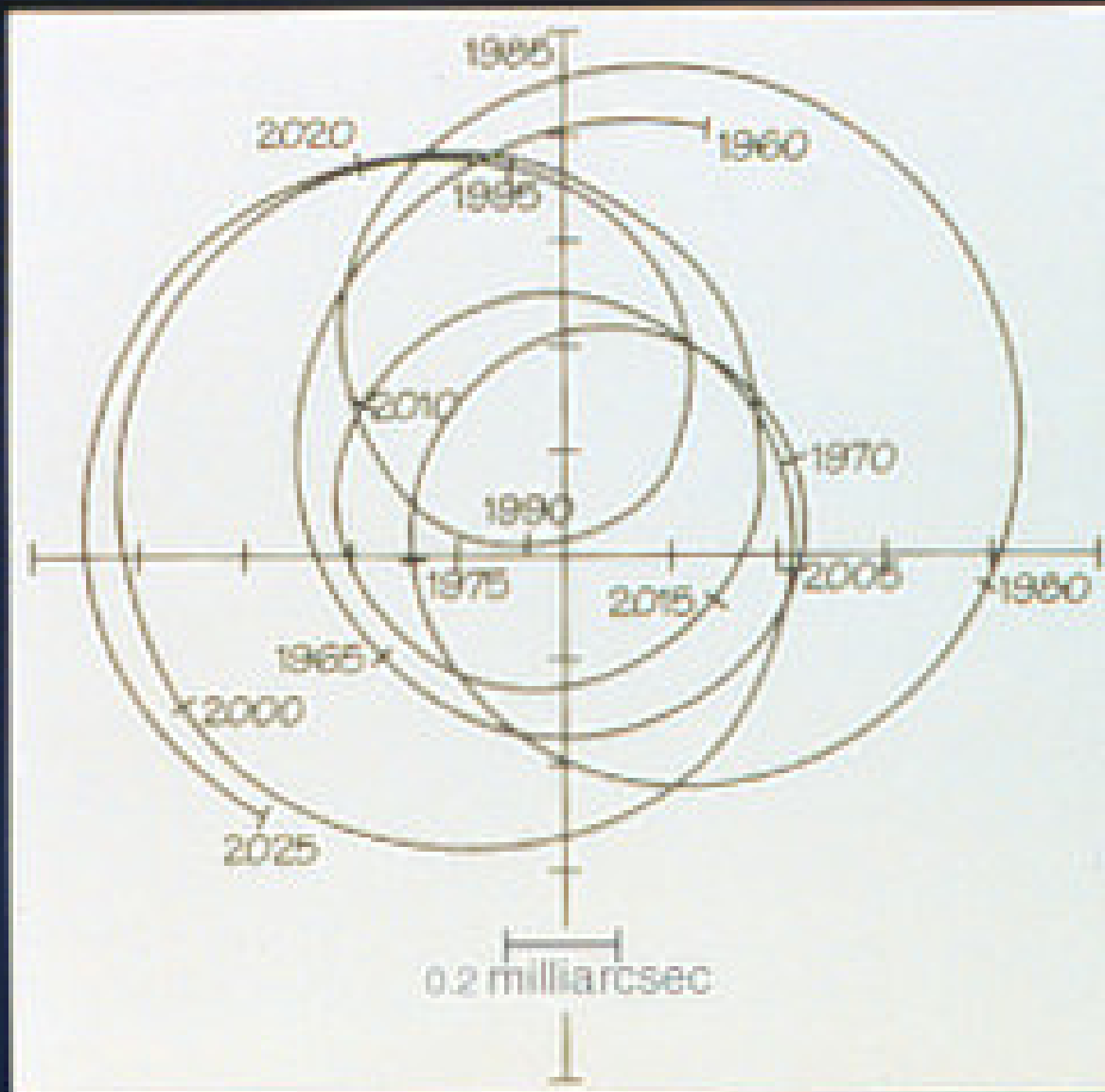


Trajectoire de la planète

L'étoile

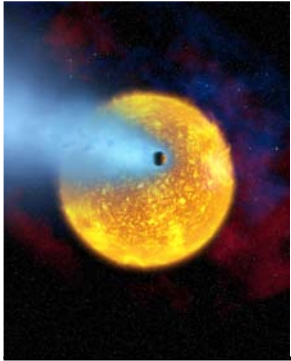
Centre de gravité du système

# Le mouvement du Soleil

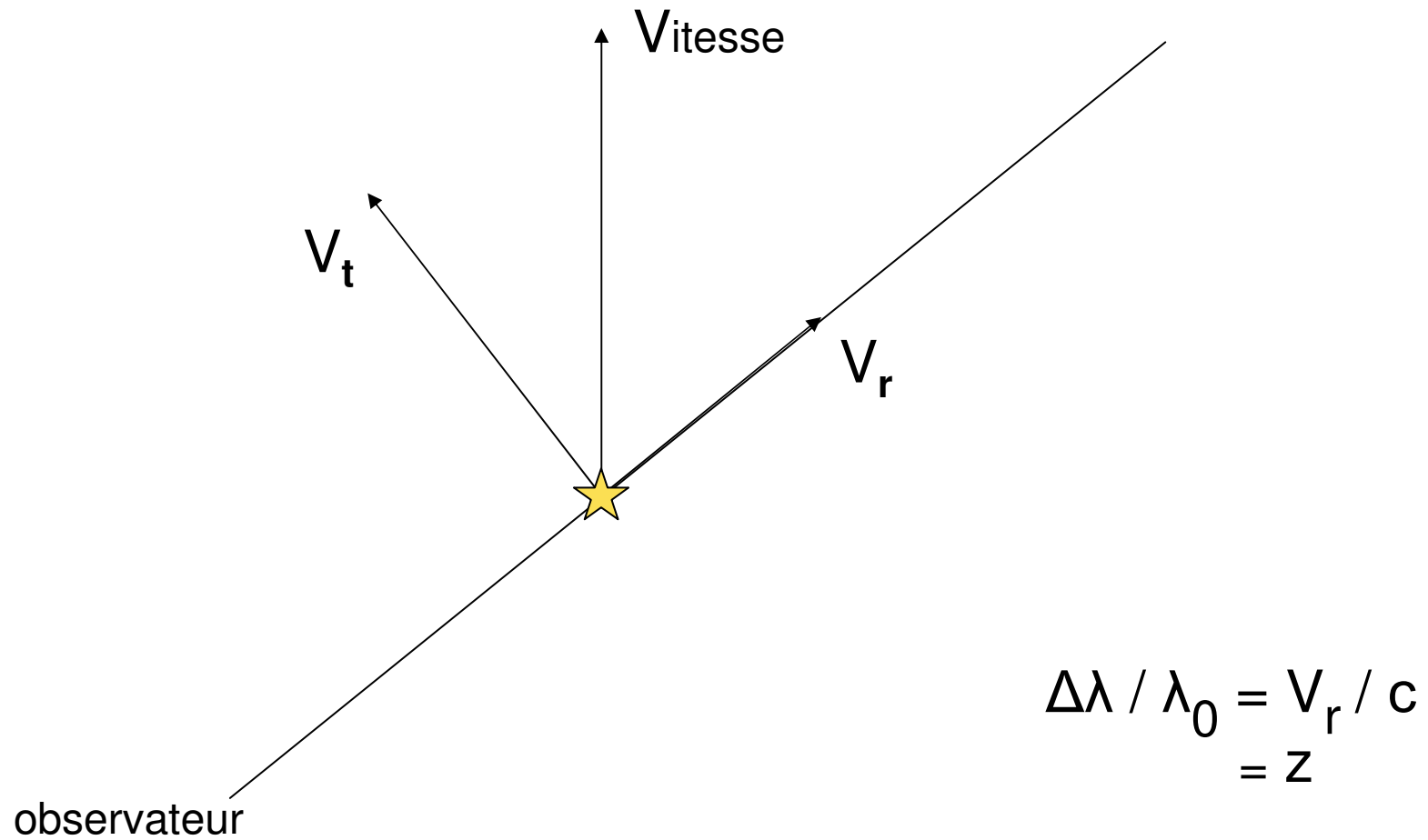


Mouvement du  
Soleil autour du  
centre de masse  
du Système  
solaire,  
vu à 10 parsecs

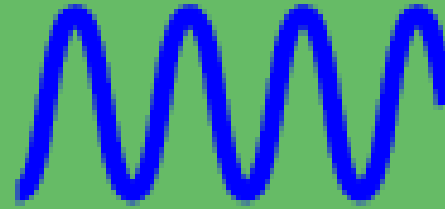




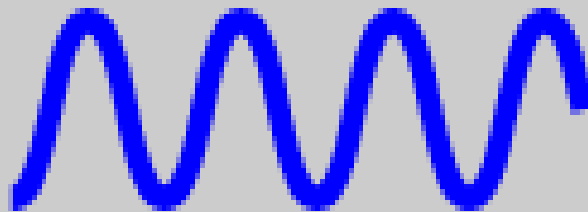
# Vitesse radiale



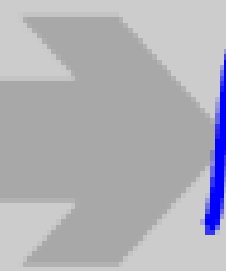
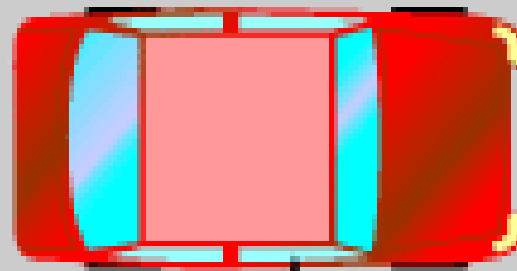
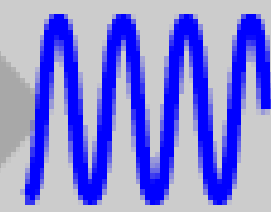
Sound the driver hears



Sound observer  
1 beam



Sound observer  
2 beam

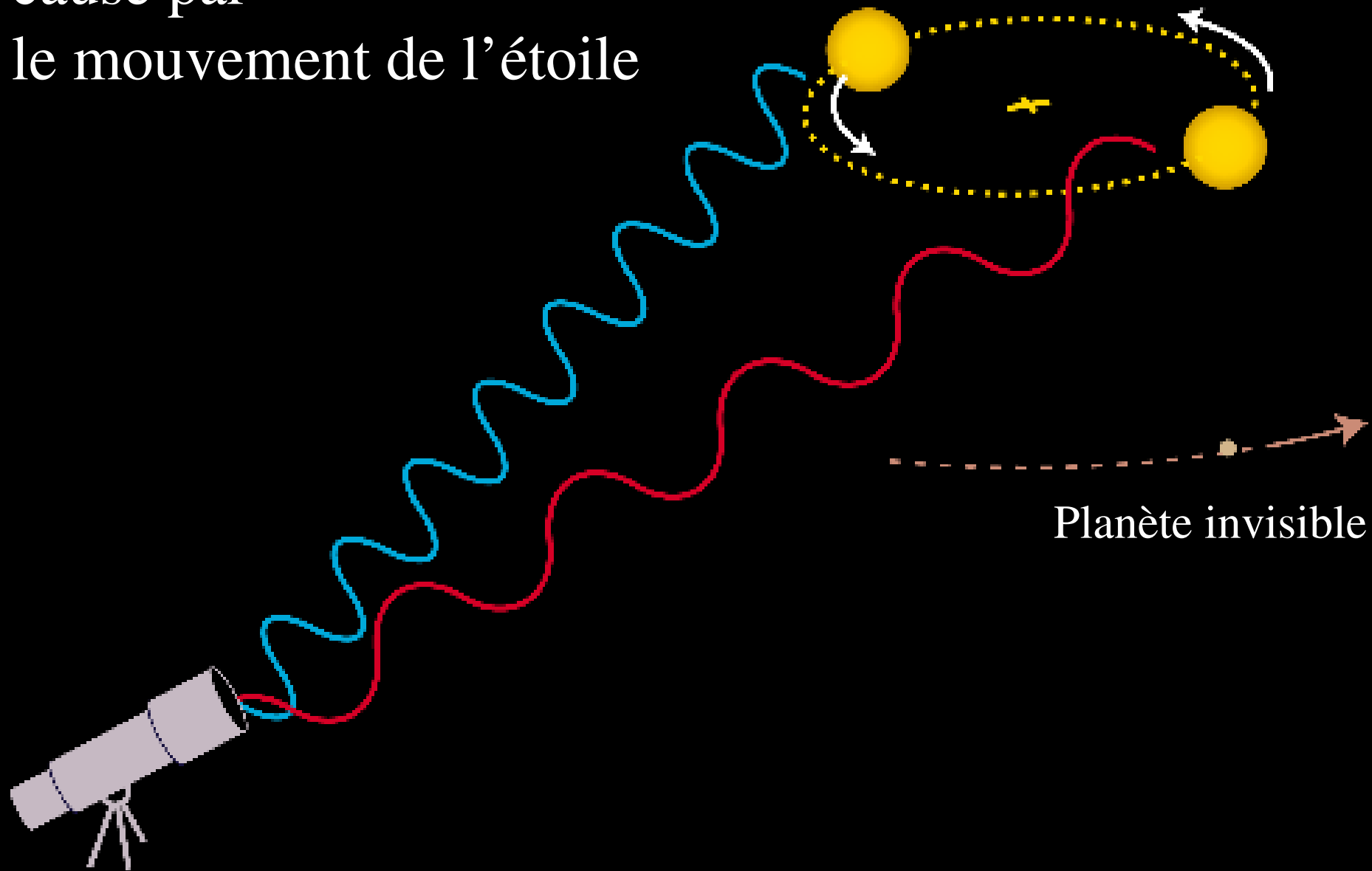


Observer 1

Car traveling  
toward the right

Observer 2

Décalage Doppler  
causé par  
le mouvement de l'étoile





Michel Mayor

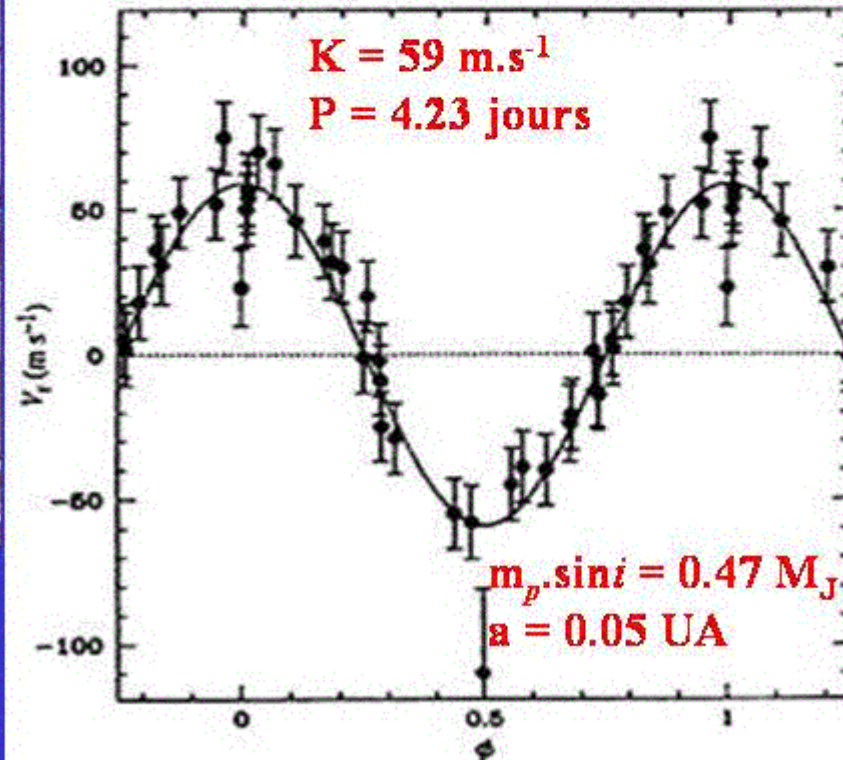


Didier Queloz



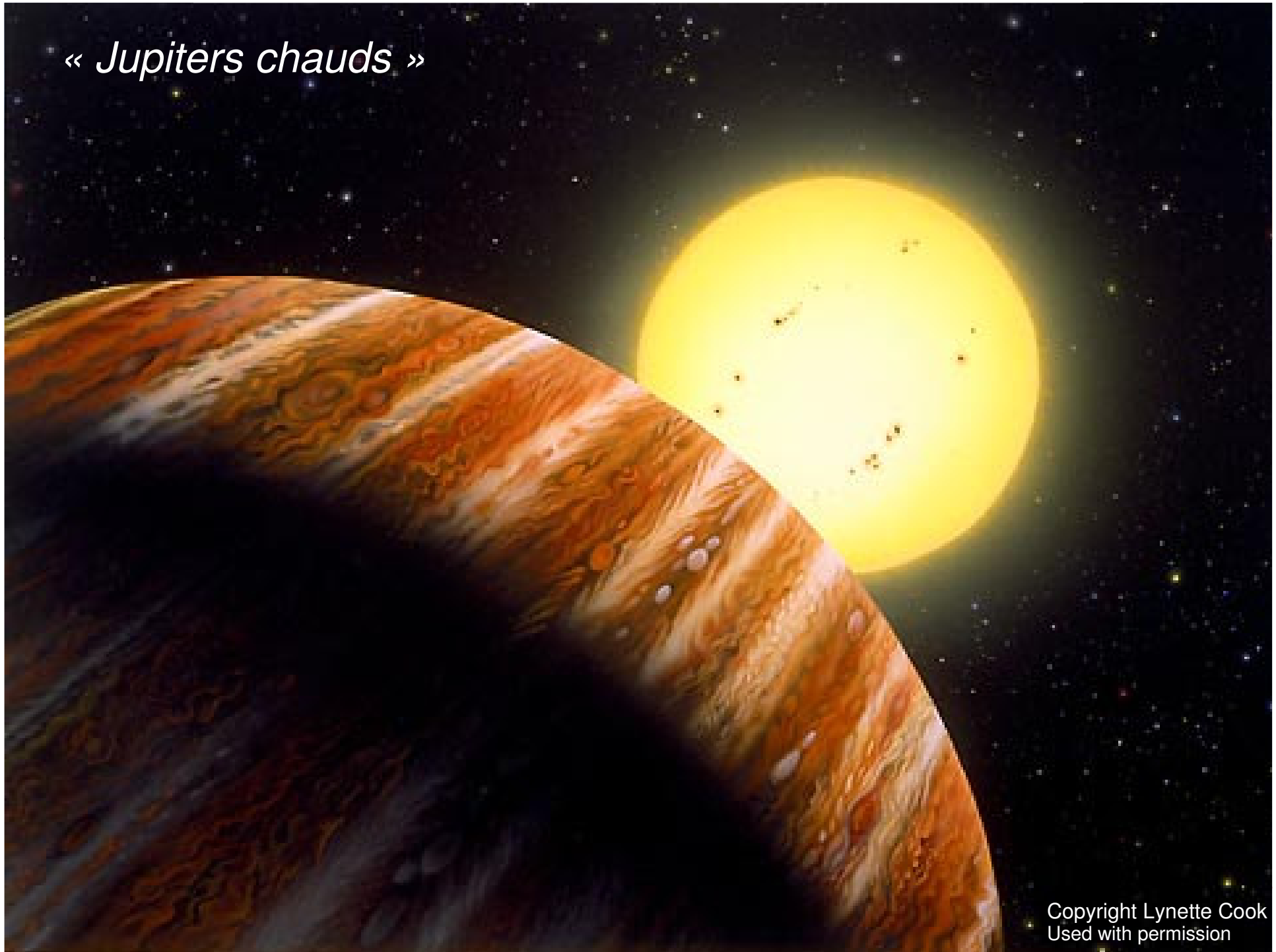
*Spectrographe ELODIE  
1.93-m OHP*

**1995 : découverte de 51 Peg b  
Première planète extra-solaire en orbite  
autour d'une étoile de type solaire**



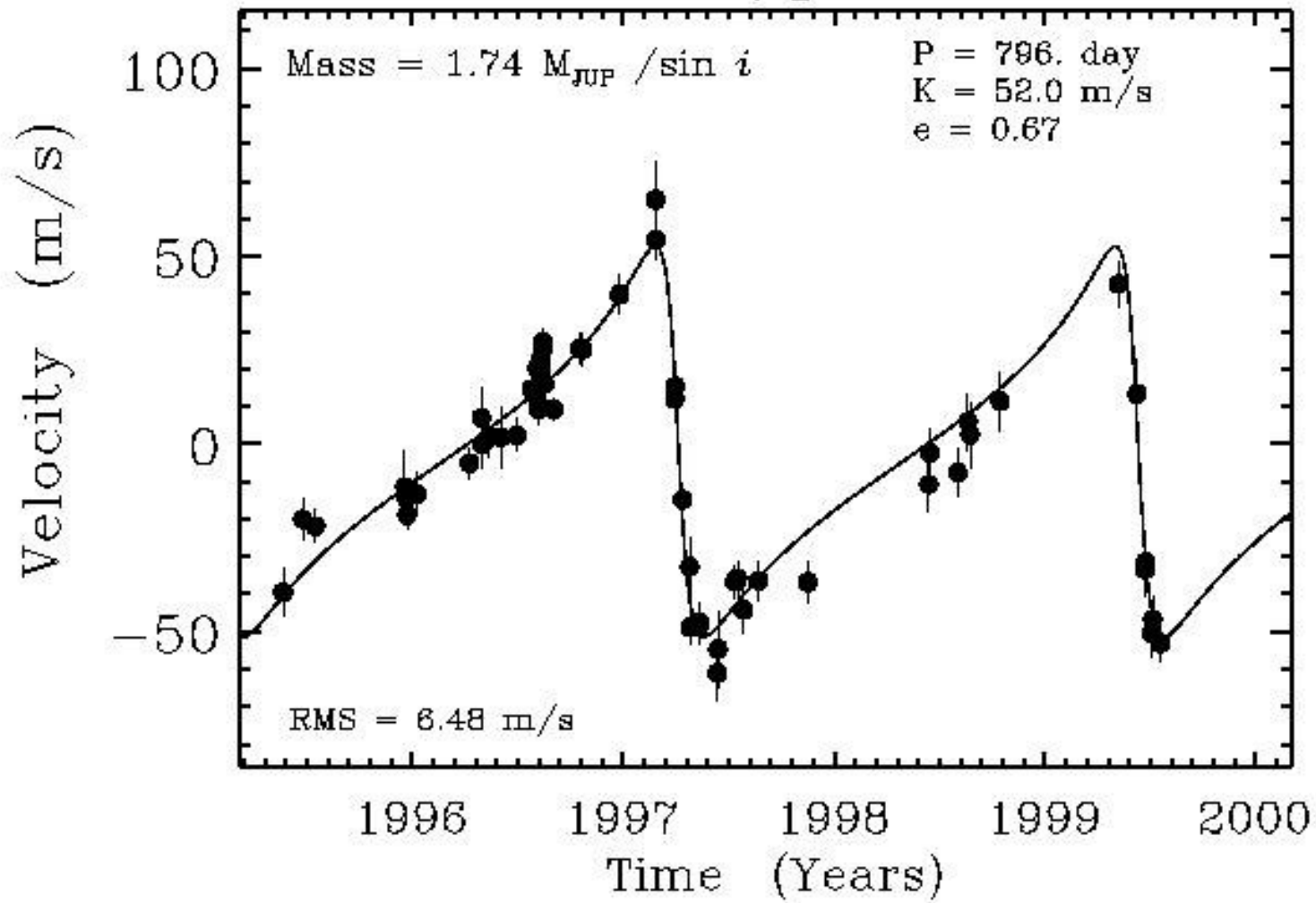


« *Jupiters chauds* »

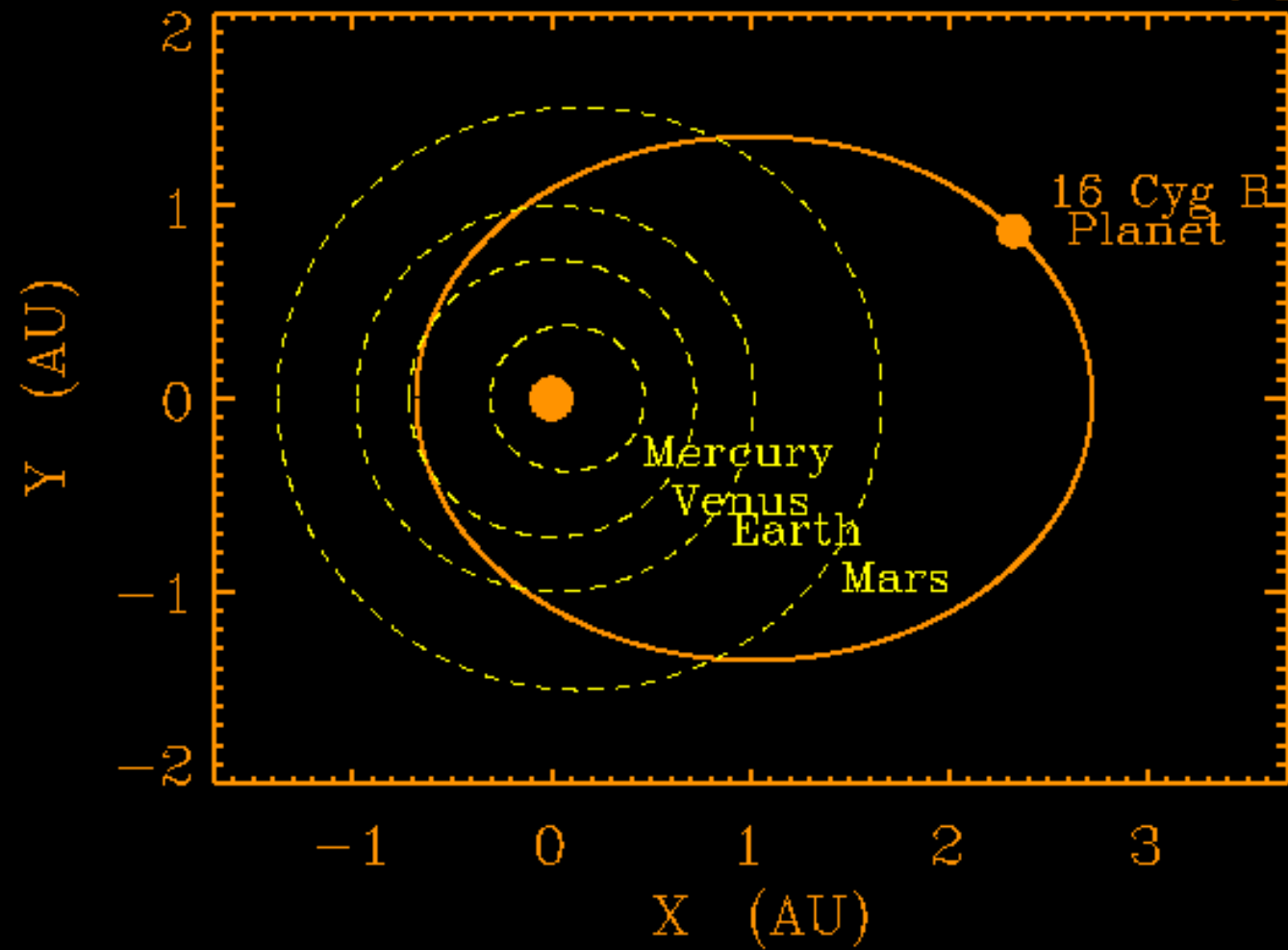


Copyright Lynette Cook  
Used with permission

# 16 Cygni B



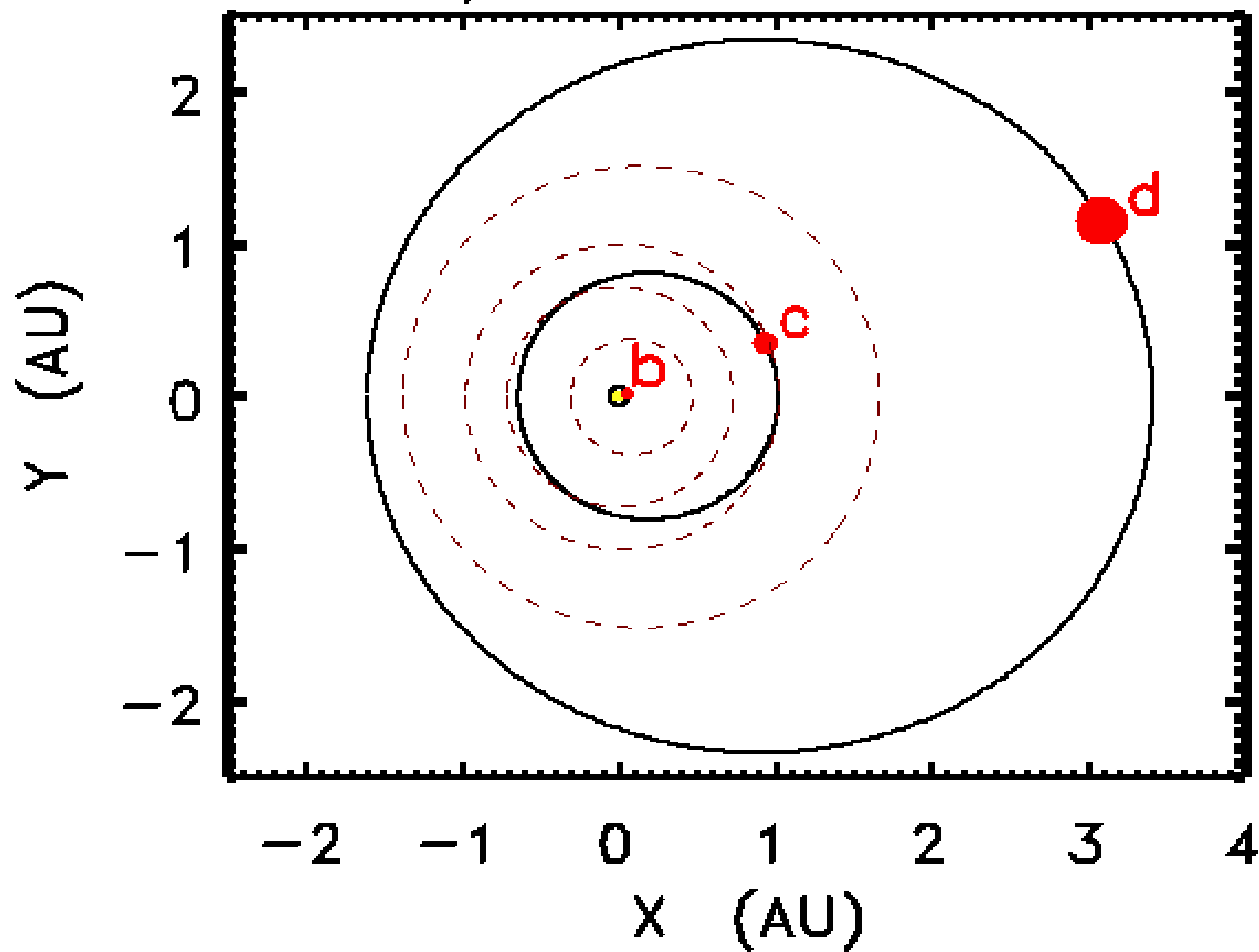
# Orbit of Planet Around 16 Cyg B

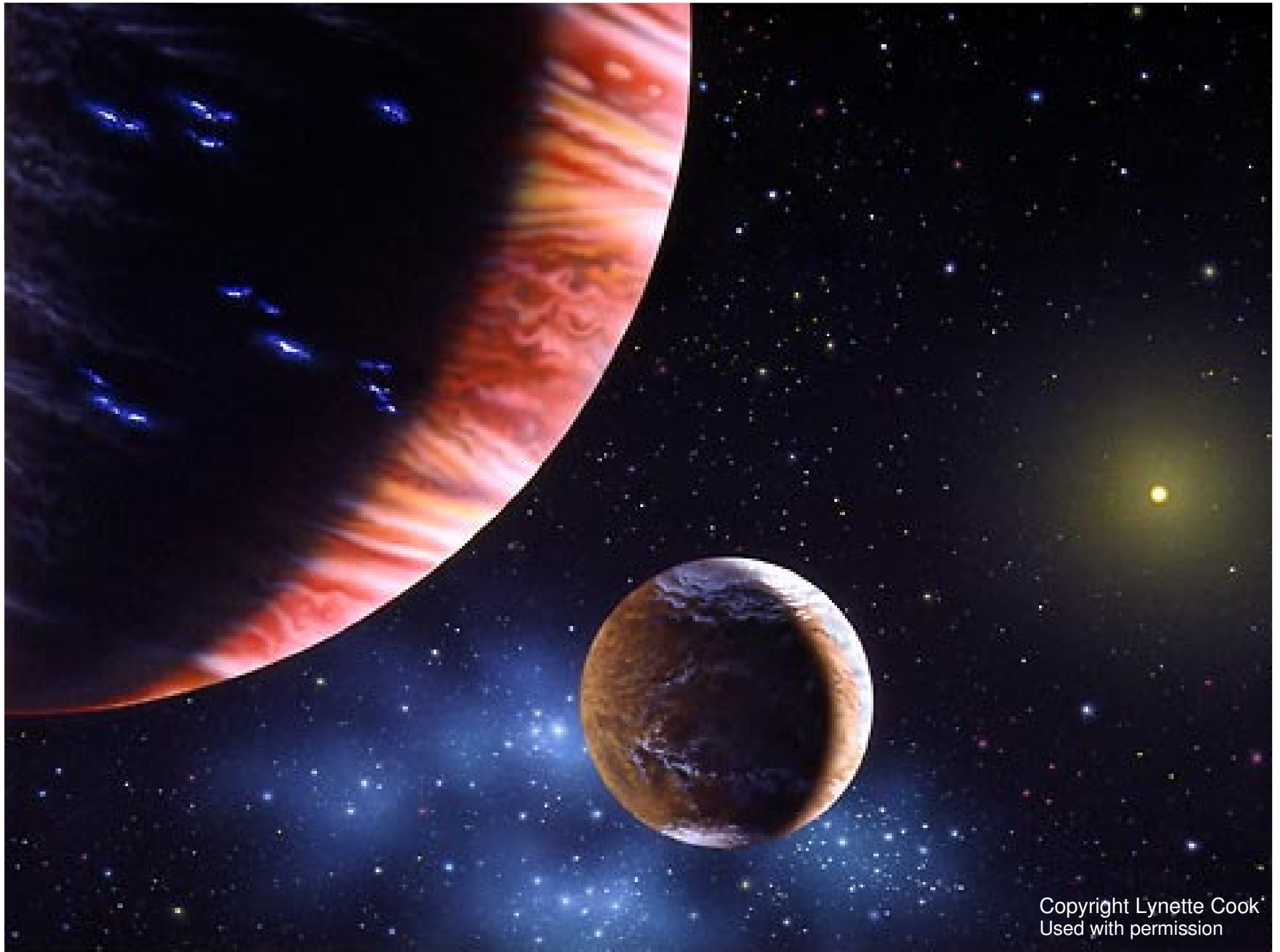




Copyright Lynette Cook  
Used with permission

# Upsilon Andromedae





Copyright Lynette Cook<sup>®</sup>  
Used with permission

Soleil

PSR B1257+12

Mercure



Venus



Terre



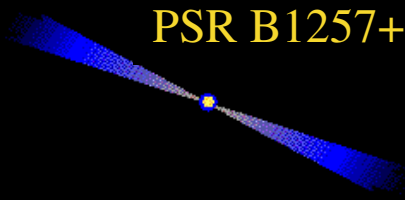
Planète A



Planète B



Planète C

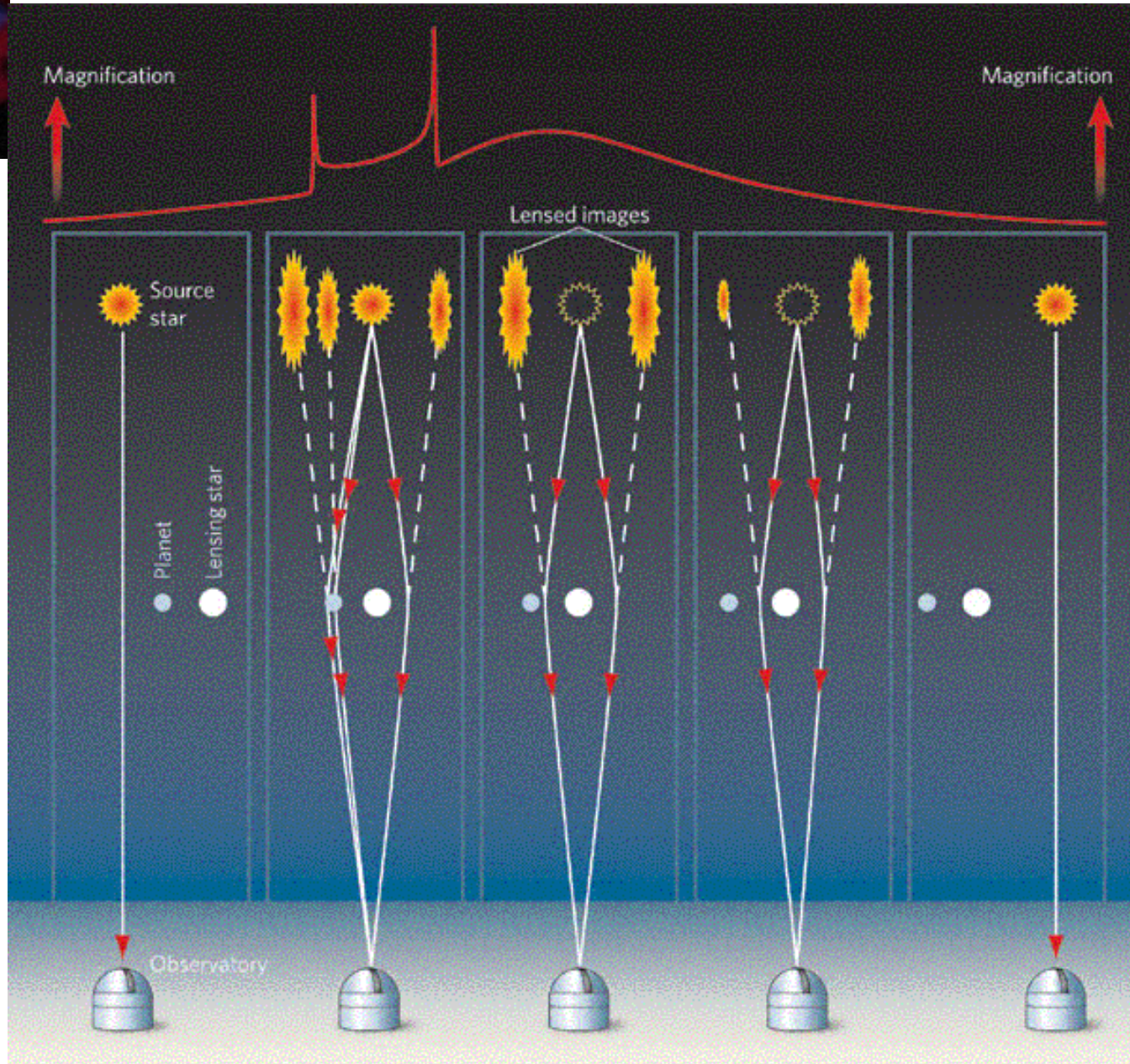


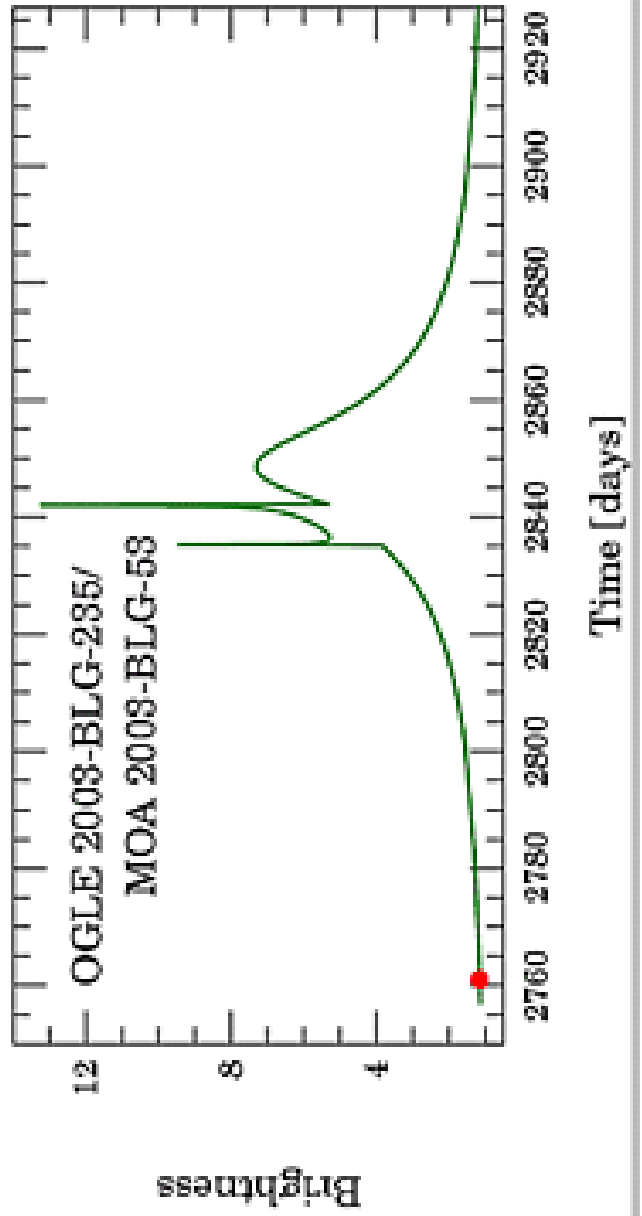
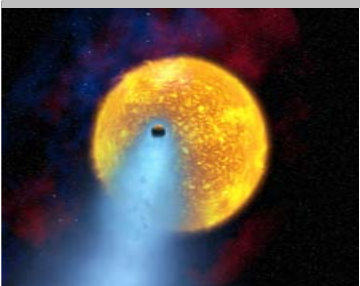
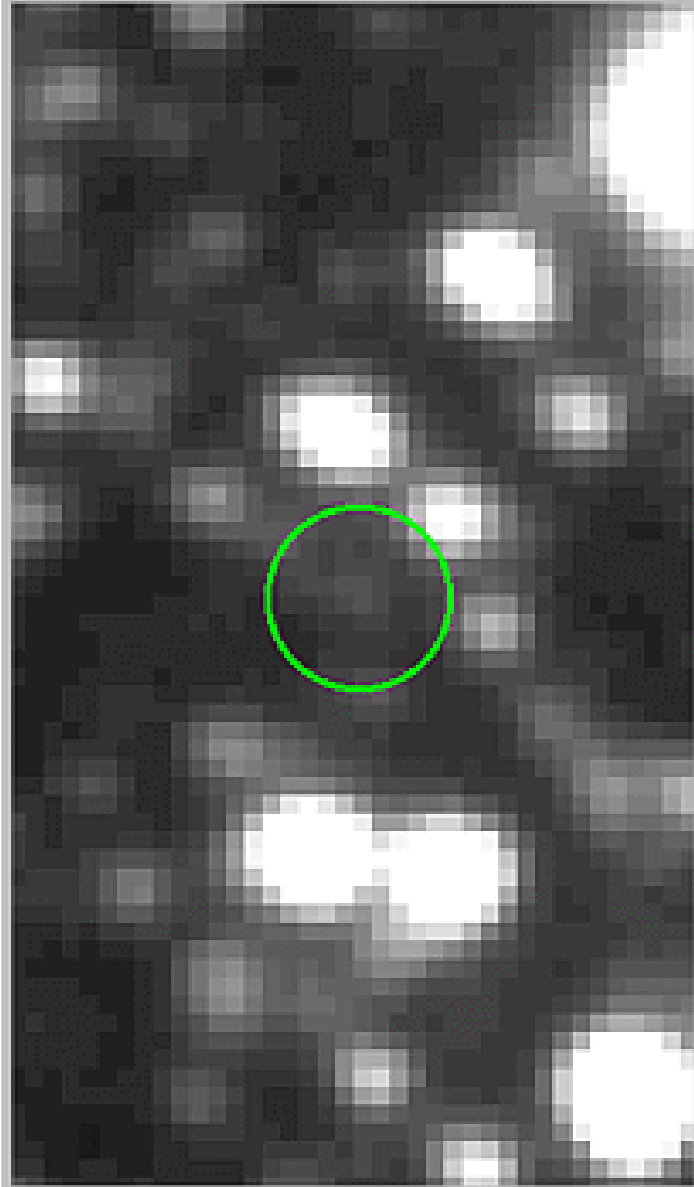
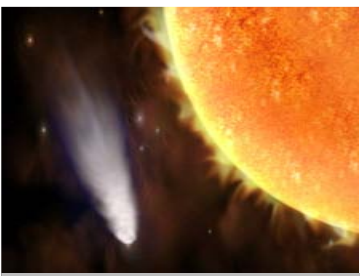


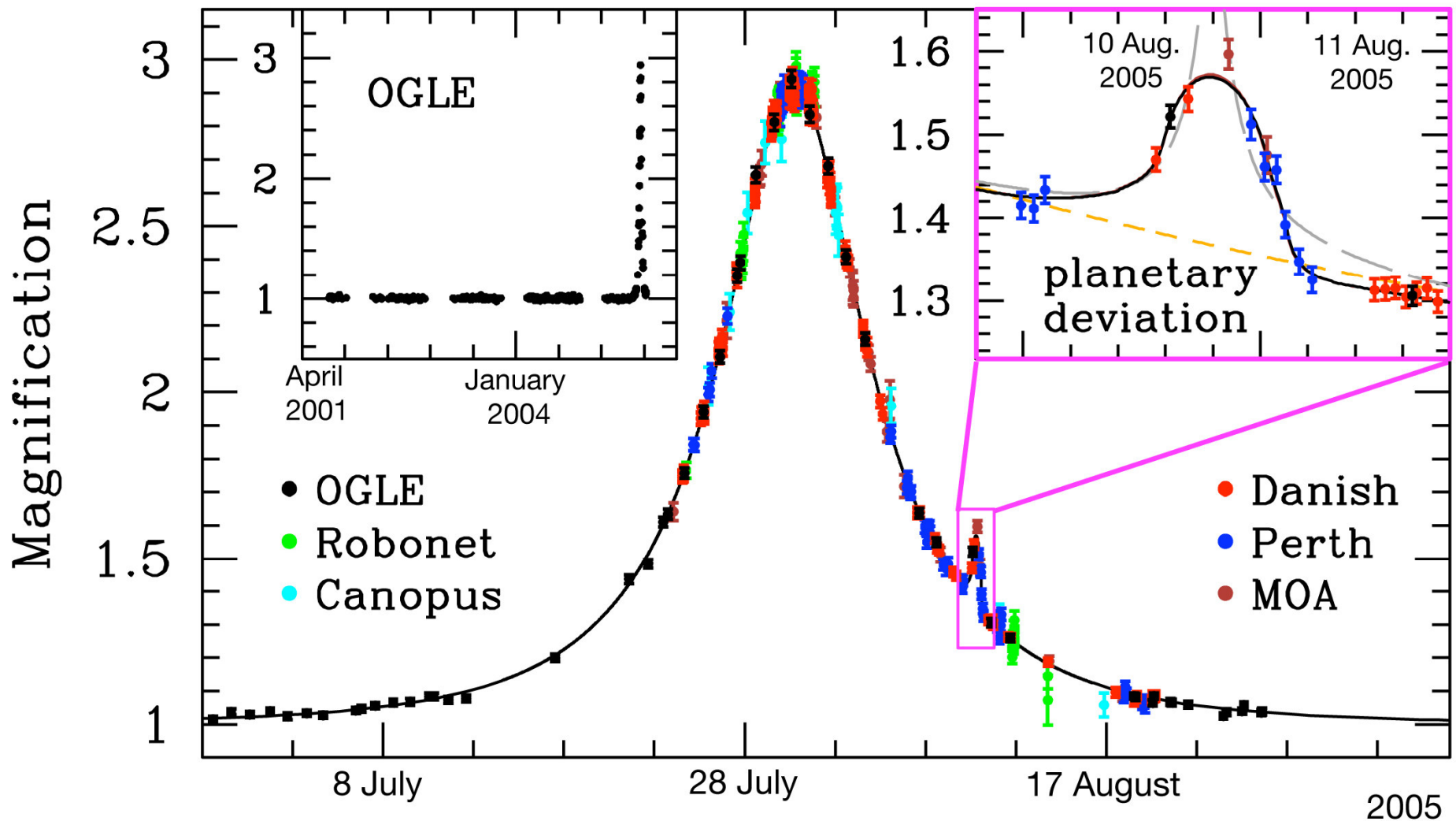
Copyright Lynette Cook  
Used with permission



# Micro-lentille gravitationnelle

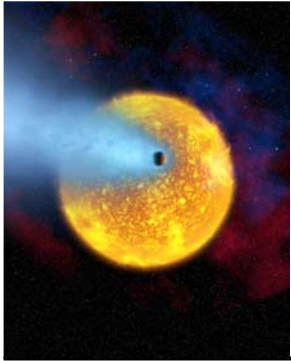






## Light Curve of OGLE-2005-BLG-390

*The first cool rocky-icy planet (about 5 Earth masses)*



**26 Mars 2006**



**185 planètes**

173 par vitesses radiales

4 par microlentilles

4 par imagerie

4 autour de pulsars

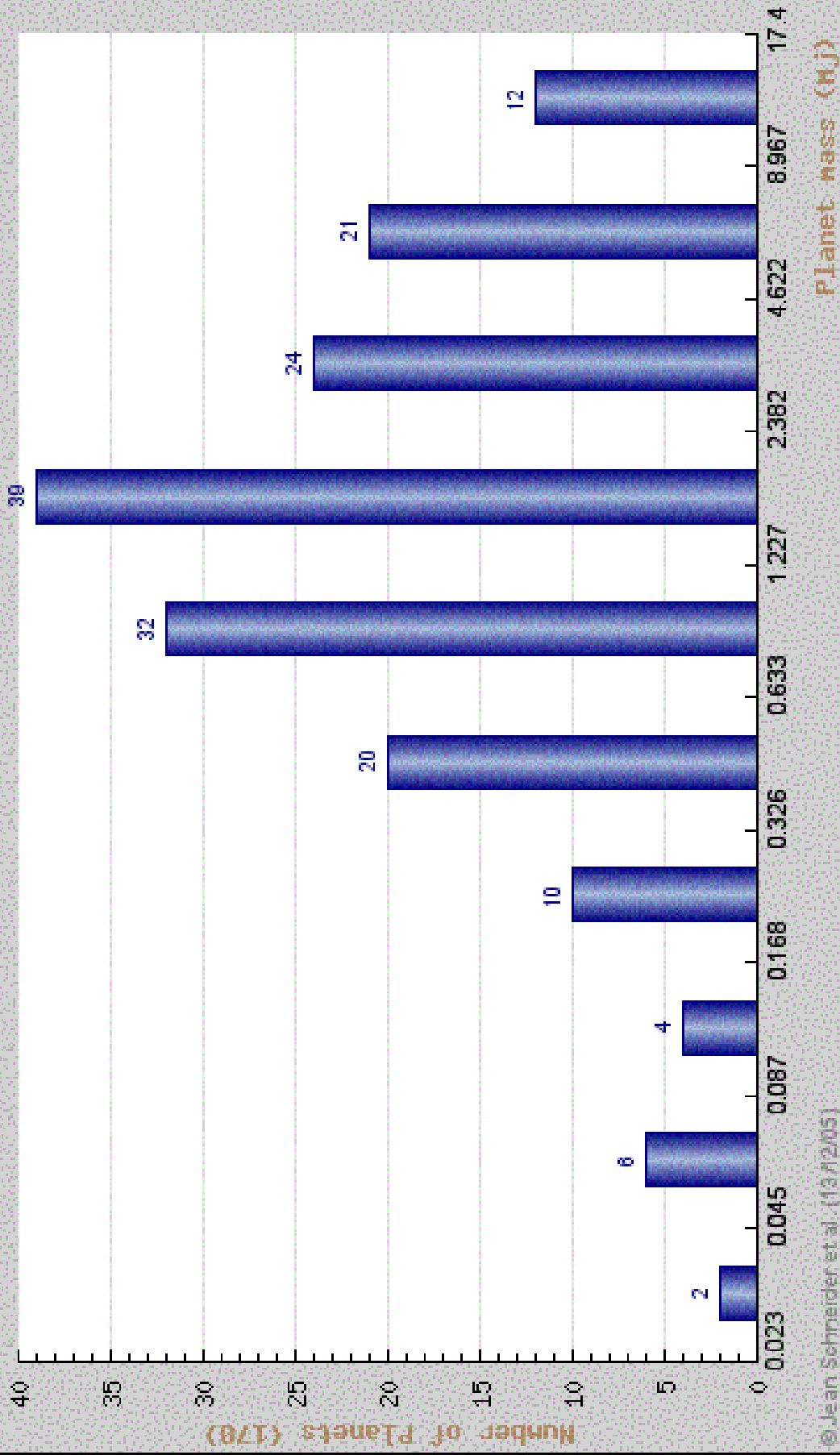
**159 systèmes planétaires**

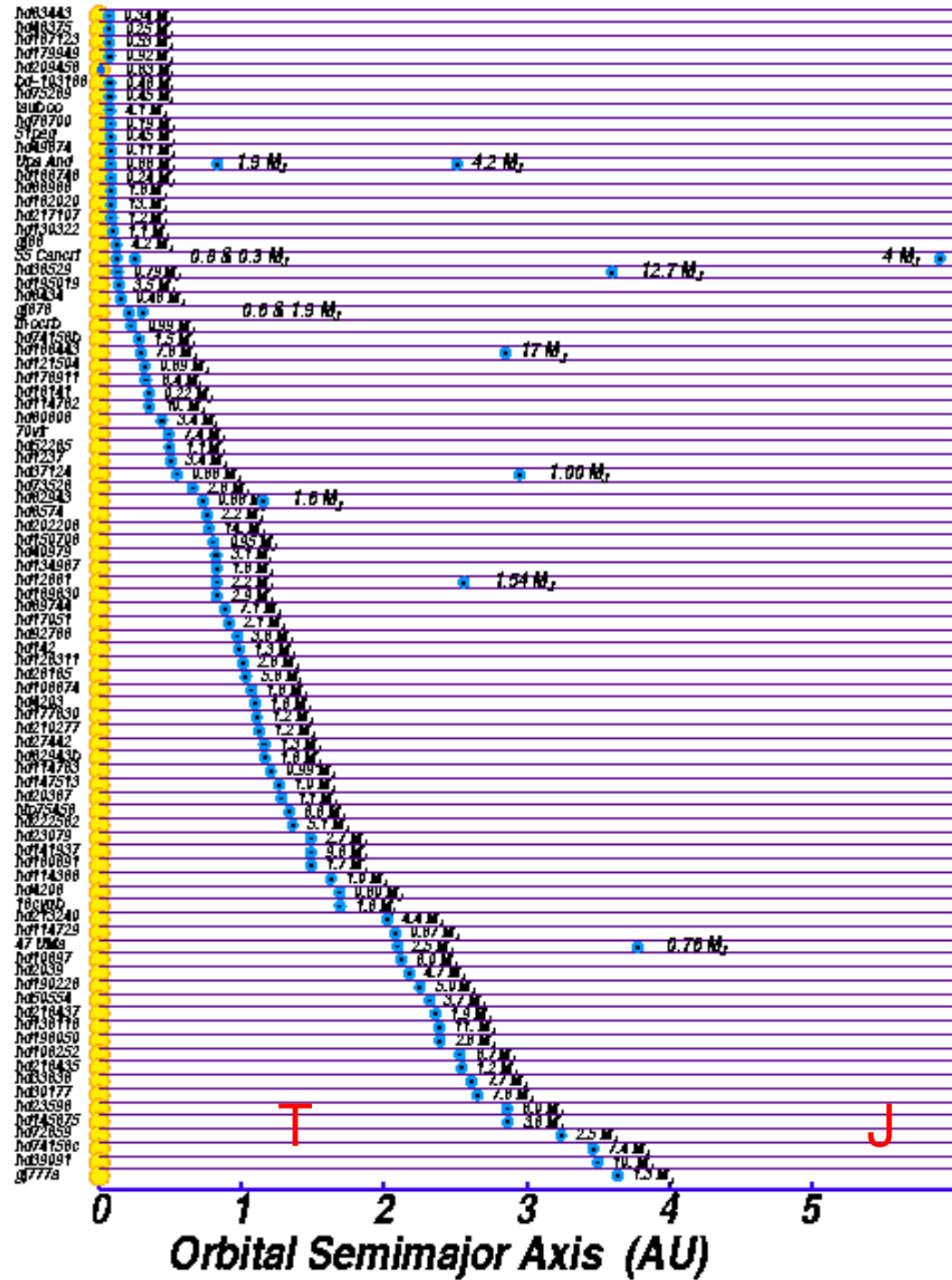
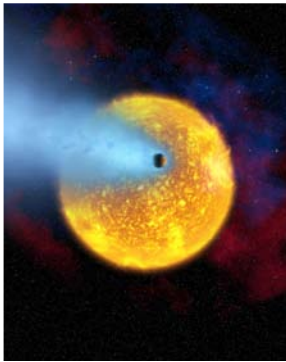
**19 systèmes multiples**

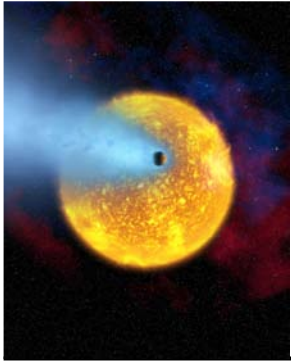
Environ 6% des étoiles proches surveillées

---

# Number of Planets by Mass







## Une autre méthode



L'occultation  
ou transit

---

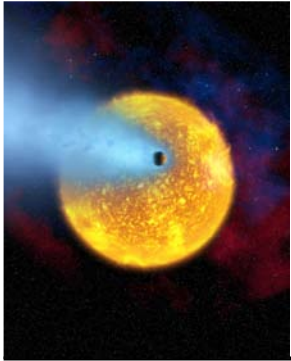




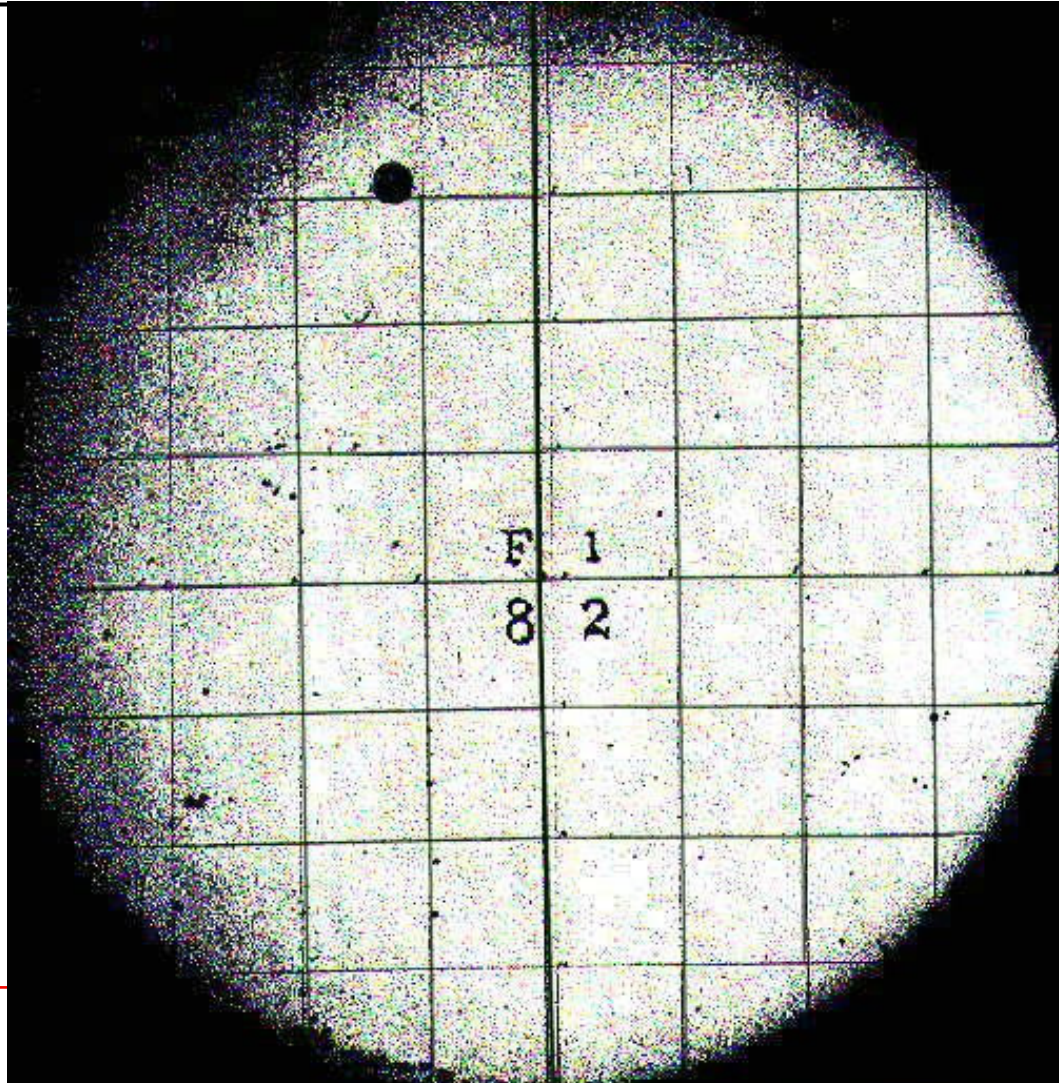


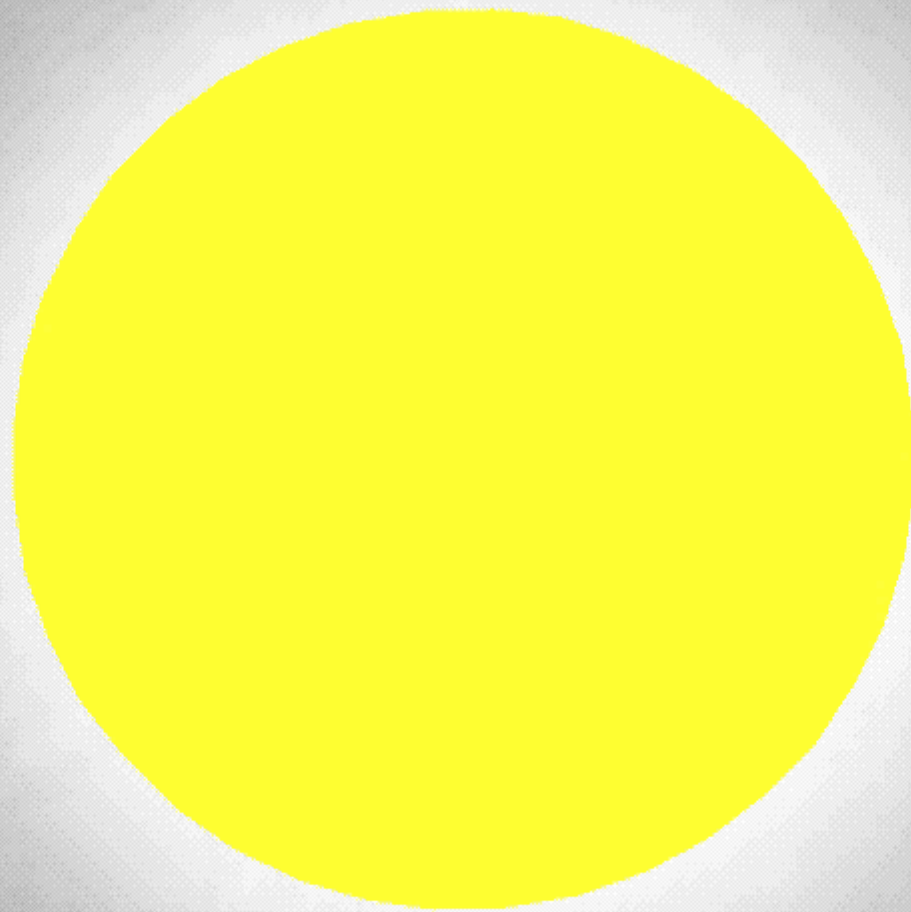
Transit de Mercure et passage d'un avion - 7 mai 2003 - MTO 1000mm et Nikon D1 - ©Philippe JACQUOT

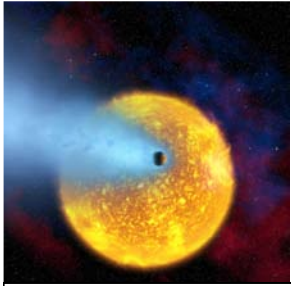
**La première image du transit  
d'une planète tellurique  
devant une étoile de type solaire**



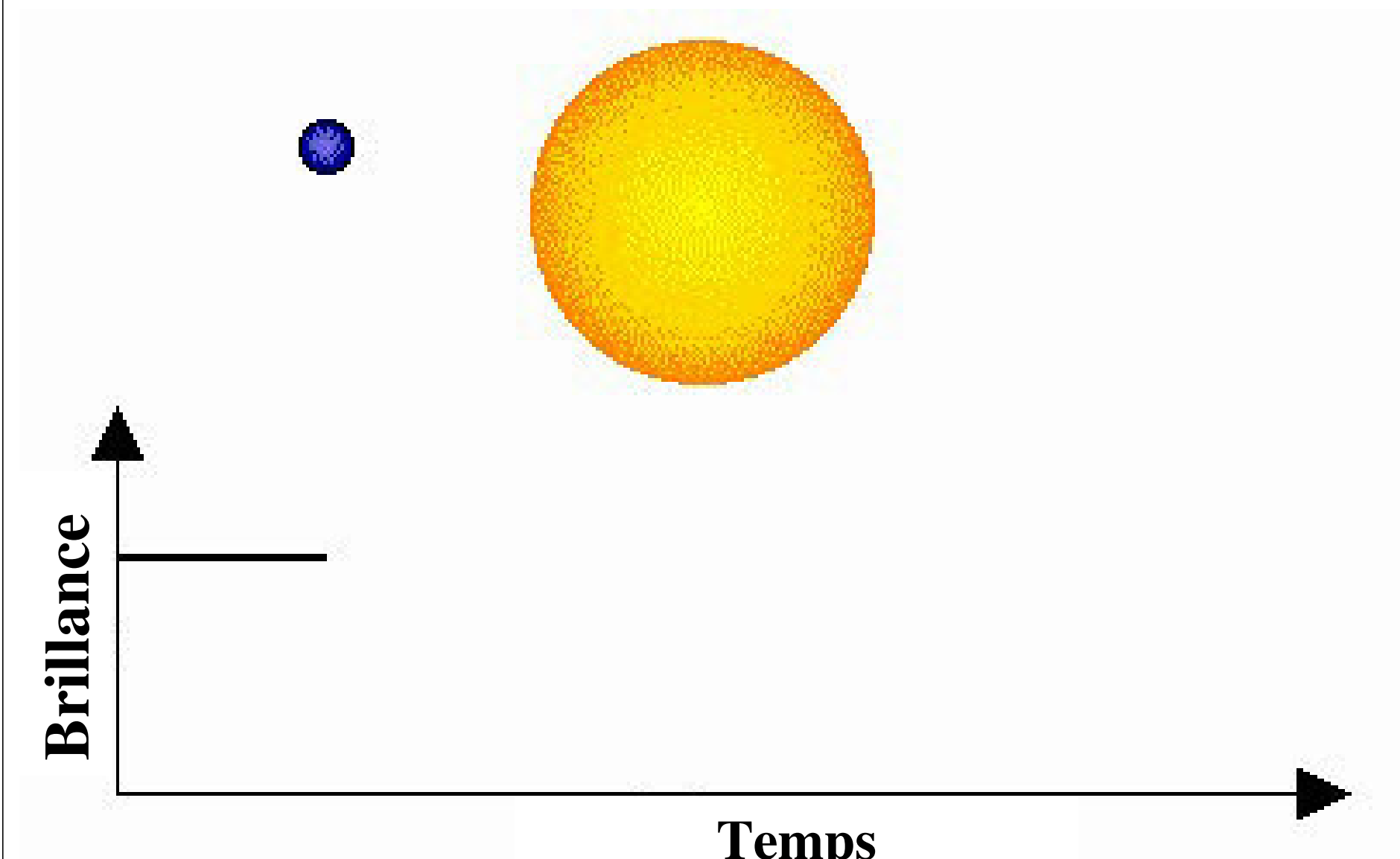
Transit de  
Vénus en  
**1874**

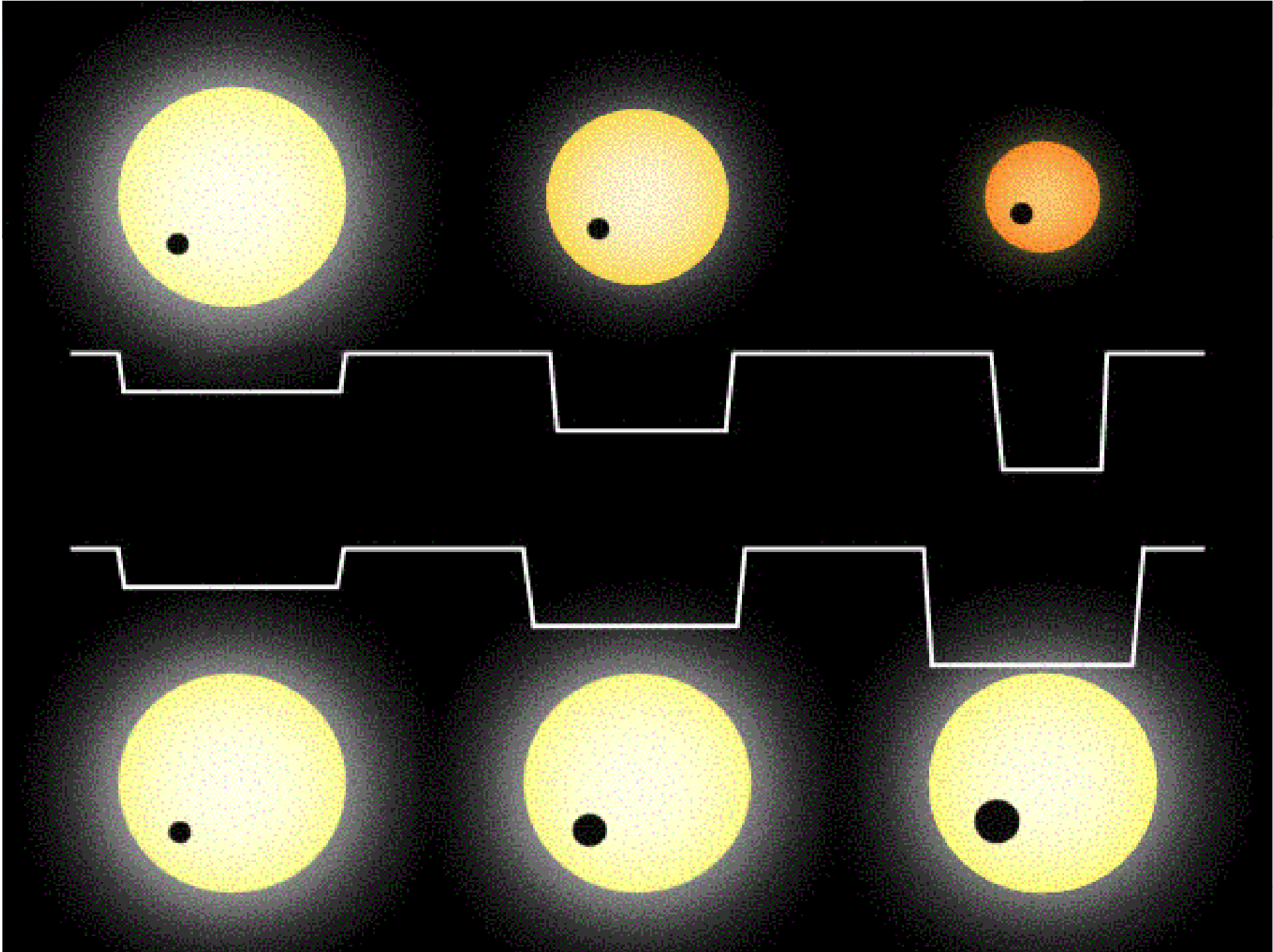






# La photométrie d'un transit

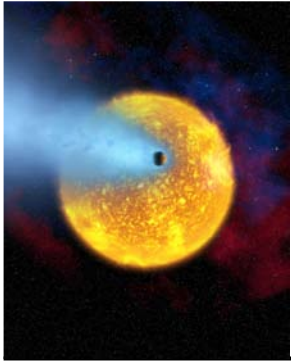




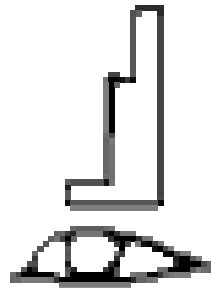


**HD 209458 b**

---



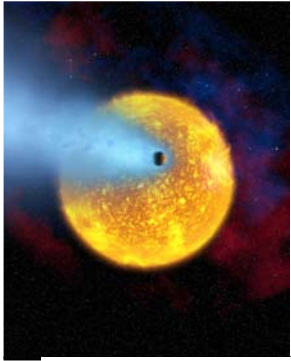
# HD 209458 b ou OSIRIS



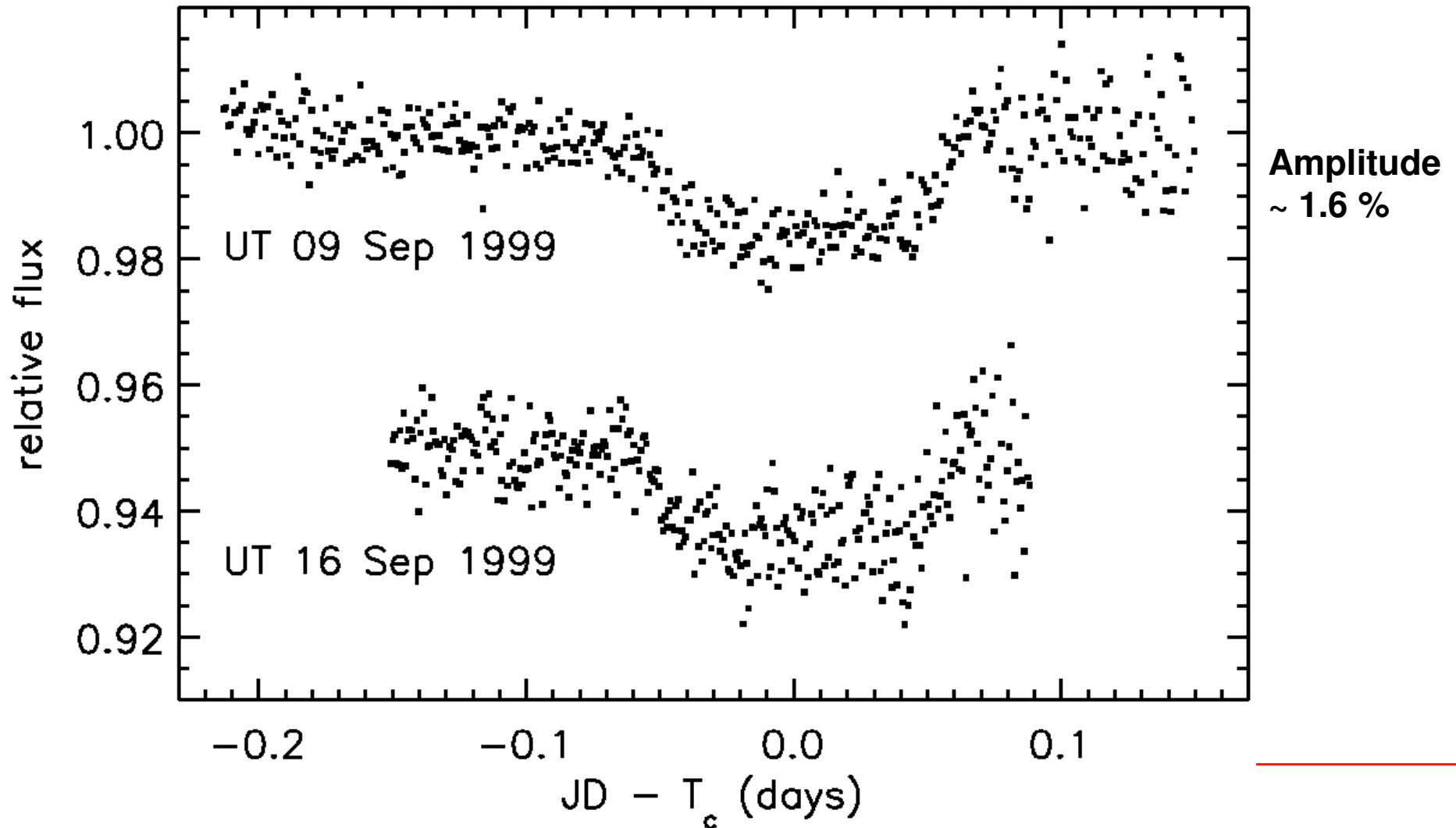
*Osiris fut coupé en morceaux éparpillés sur toute l'Égypte par son frère Seth pour empêcher son retour à la vie...*







# Le transit d'Osiris

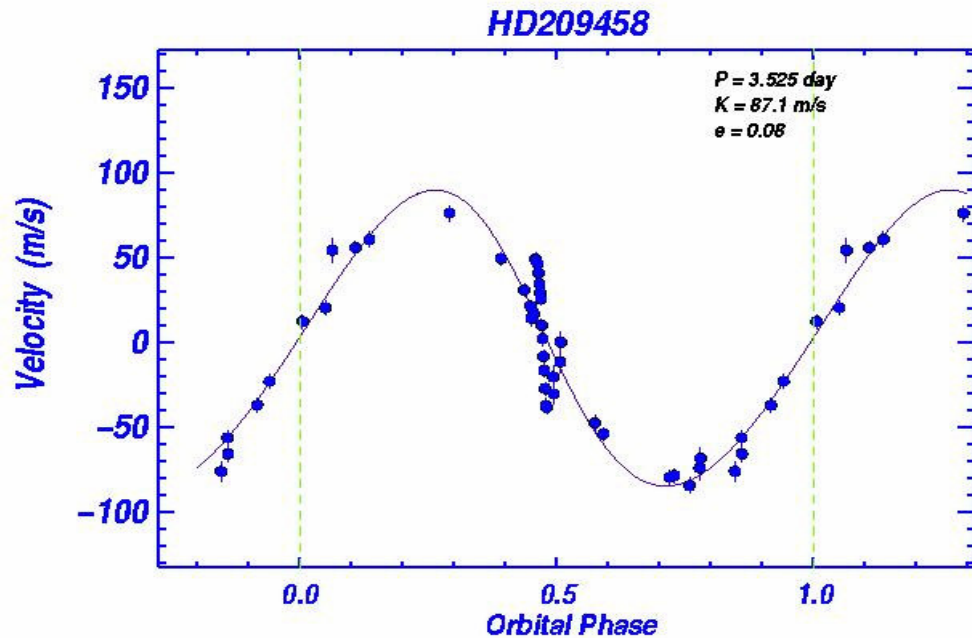




# Vitesse Radiales / Occultation

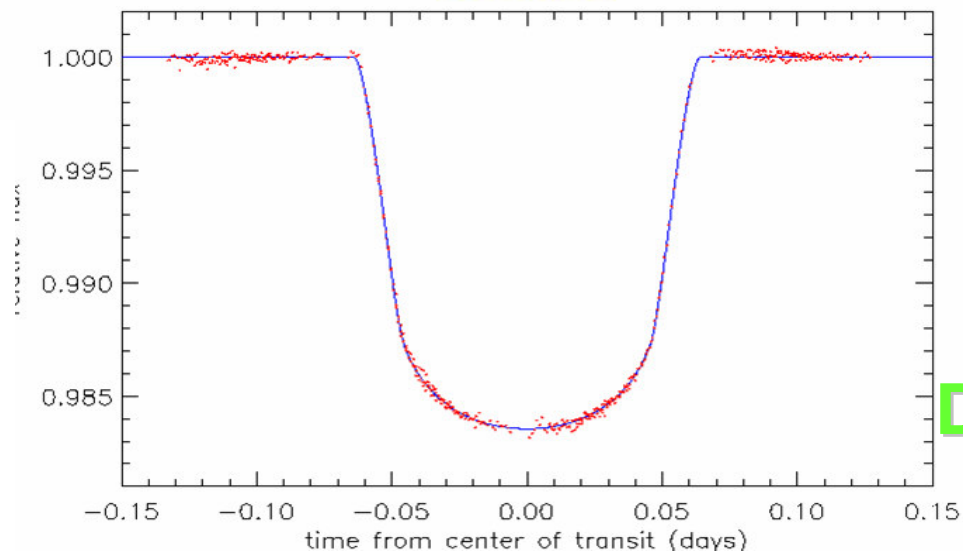


## Osiris



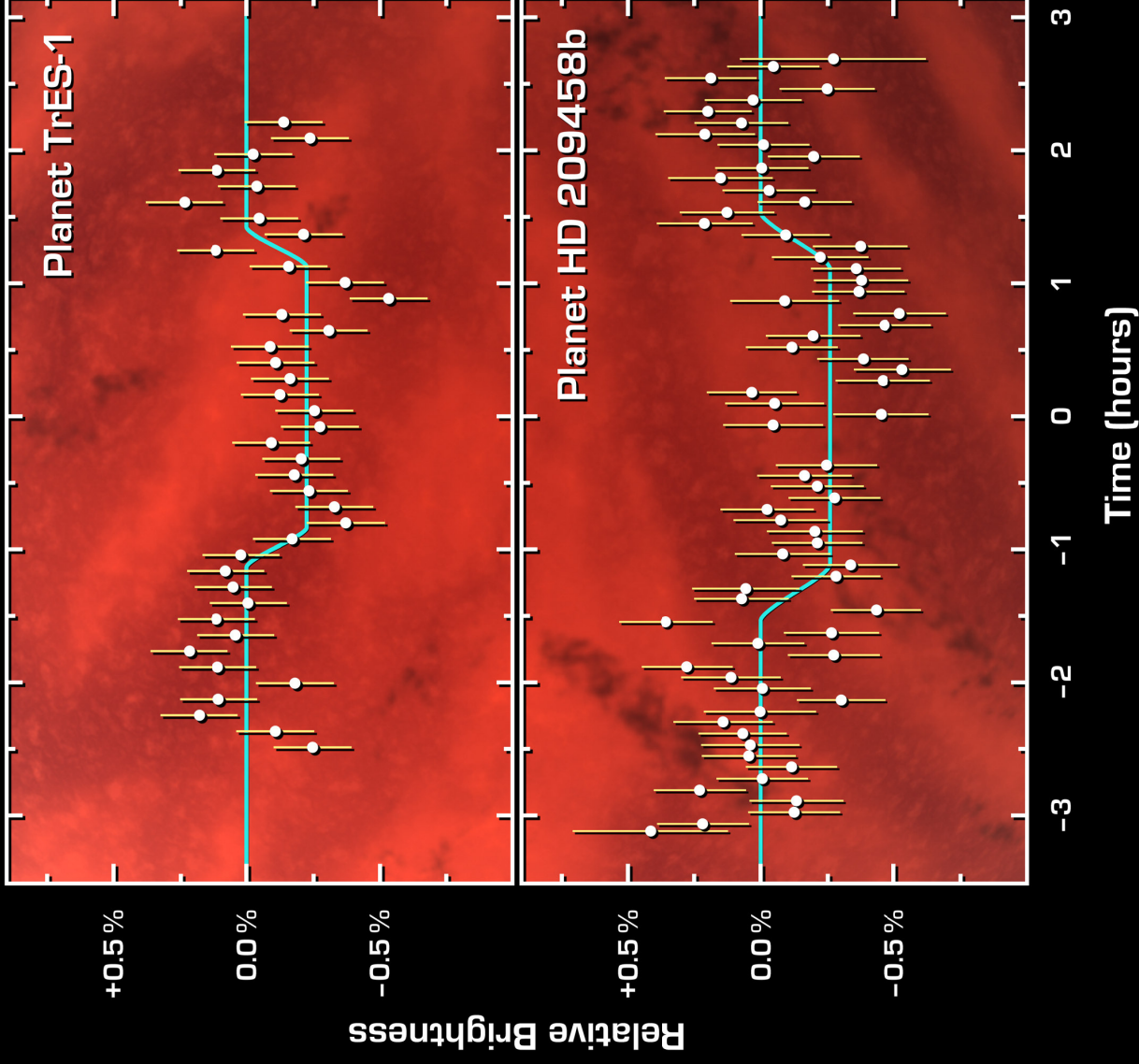
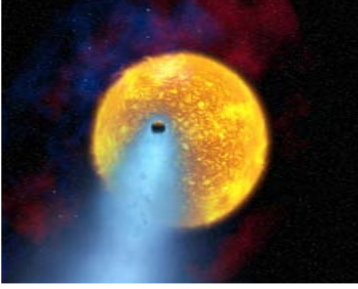
Période = 3.524738 jours

Masse =  $0.66 \pm 0.03 M_{\text{Jupiter}}$



Rayon =  $1.35 \pm 0.06 R_{\text{Jupiter}}$

Densité =  $0.35 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$



**Planetary Eclipses Spitzer Space Telescope • IRAC • MIPS**

NASA / JPL-Caltech / D. Charbonneau (Harvard-Smithsonian CfA)  
D. Deming (Goddard Space Flight Center)

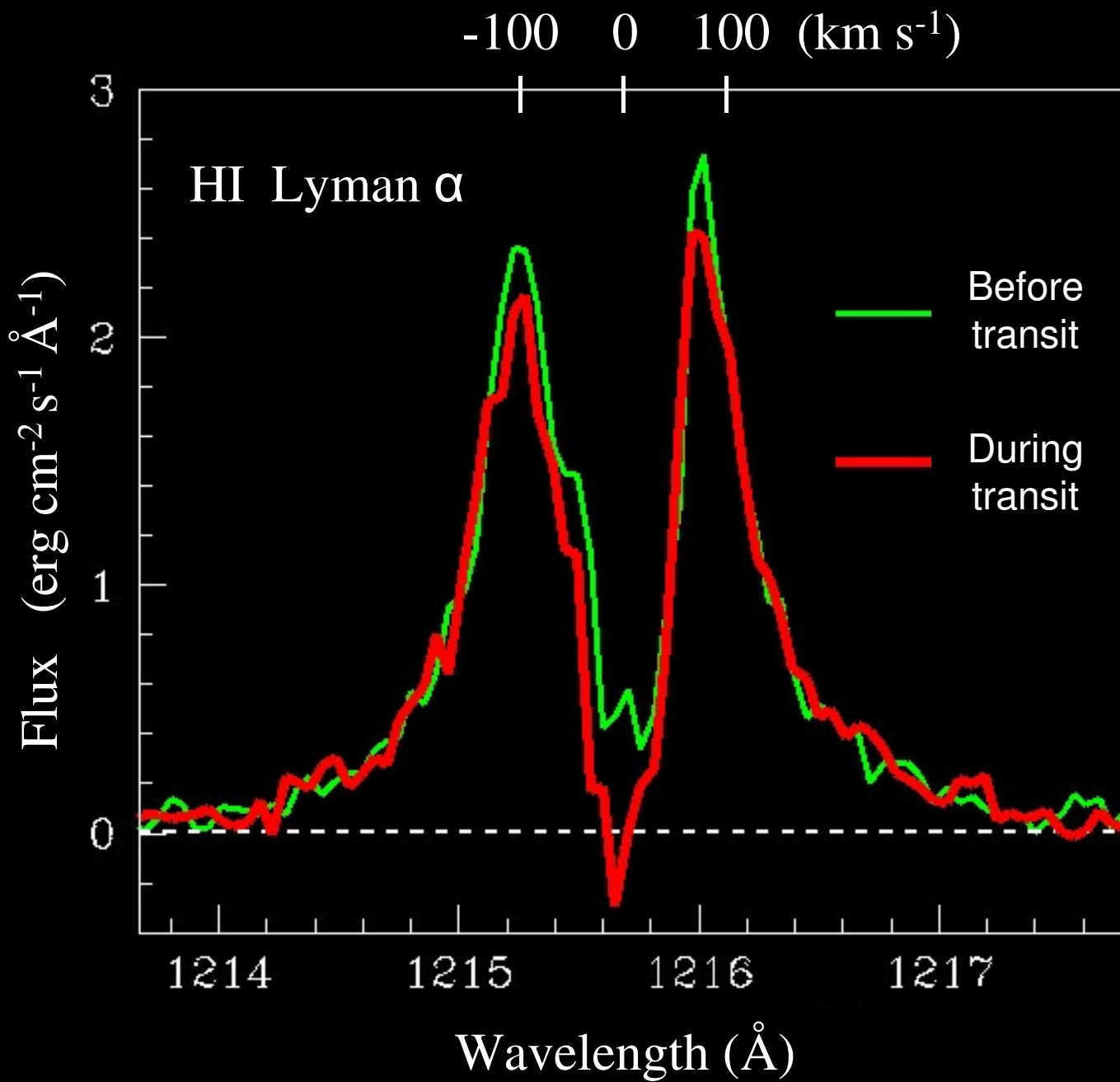
ssc2005-09a

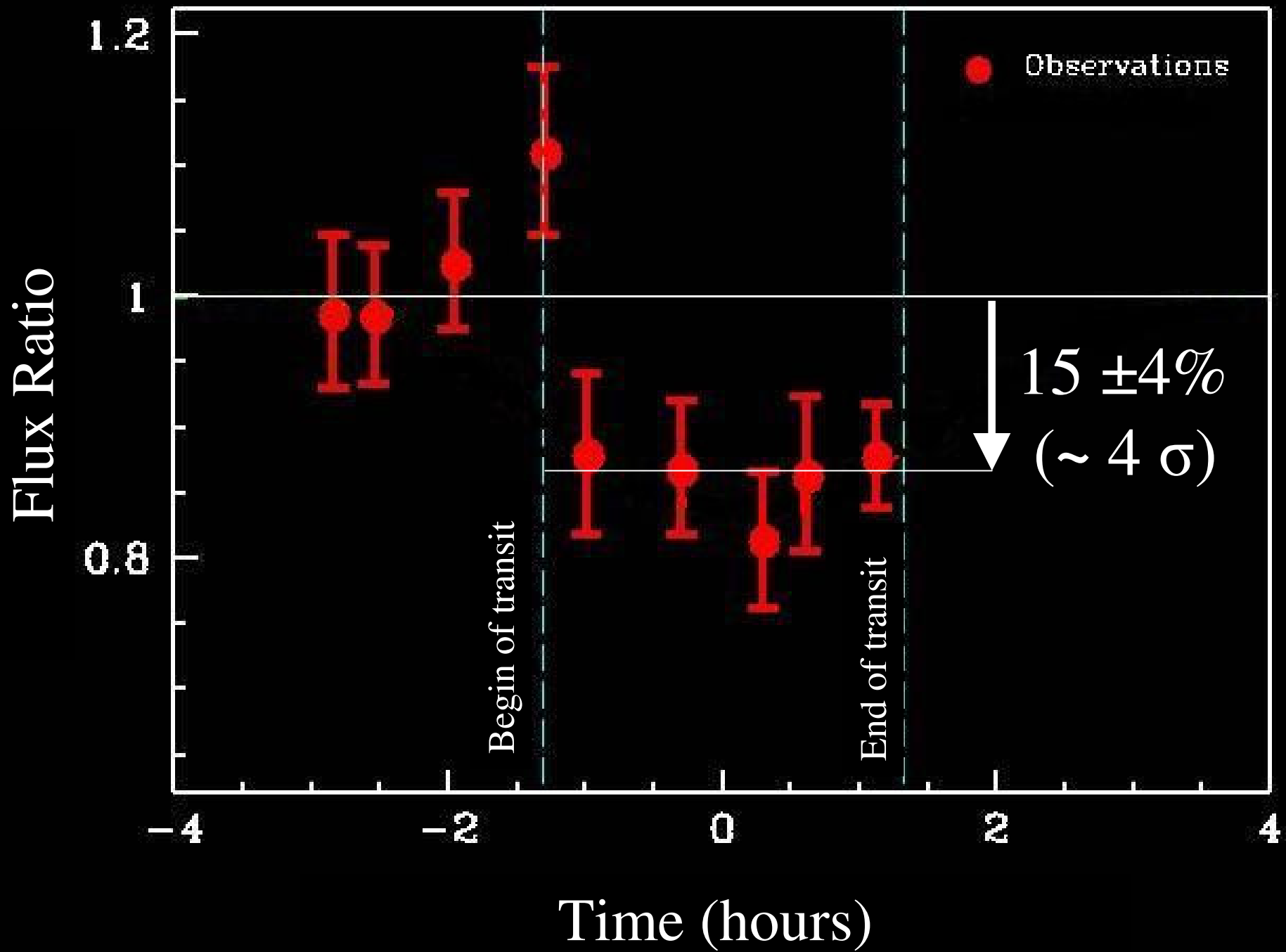


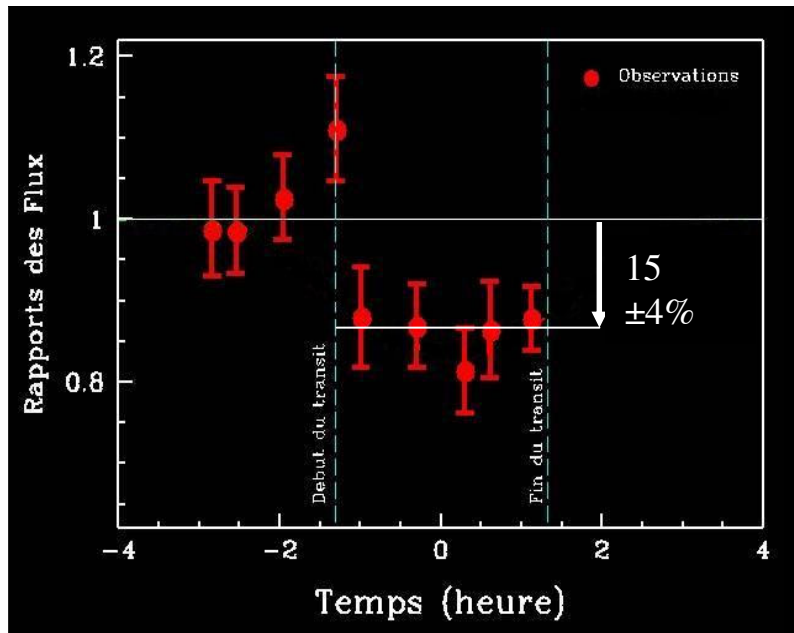
**Atmosphère, atmosphère...**

---

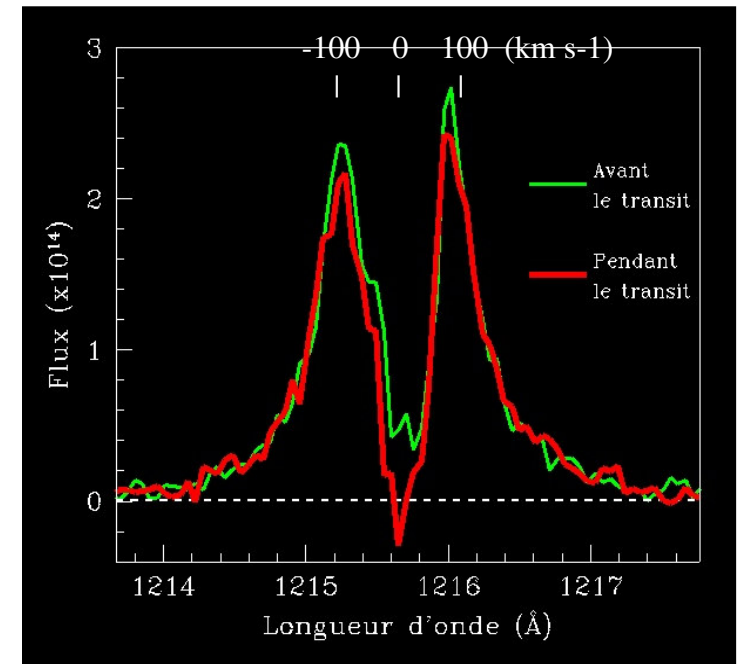
HD209458







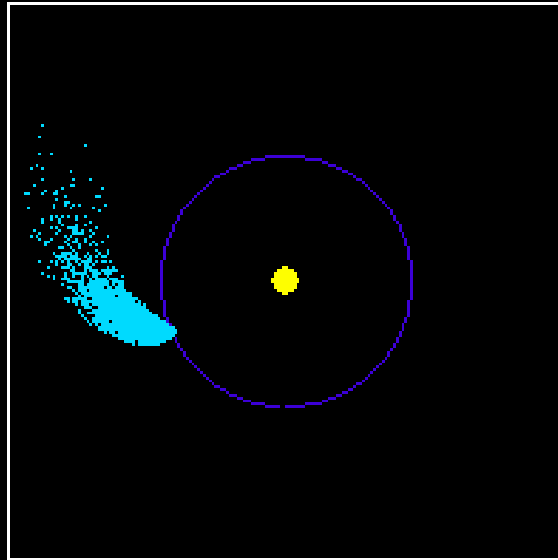
## 2 contraintes



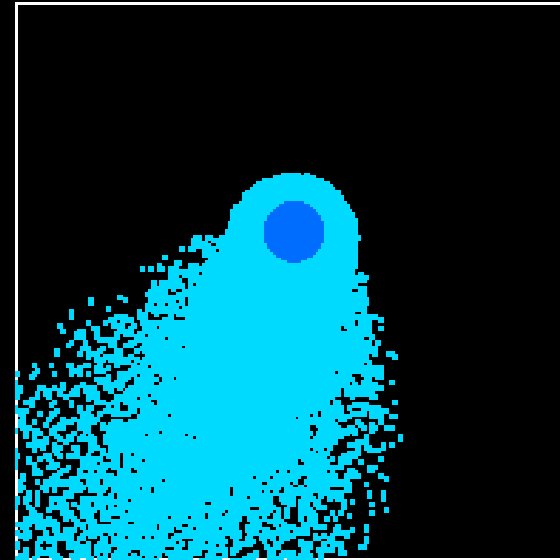
- HD209458b seule ( $1.35 R_{\text{Jupiter}} = 96,500 \text{ km}$ )  
 Lobe de Roche rempli ( $2.7 R_{\text{Osiris}} = 3.6 R_{\text{Jupiter}}$ )  
 Hydrogène: **15 % absorption** →  $3.2 R_{\text{Osiris}} = 4.3 R_{\text{Jupiter}} = 300\,000 \text{ km}$   
 → **Au-delà de la sphère d'influence** ⇒ **l'hydrogène s'échappe**
- Absorption: de  $-130 \text{ km/s}$  à  $100 \text{ km/s}$   
 $V_{\text{lib}} = 54 \text{ km/s}$   
 → **Au-delà de la vitesse d'échappement** ⇒ **l'hydrogène s'échappe**

**→ La planète s'évapore**

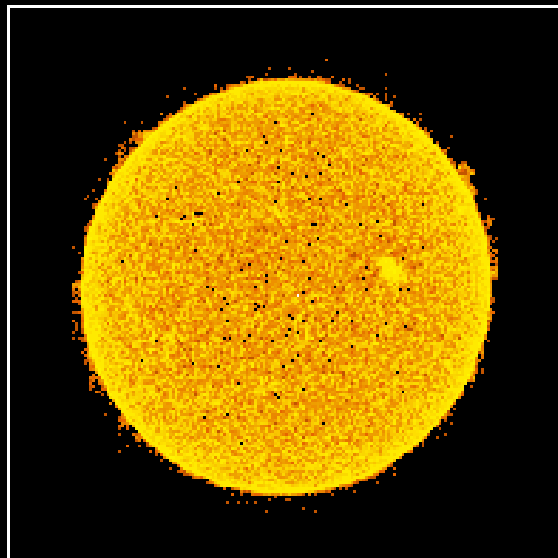
Systeme Etoile-Planete vu de dessus



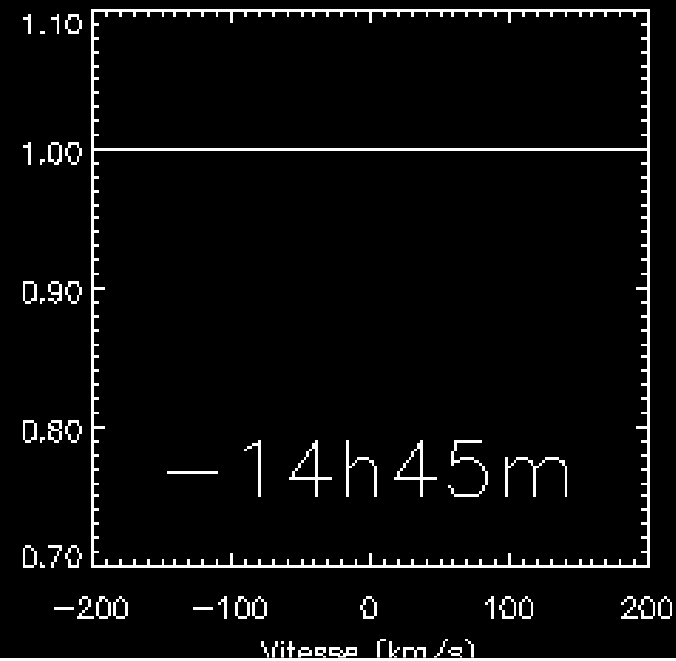
Planete vue de dessus



Etoile vue de la Terre

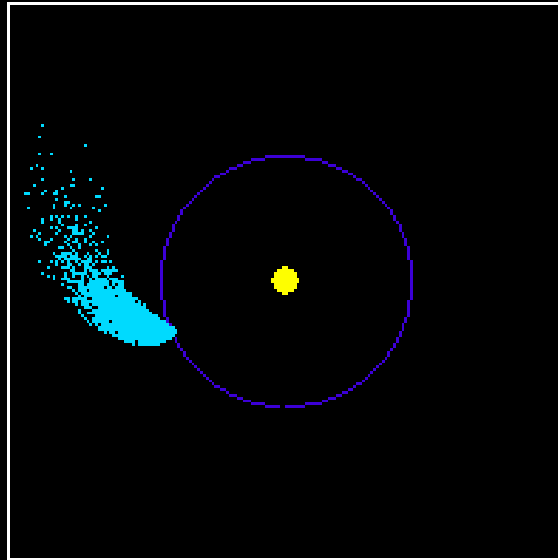


Spectre

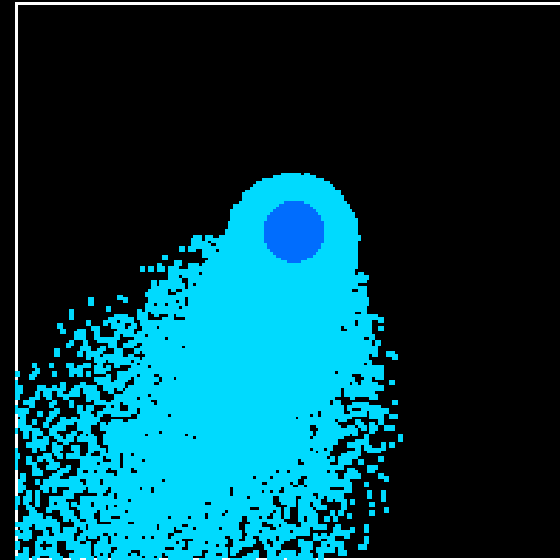




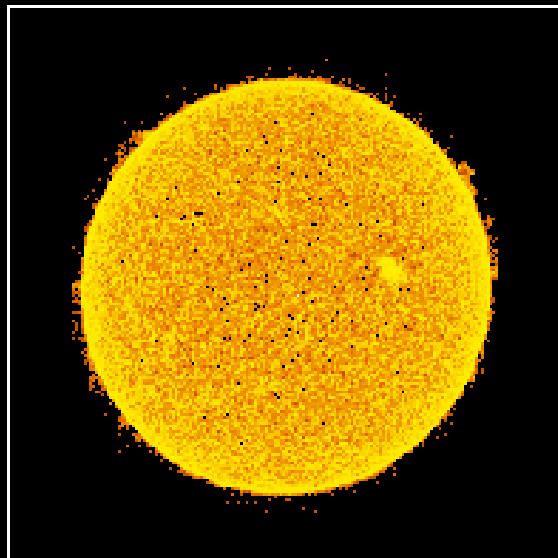
Systeme Etoile-Planete vu de dessus



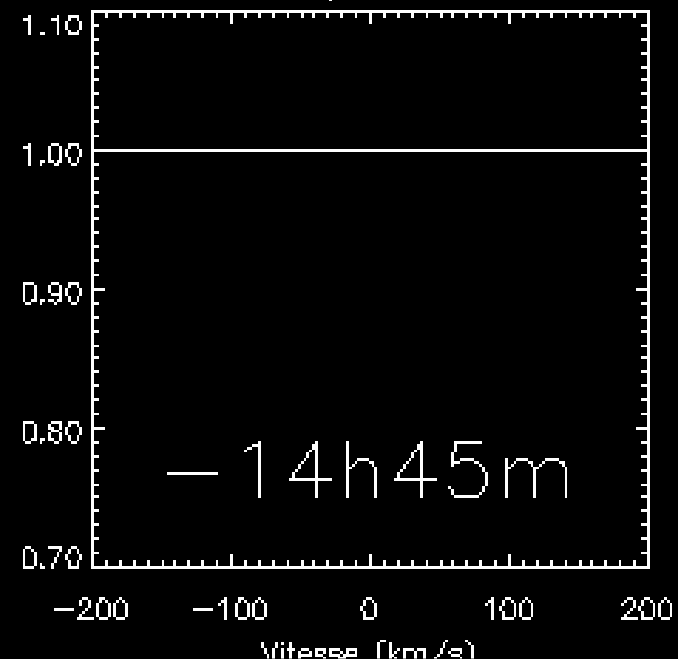
Planete vue de dessus



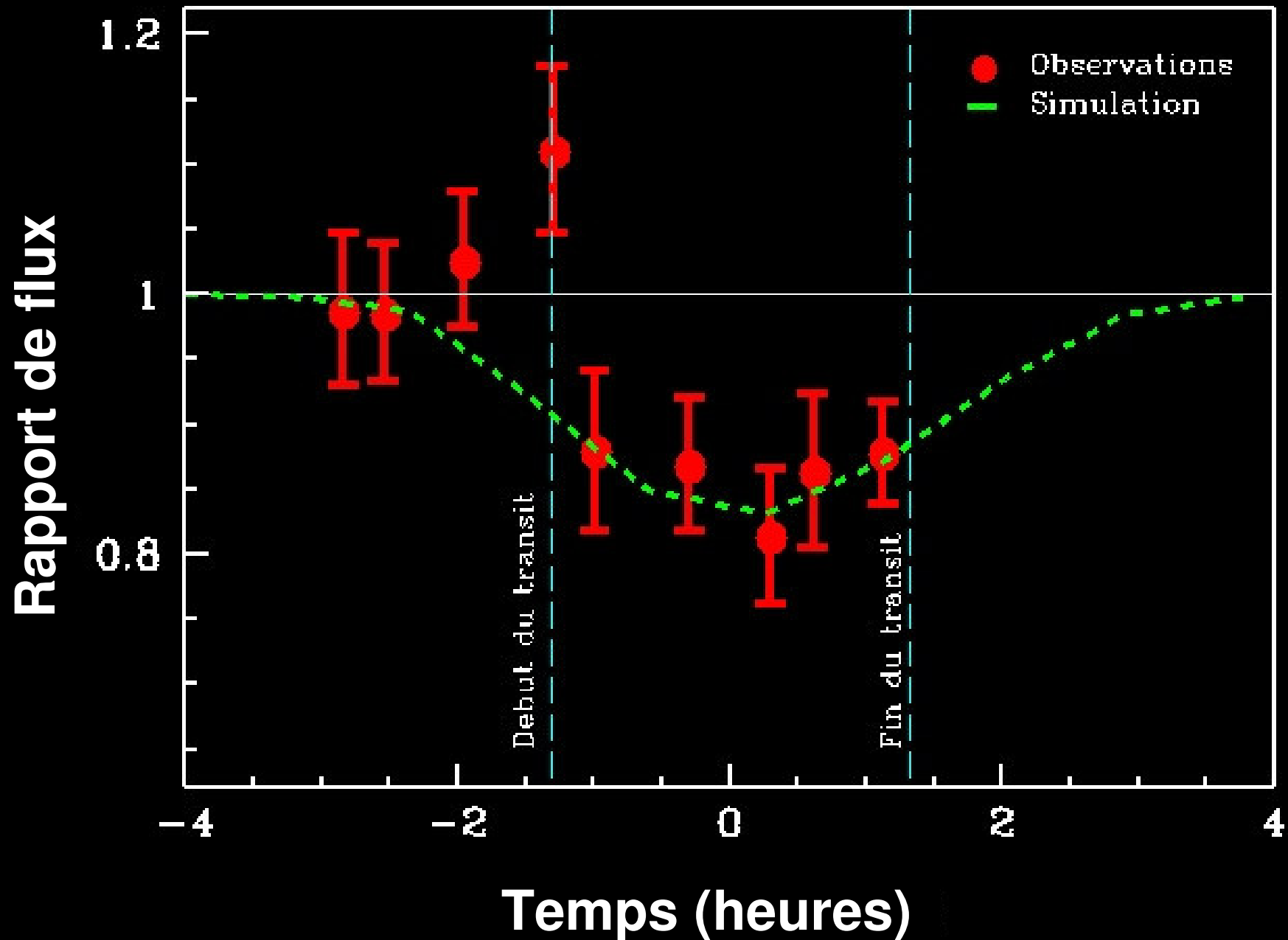
Etoile vue de la Terre

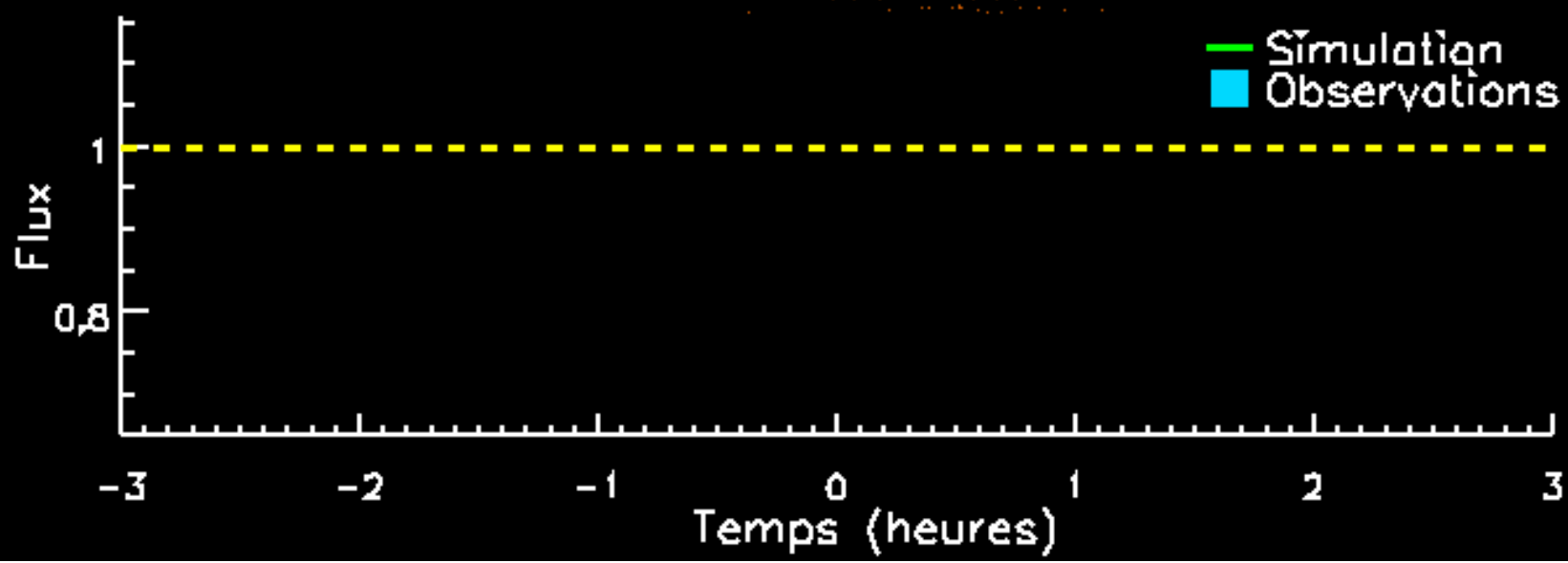
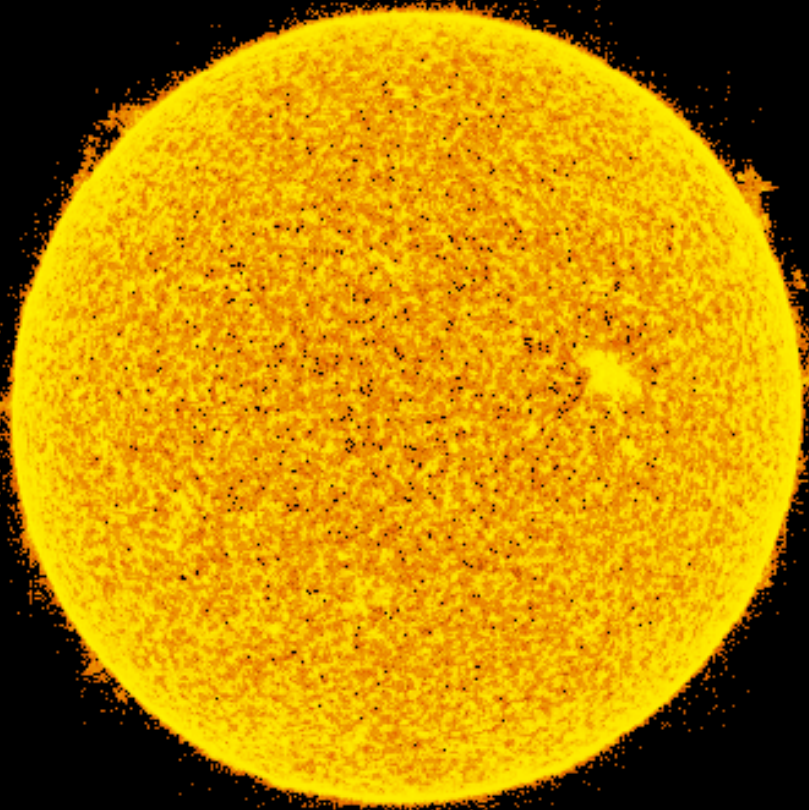


Spectre

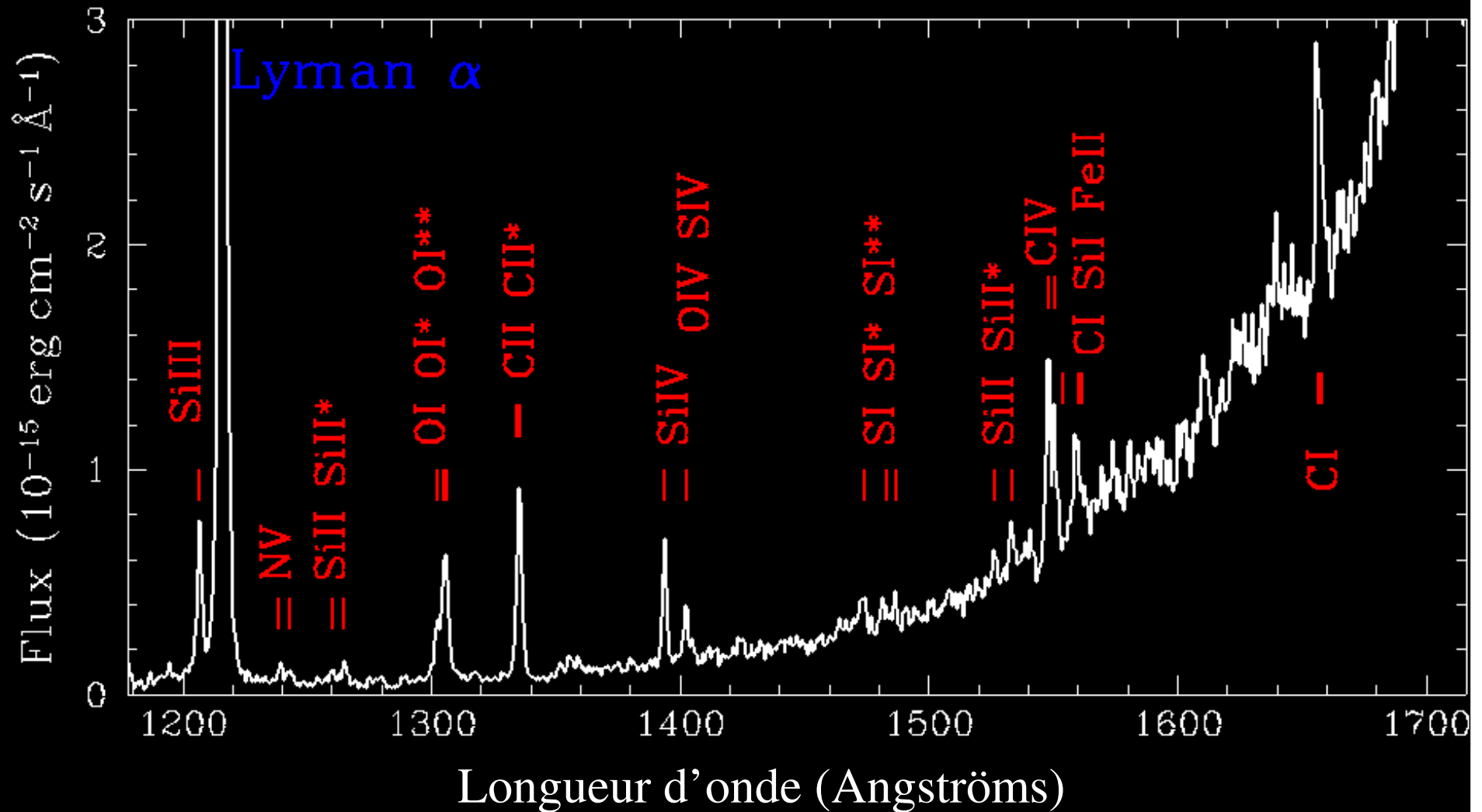


# Taux d'échappement $> 10^{10}$ g/s

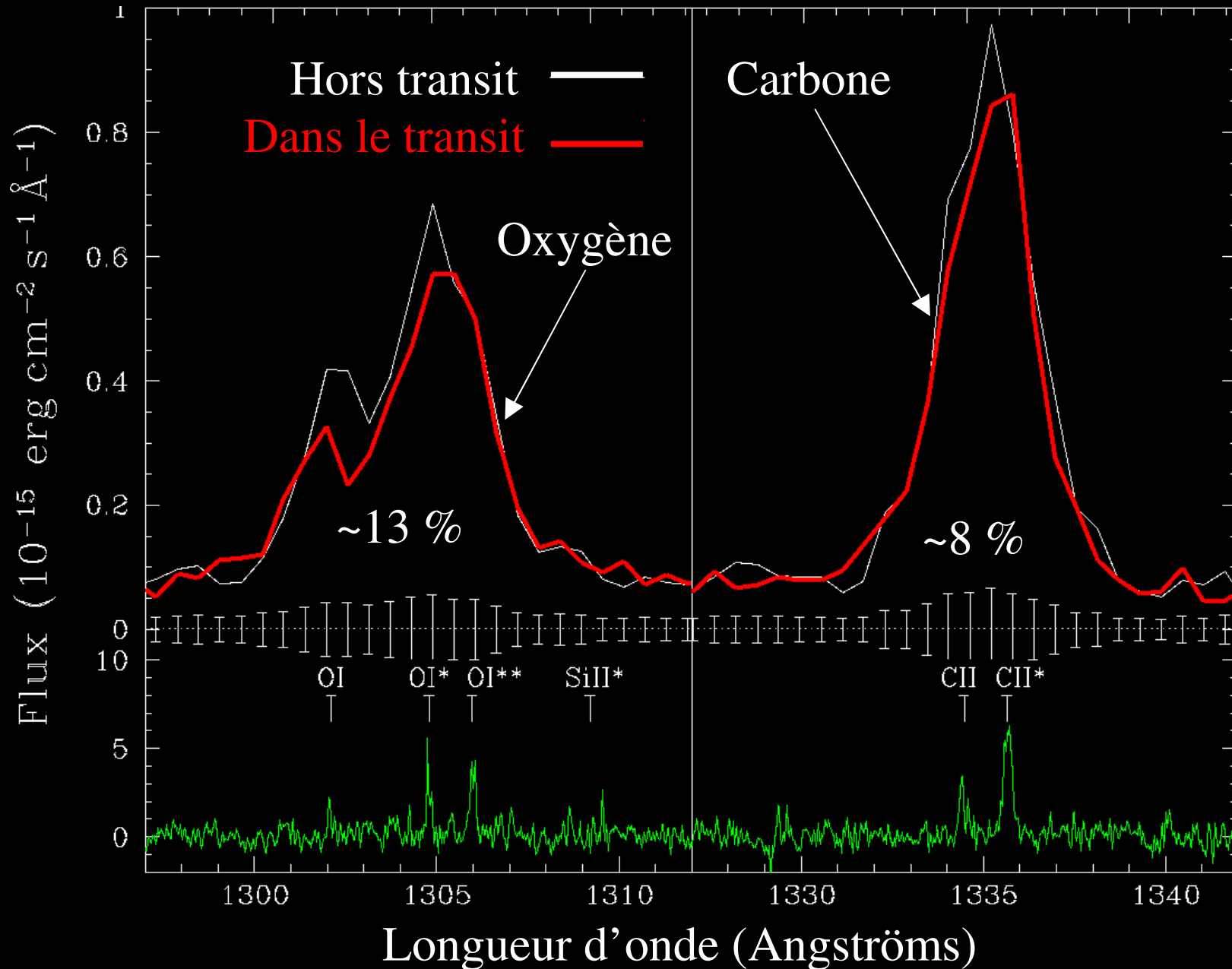




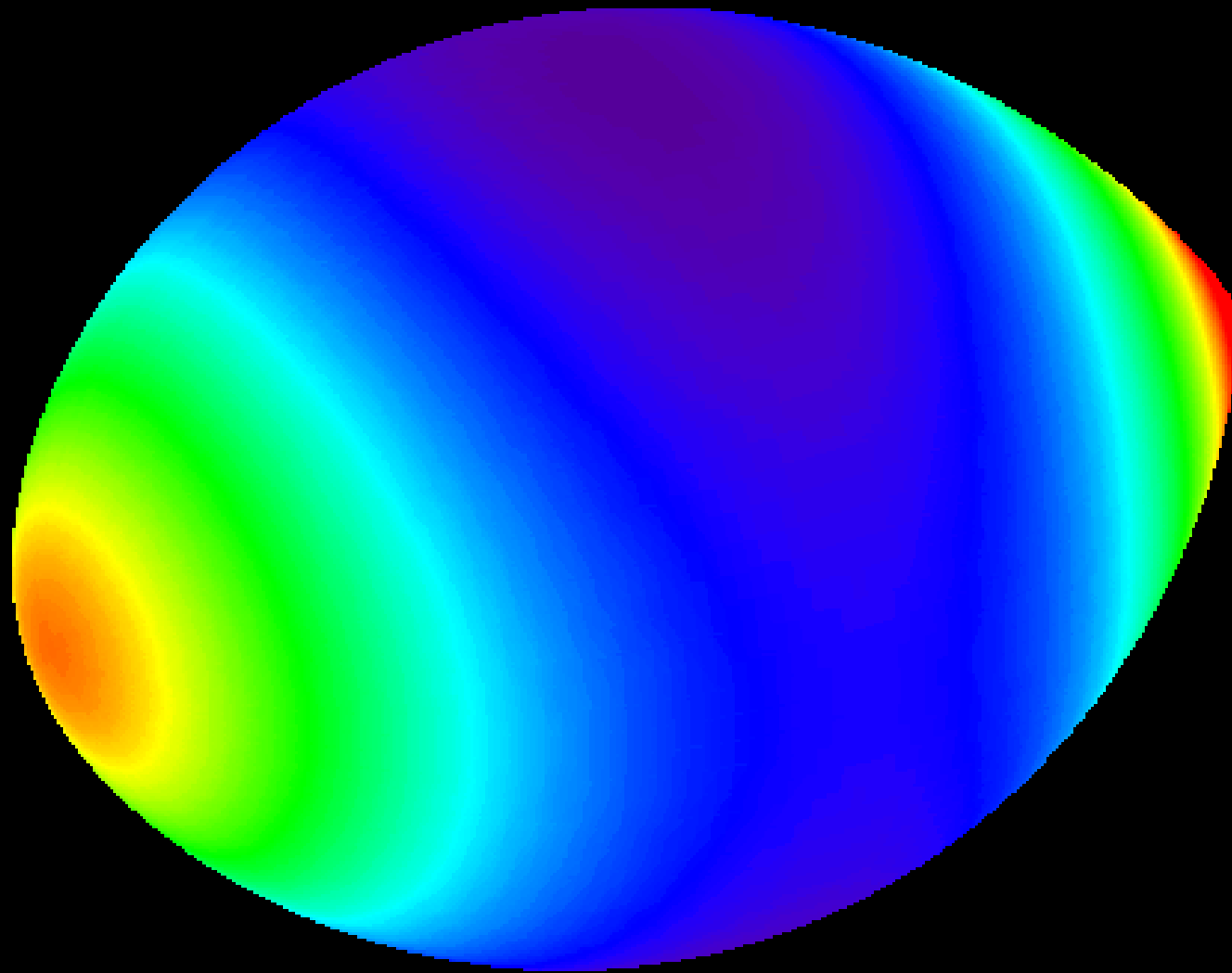
# Les nouvelles observations

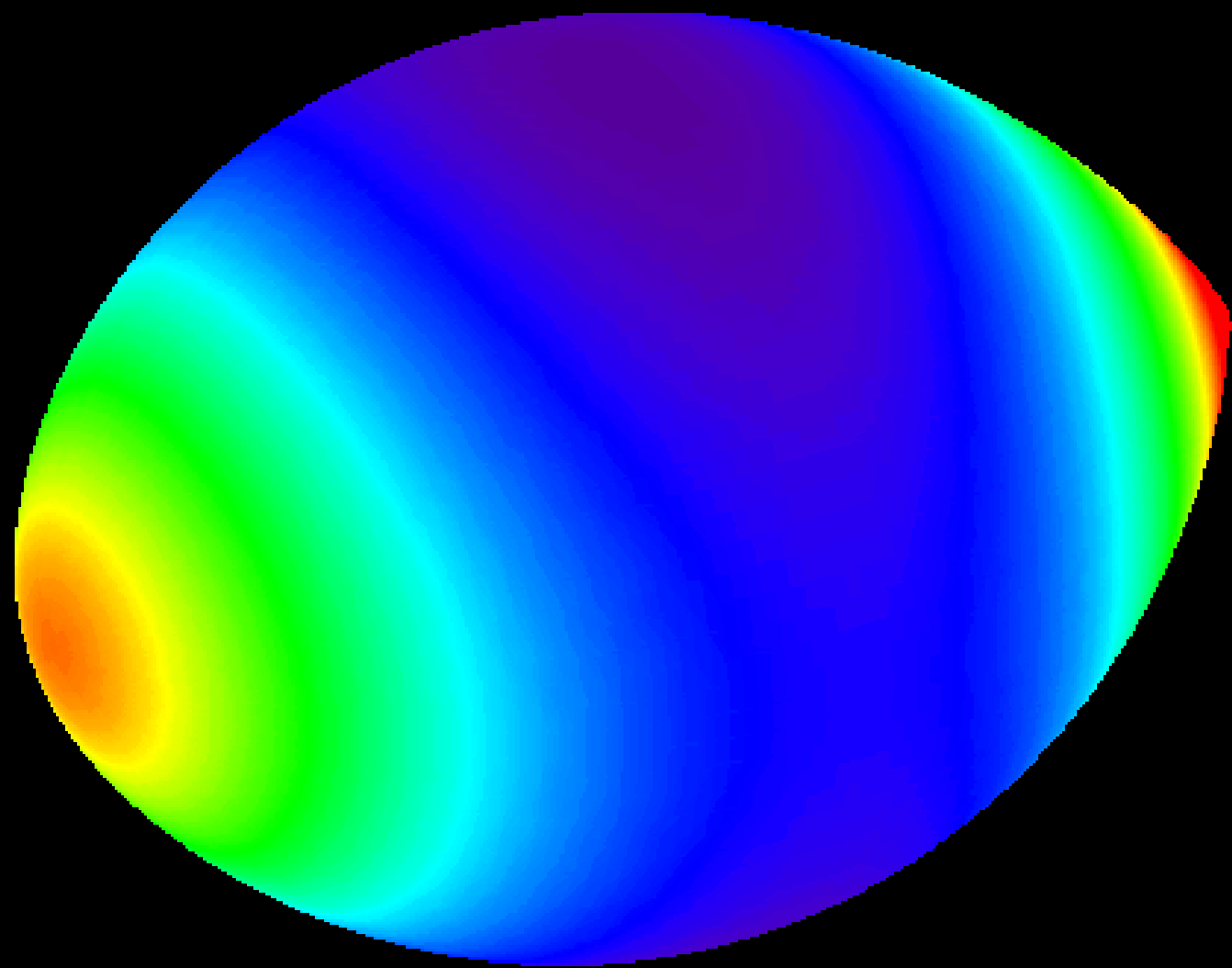


# 1<sup>ère</sup> Détection de Carbone et d'Oxygène !!

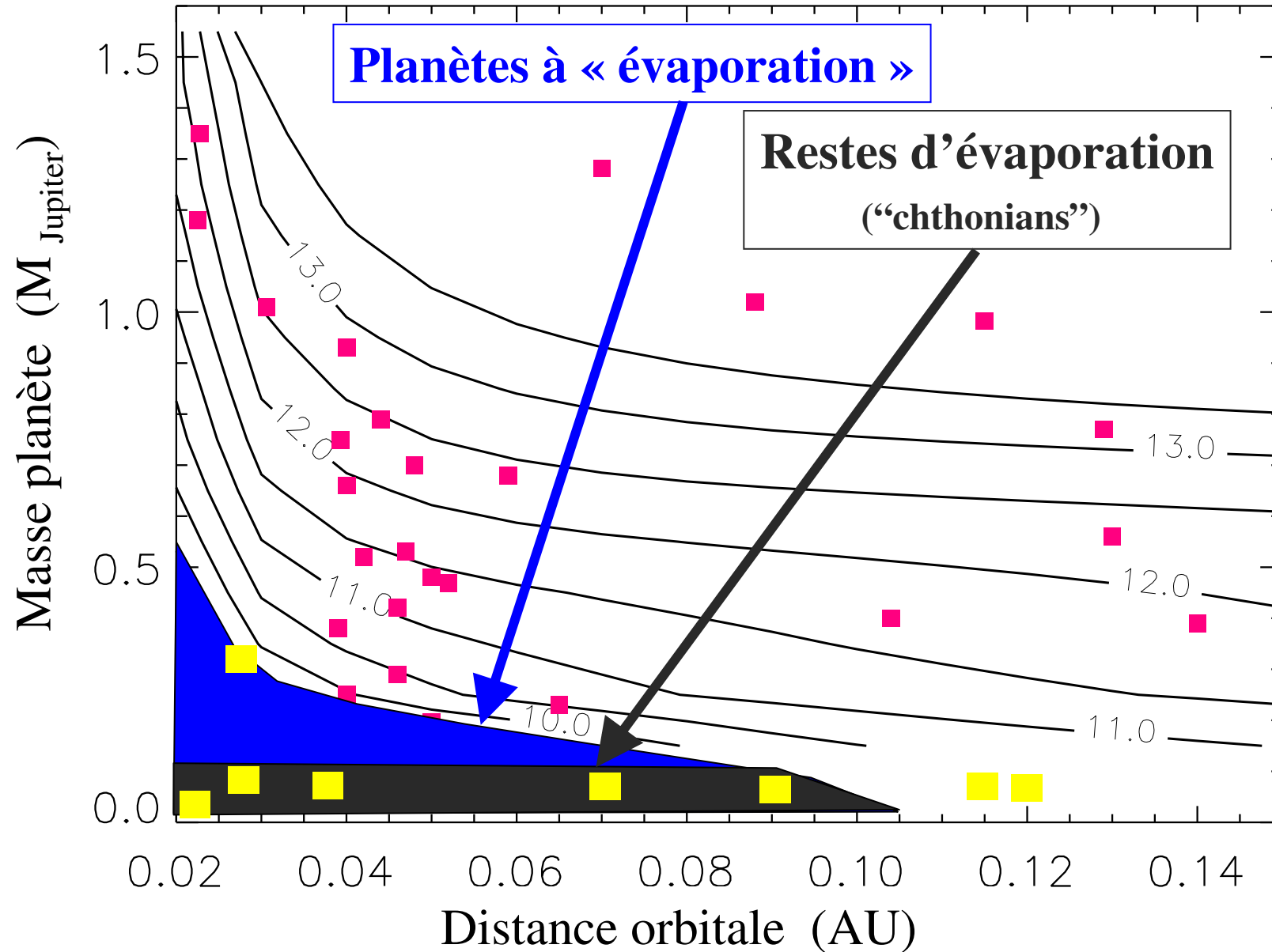


# Le Lobe de Roche





# Durée de vie des planètes ( $\log_{10} t/\text{ans}$ )







# Les découvertes futures: les planètes chtoniennes

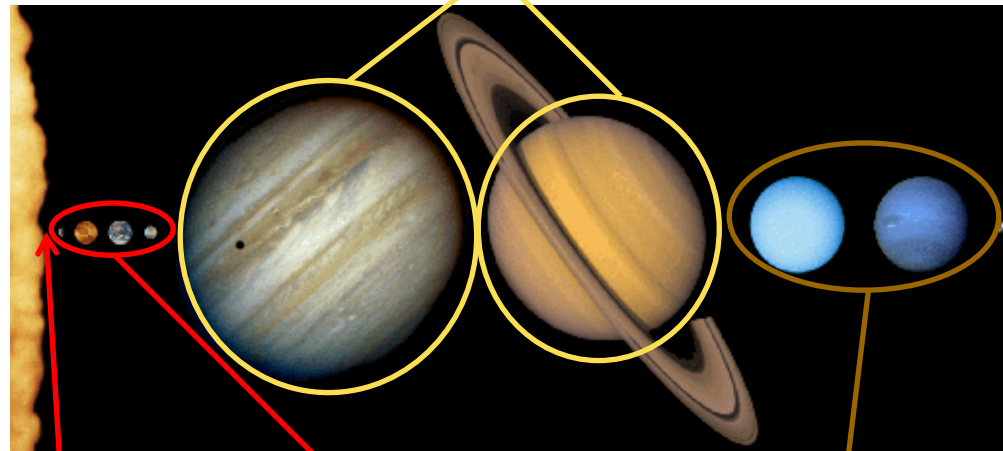


# Encore à découvrir



Populations de planètes: tailles, masses, distances...  
caractéristiques des étoiles parentes

Planètes géantes, déjà découvertes



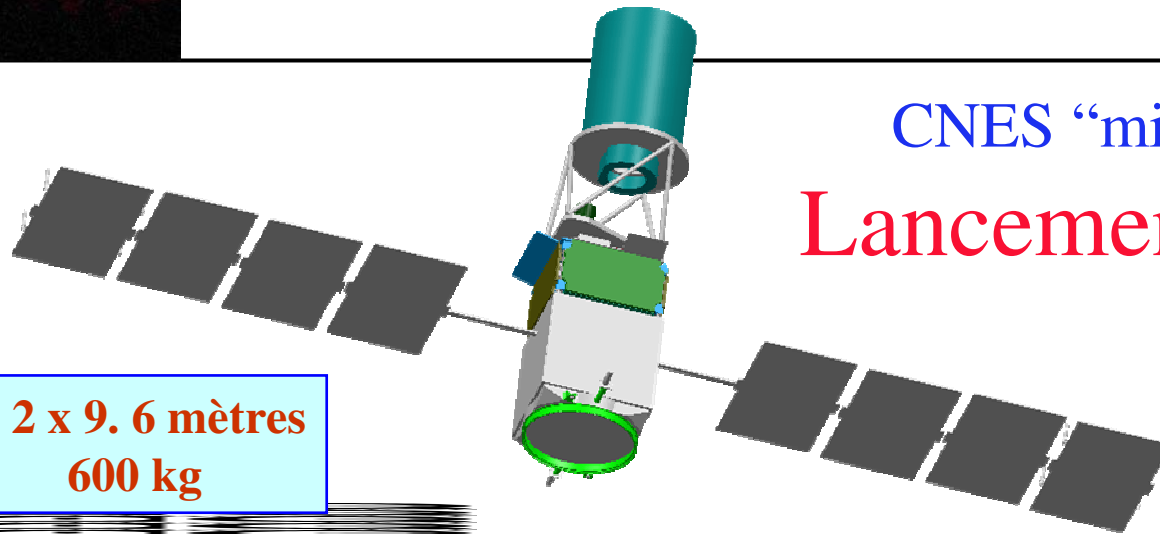
Planètes  
chtoniennes ?

Planètes  
telluriques ?

Limite détection,  
actuelle



# COROT



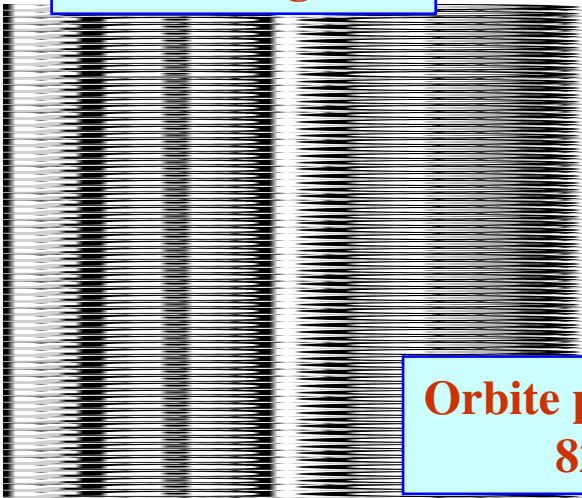
CNES “mini-satellite”

Lancement en 2006

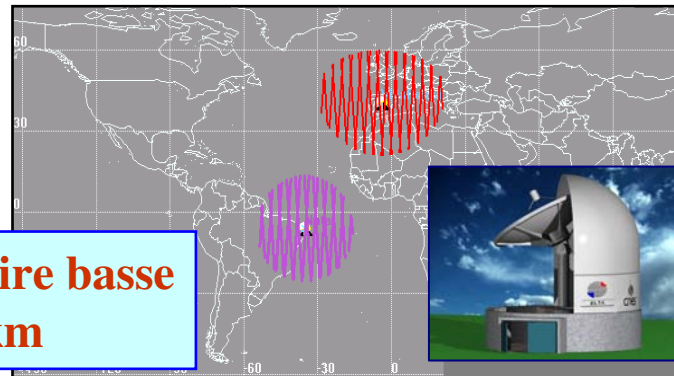
4.2 x 9.6 mètres  
600 kg

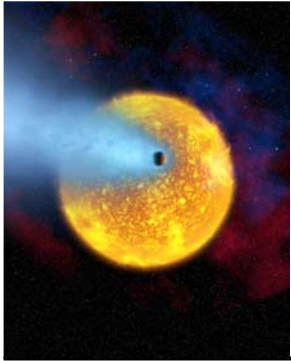


Lancement par  
SOYOUZ / KOUROU

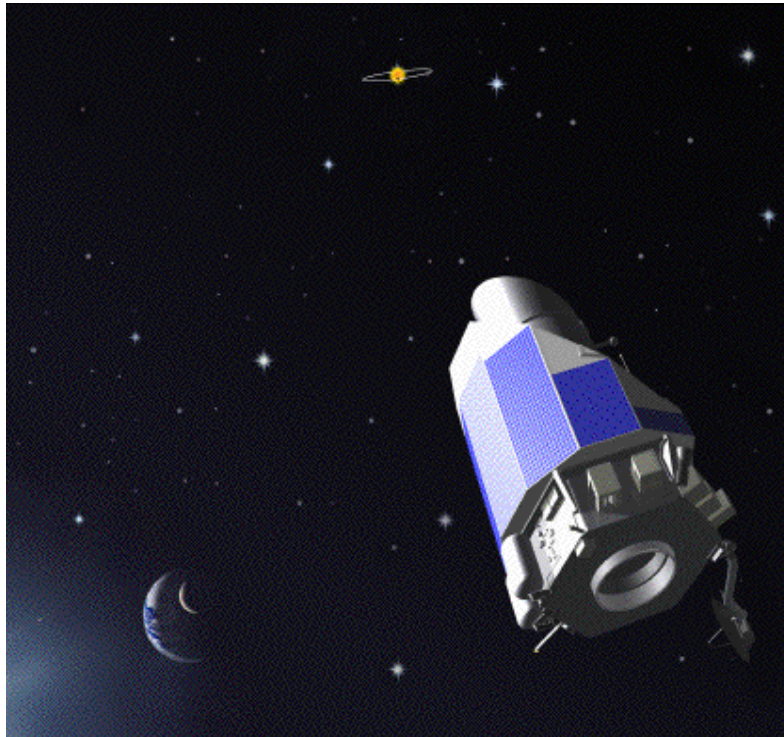


Orbite polaire basse  
823 km





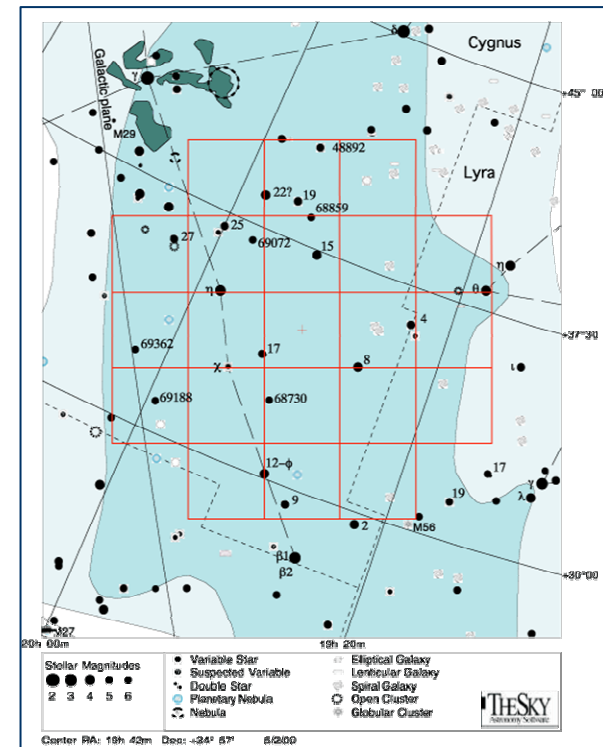
# KEPLER

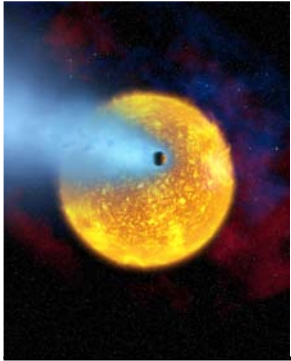


Recherche de planètes terrestres  
NASA  
Lancement 2008

5 ans  
sur un champ

95 cm télescope de Schmidt  
Champ de vue:  $100\text{deg}^2$   
100 CCDs





# GAIA



ESA “*pierre-angulaire*”

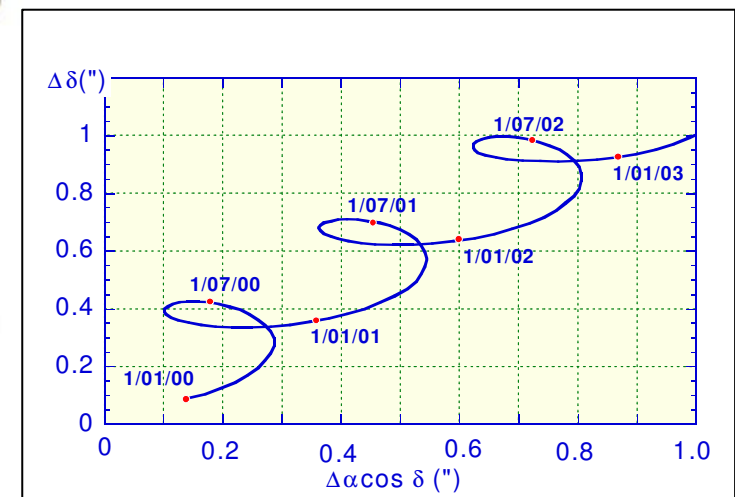
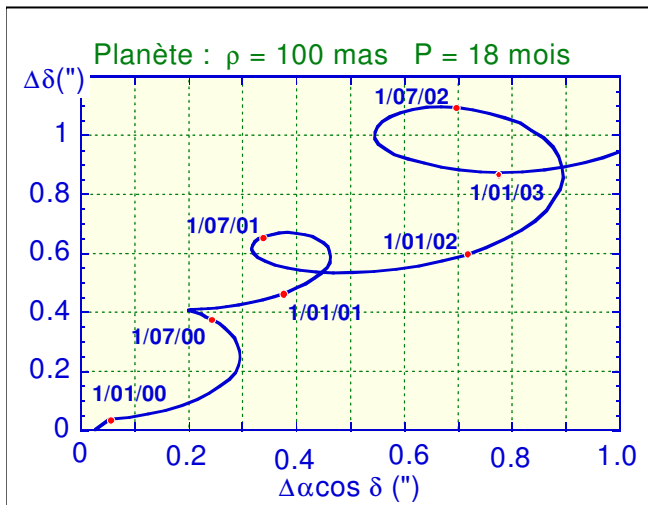
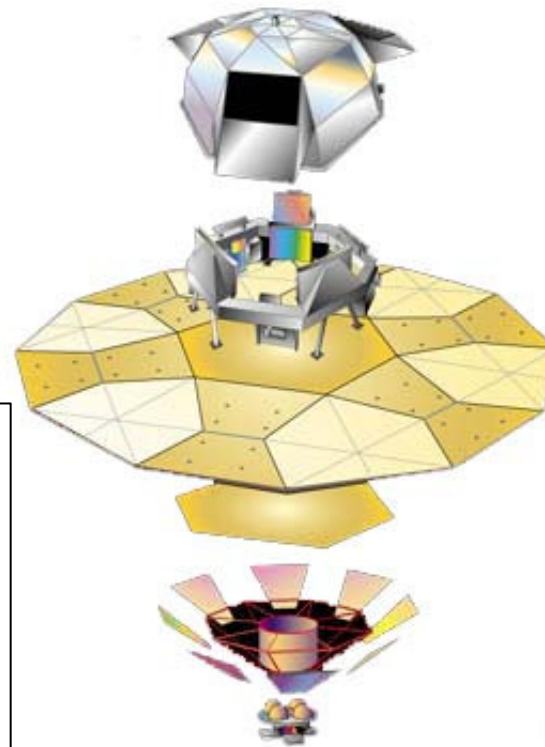
2012 ?

## Physique stellaire

Paramètres fondamentaux  
Calibration de luminosité  
Variabilité  
Binaires.....

## Recherche de planètes

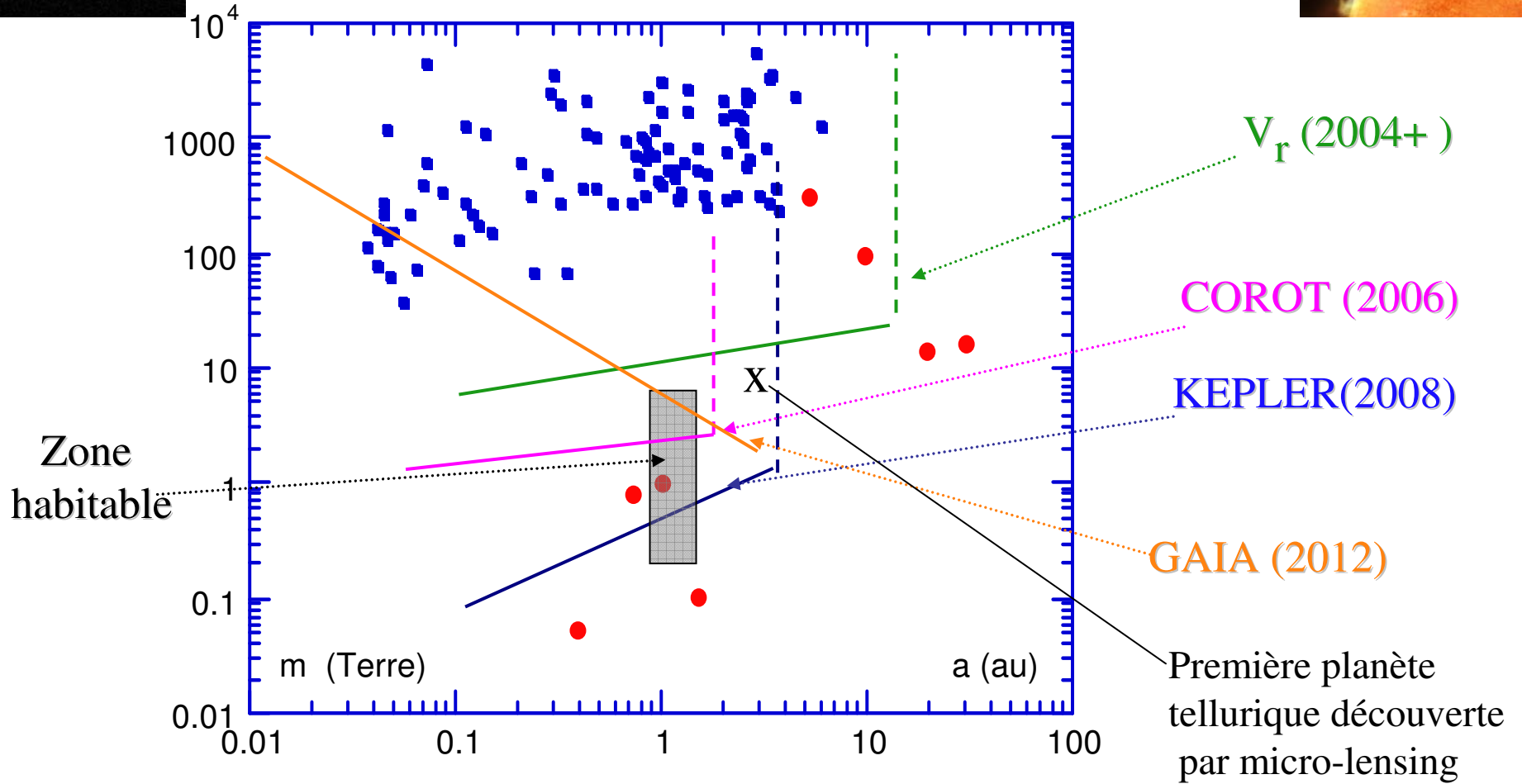
Astrométrie > 10 000  
P ~ ans  
Photométrie > 5000  
P ~ jours



*Evaporation of Hot-Jupiters*



# La course aux planètes



DARWIN

2015-20 ?

Images et spectres  
de planètes telluriques

