

The background of the slide is a deep space image. In the upper right, a bright yellow sun is visible, with a small black dot (likely a transit or a distant planet) passing in front of it. A satellite with a central orange body and two long arms of blue solar panels is positioned diagonally across the frame. The background is a dark, starry space with some nebulae.

L'astronomie :

un bien commun

Roger Ferlet
Institut d'Astrophysique de Paris
CNRS/UPMC

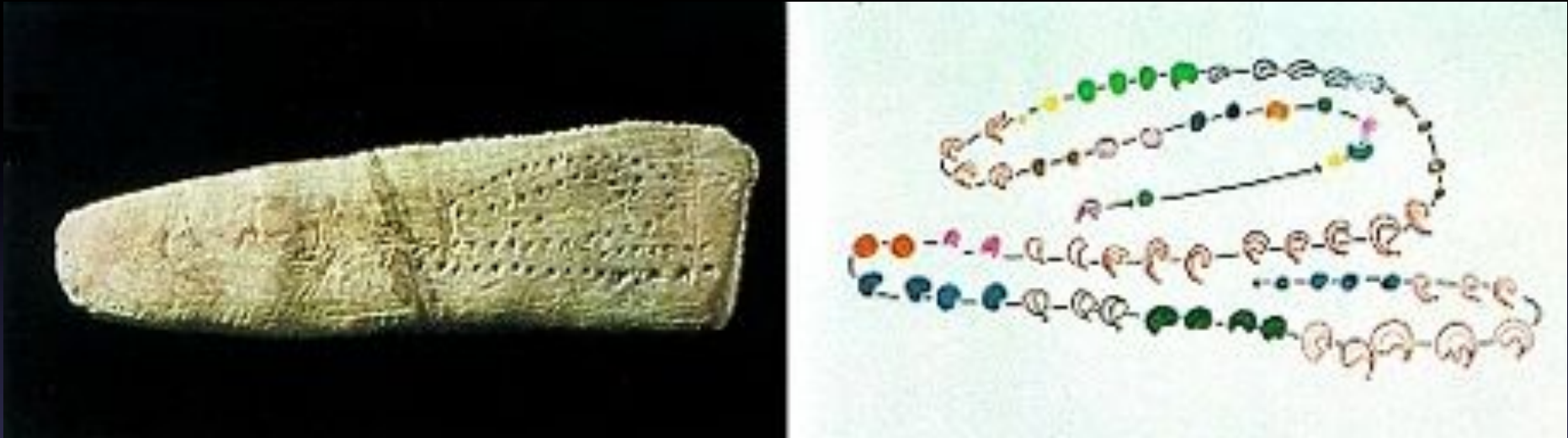
Centre d'Alembert
15 janvier 2014

Premier outil astronomique



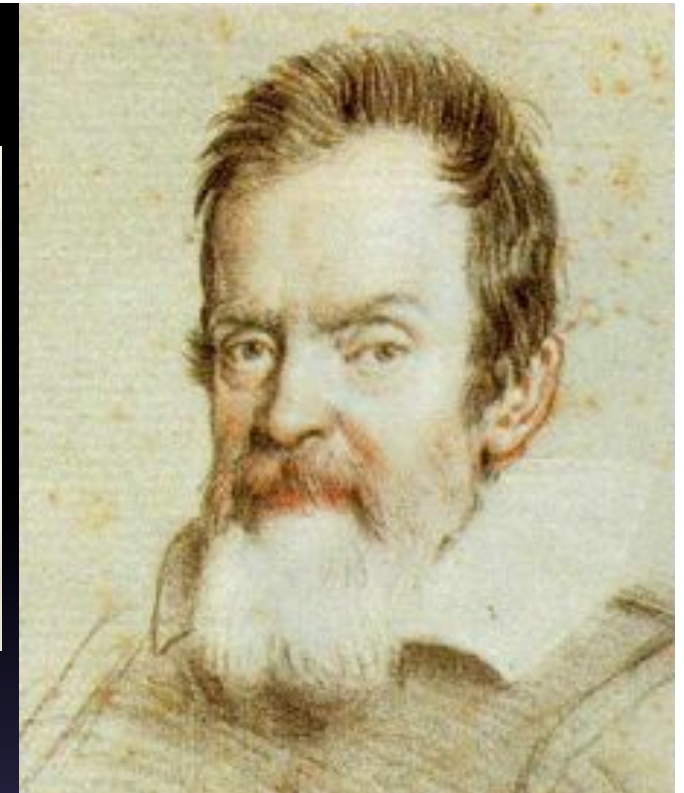
Les hommes préhistoriques : premiers ‘astronomes’

L'astronomie, science d'observation

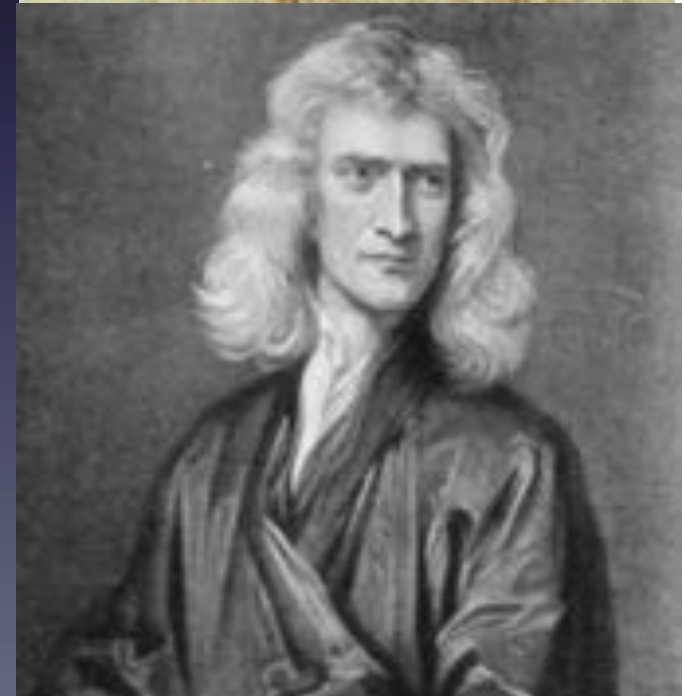


Os sculpté du Néolithique : les cupules représentent les phases de la Lune observées depuis le lieu de la découverte

La lunette de Galilée



Le télescope de Newton





Le VLT au Chili

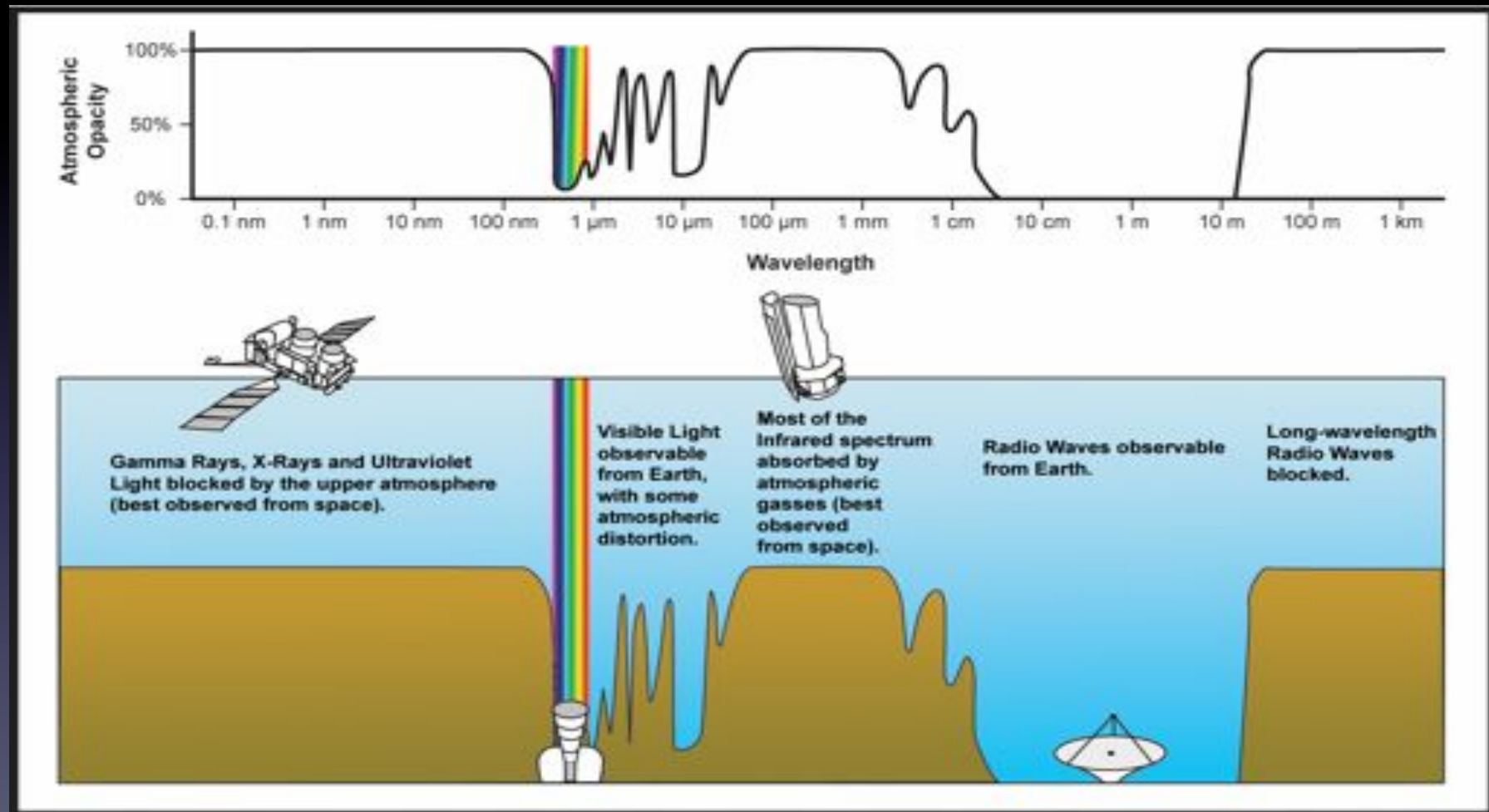


SALT en Afrique du Sud



Le Keck Observatory
à Hawaii

Mais il y a l'atmosphère !!!



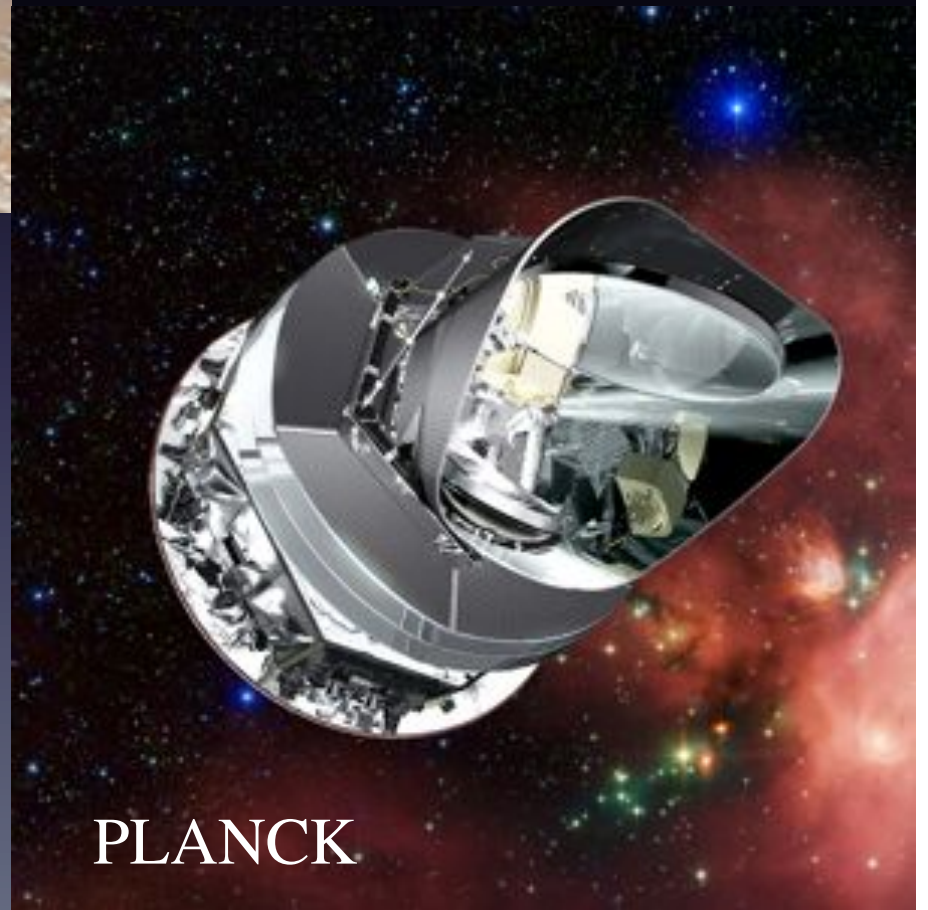
HUBBLE Space Telescope



HERSCHEL



PLANCK





Radiotélescopes VLA
aux USA

ALMA au Chili





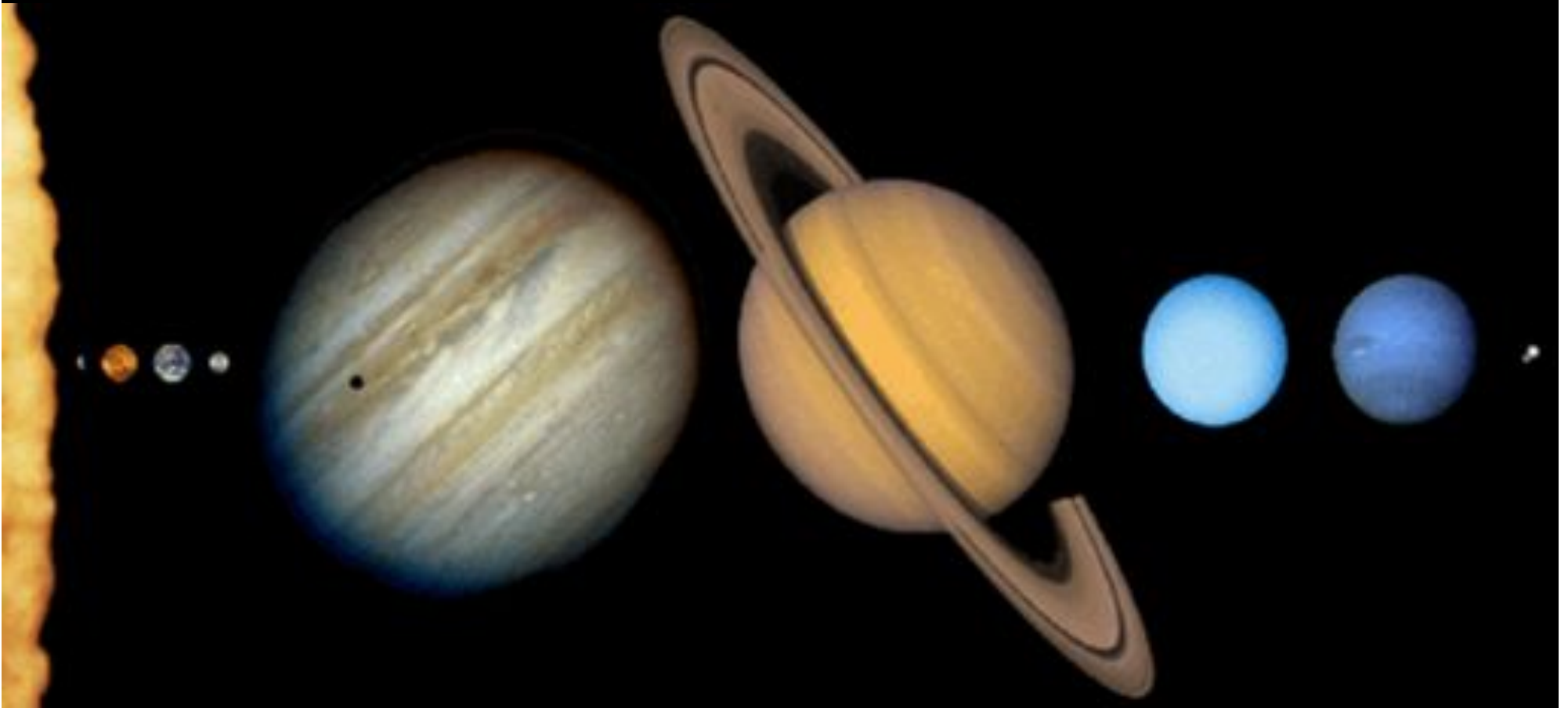
Expérience Antares : détection des neutrinos
(dans la mer au large de Toulon)

HESS en Namibie :
détection de particules de très haute énergie



LHC au CERN (Genève)

Le Système solaire



Eclipse totale de Soleil

Gabon – 3/11/2013







Astronomes sans frontières



Favoriser la compréhension et la bienveillance par-dessus les frontières nationales et culturelles en créant des relations grâce à l'attrait universel de l'astronomie. Promouvoir le partage de ressources, de connaissances, d'inspiration, à travers un intérêt commun, basique et universel: partager le même ciel.

Un même ciel pour toute l'humanité
One people, one sky



Astronomes sans frontières



- Projet global de partage de l'expérience de nuits étoilées entre des groupes d'astronomie voisins mais séparés par des frontières nationales.
- Porteur d'un esprit de fraternité, de communication et de l'amour commun pour le ciel nocturne.

“Star party” pour :

- Se rencontrer
- Interagir
- Collaborer
- Apprendre

Transit de Vénus en Iran (2012)



Astronomie amateur

Des “amateurs du dimanche” jusqu’aux semi-professionnels, en passant par les “esthètes” etc. :

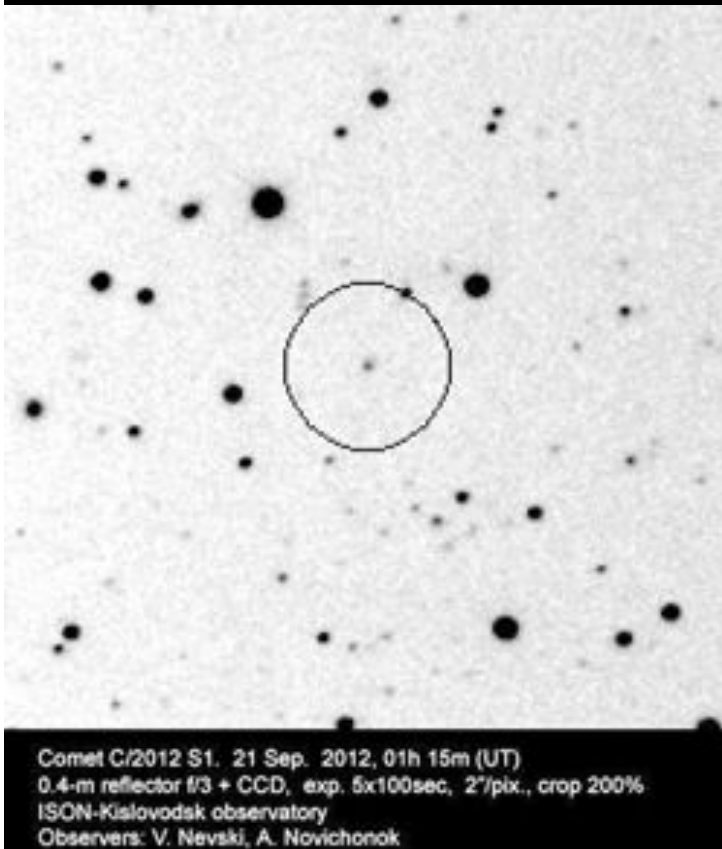
astronomie visuelle, dessin, imagerie (APN, webcam, CCD), spectroscopie, radioastronomie.

Nombreux clubs et associations dans le monde entier (au moins 15 en Essonne), sites web, périodiques, amateurs célèbres (en France, Flammarion – fondateur de la SAF – Bourge, Meeus...).

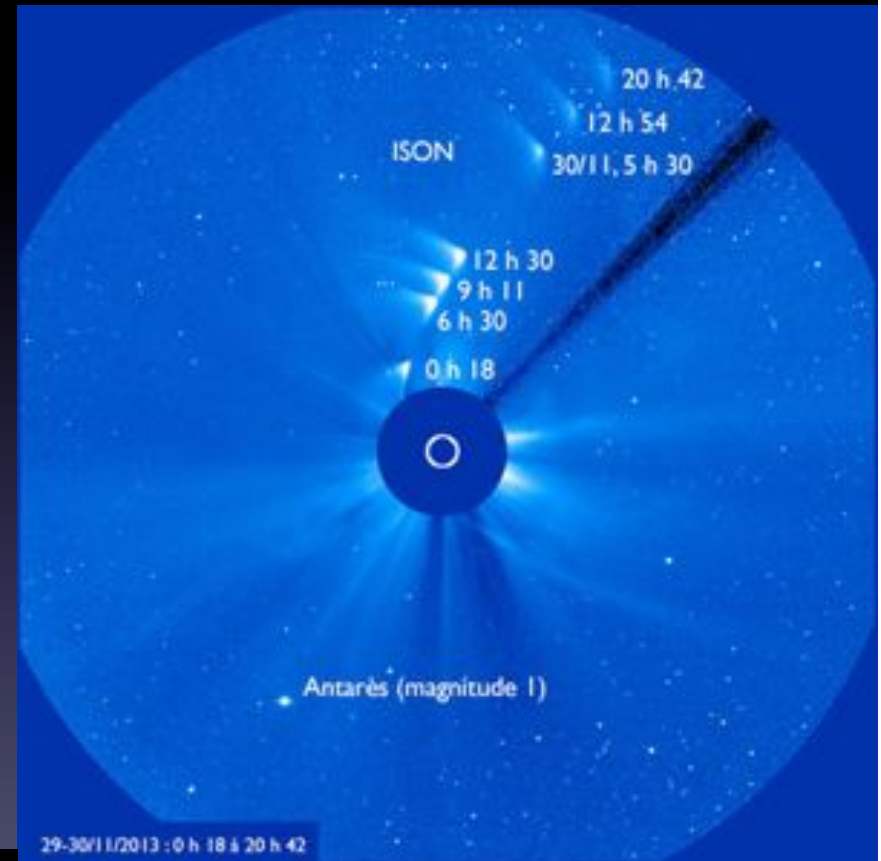
Instrumentation très abordable dans le commerce; mais toujours des “constructeurs”.

Des passionnés qui participent à la recherche dans plusieurs domaines: comètes (IWCAs...), supernovae, étoiles doubles, étoiles variables, planètes, Soleil, astéroïdes, météorites, exoplanètes...; le ciel variable: Gaia

Comètes



Près de 6000 comètes connues dont ~280 numérotées (P)



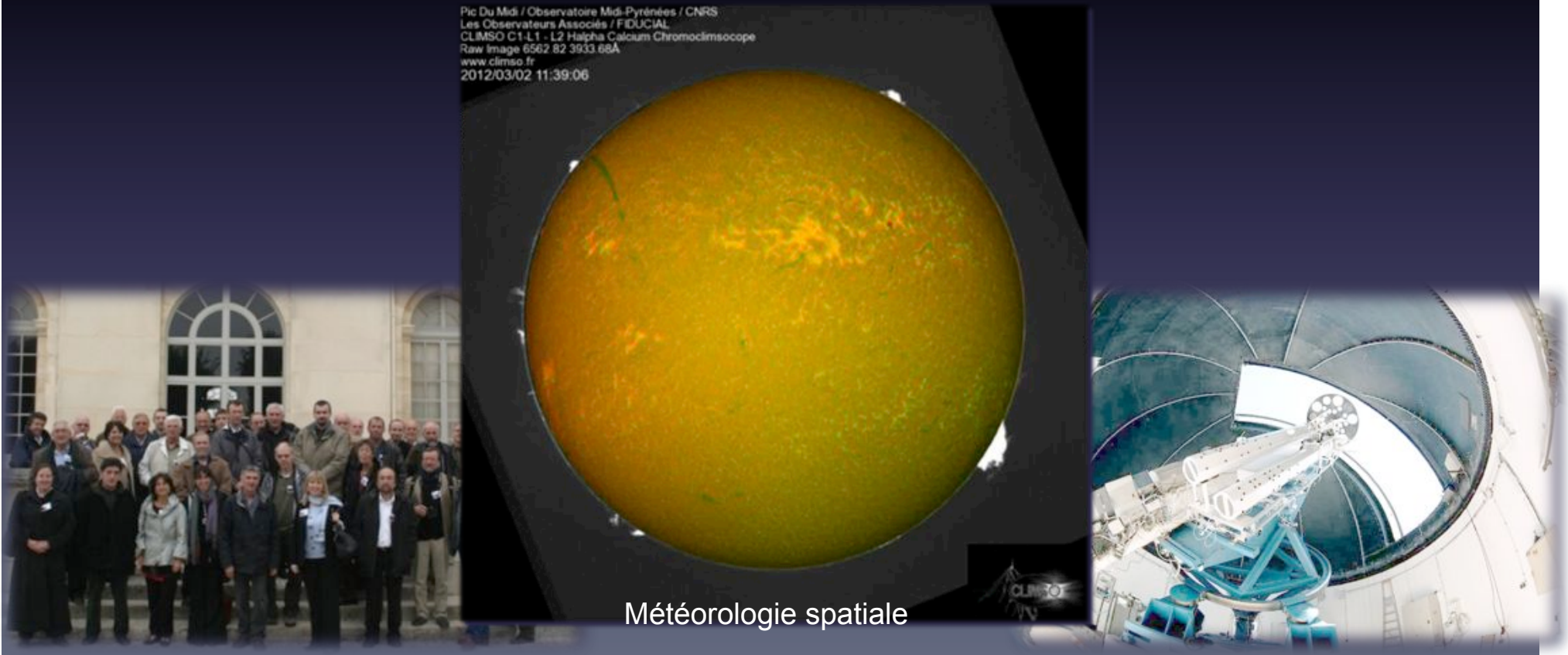
SOHO (ESA/NASA)
lancé en 1995

Soleil

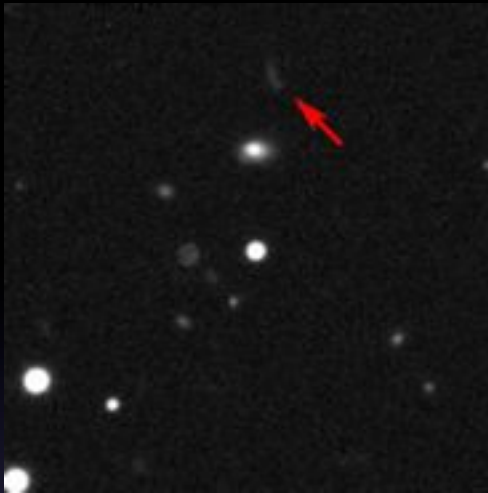
CLichés Multiples du Soleil

(CLIMSO)

Imagerie continue de la couronne solaire à longueurs d'onde différentes avec un coronographe entièrement financé (avec le mécénat de Fiducial), utilisé et maintenu par les « Observateurs Associés », ~ 60 bénévoles travaillant en partenariat avec l'OMP et alimentant la base de données solaires BASS2000.

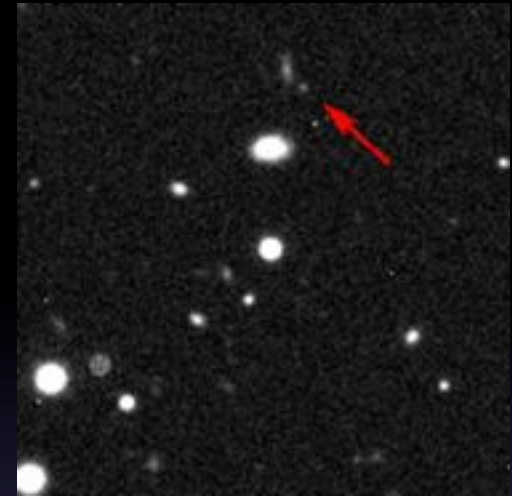


Astéroïdes

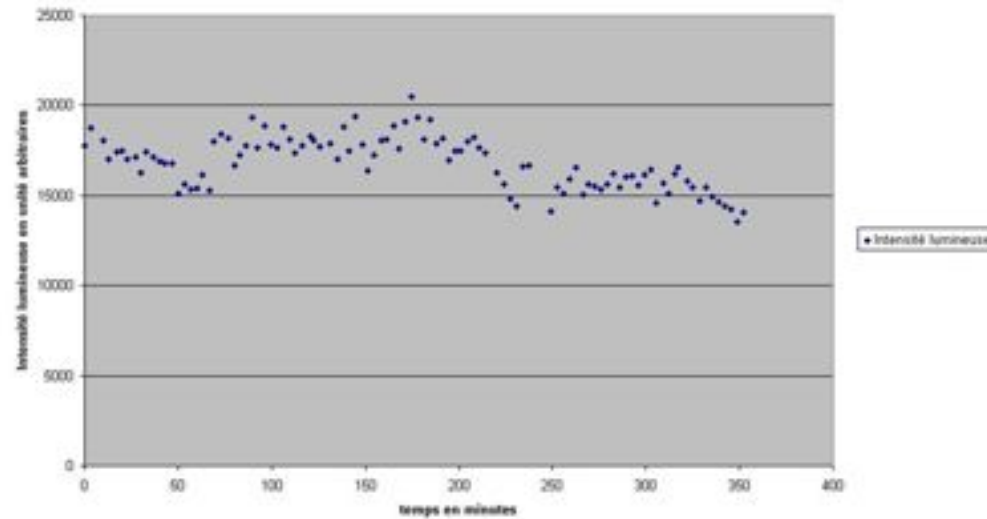


Découverte d'un astéroïde
trans-neptunien par des élèves

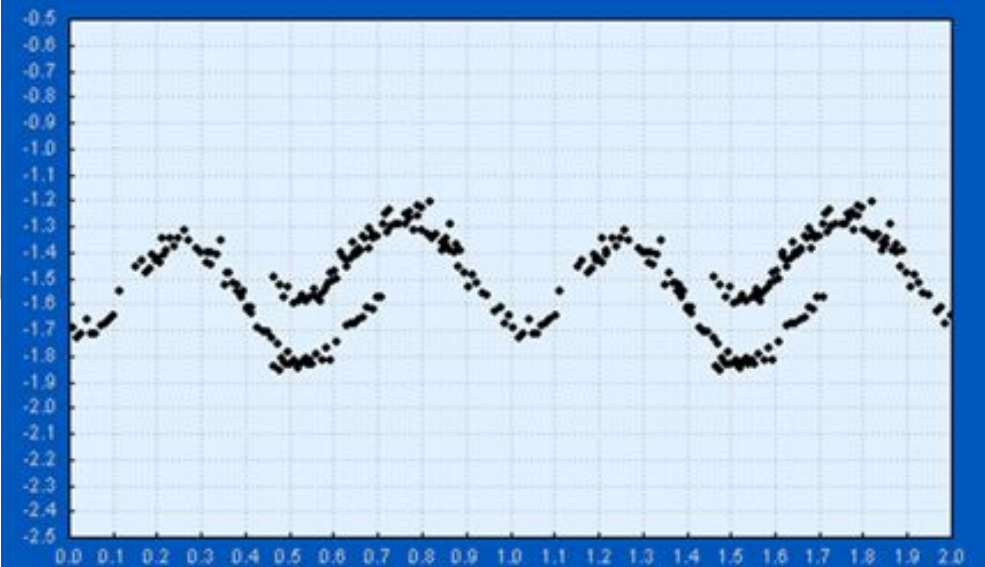
~ 613 000 orbites connues;
> 17800 astéroïdes nommés



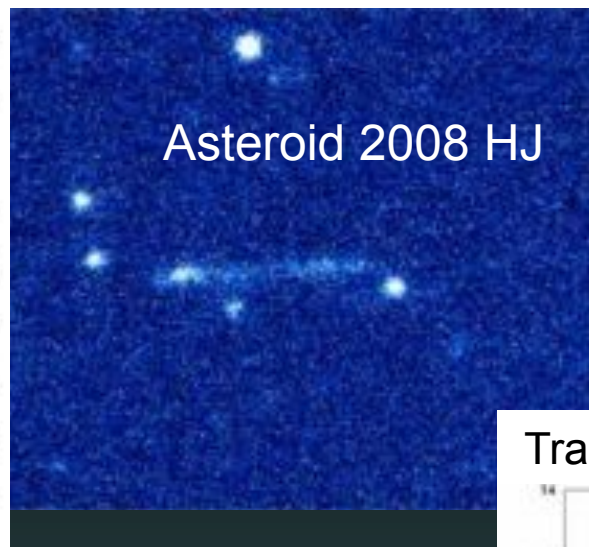
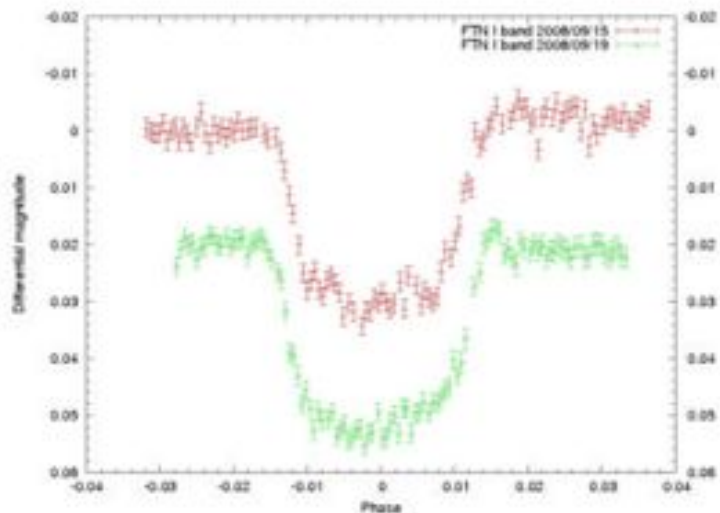
Intensité lumineuse de l'astéroïde Kleopatra d'après les photos prises au Pic du Midi par F.Colas
avec le télescope de 105cm et le réducteur de focale F/D = 6



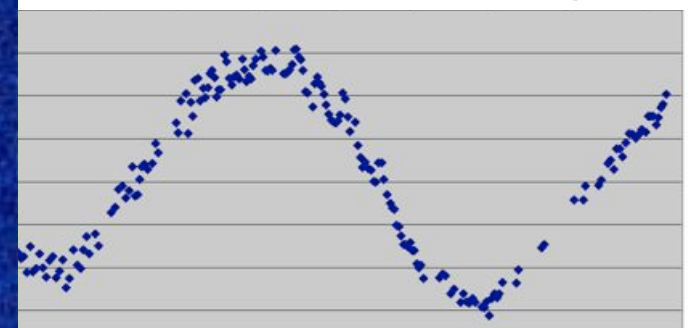
15 Eunomia



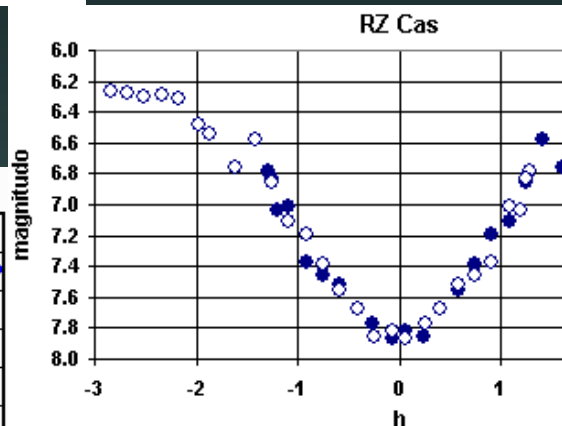
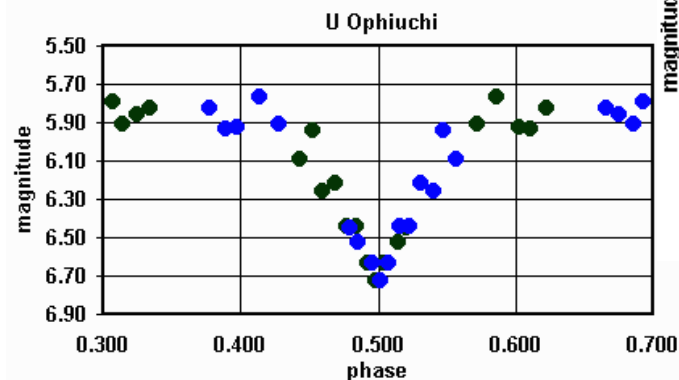
Courbes de lumière et rotation d'astéroïdes par des élèves



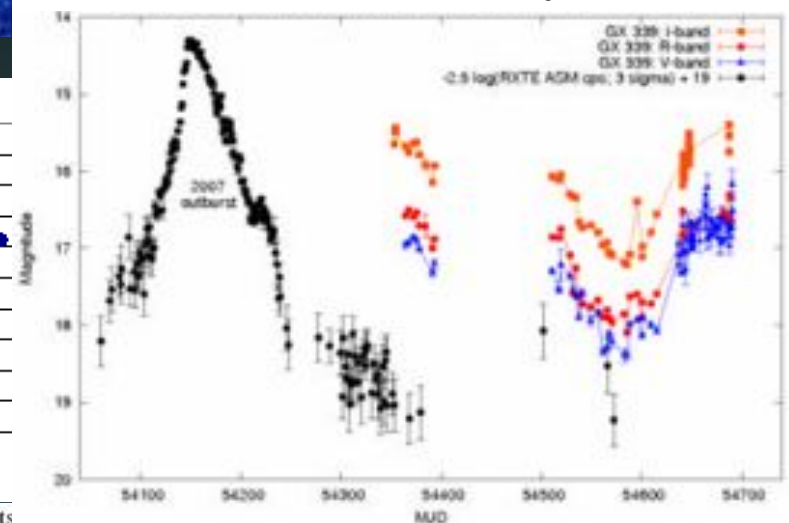
Rotation of asteroid Kleopatra



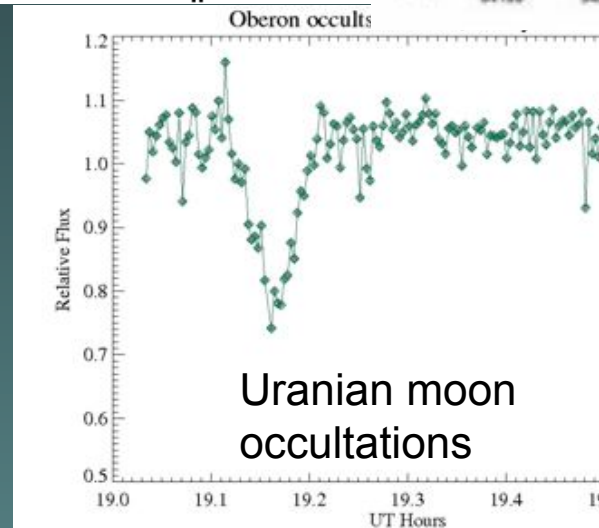
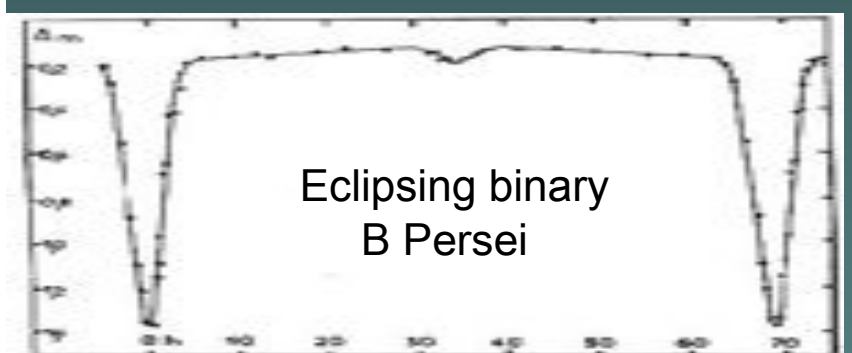
Extrasolar planet transit (WASP-10)



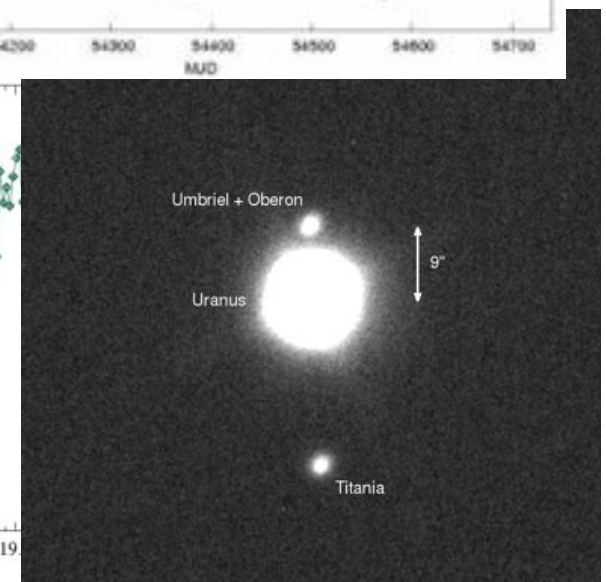
Transient black hole binary GX 339-4



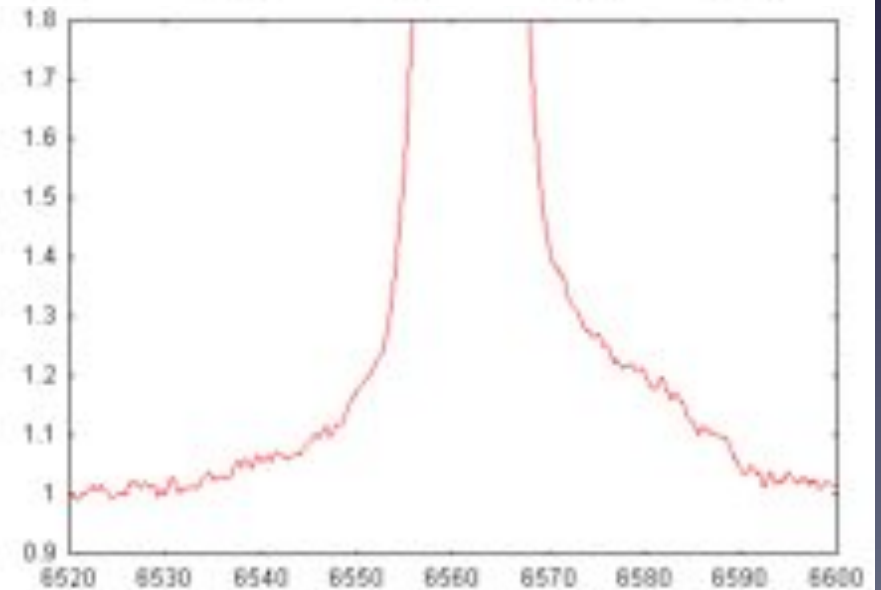
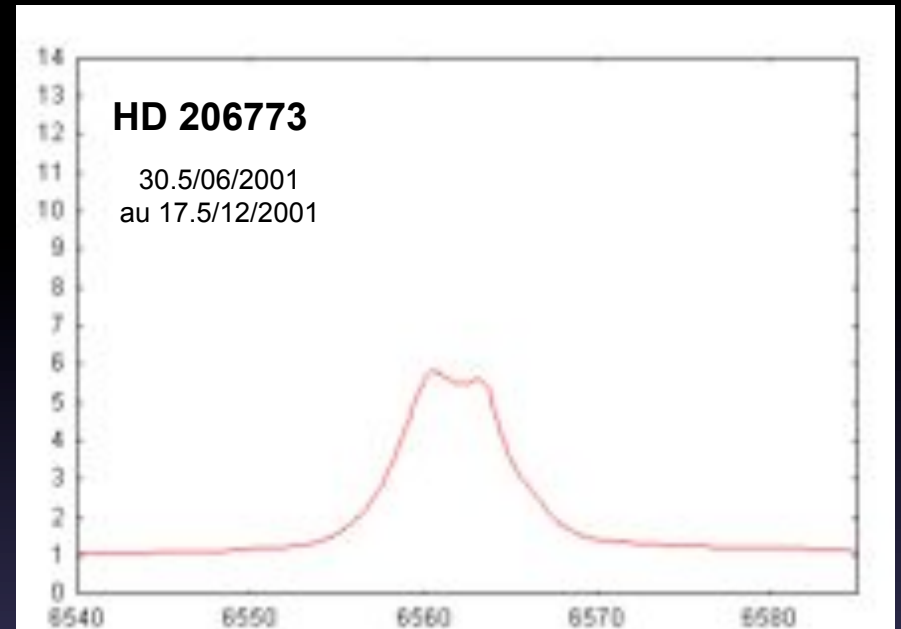
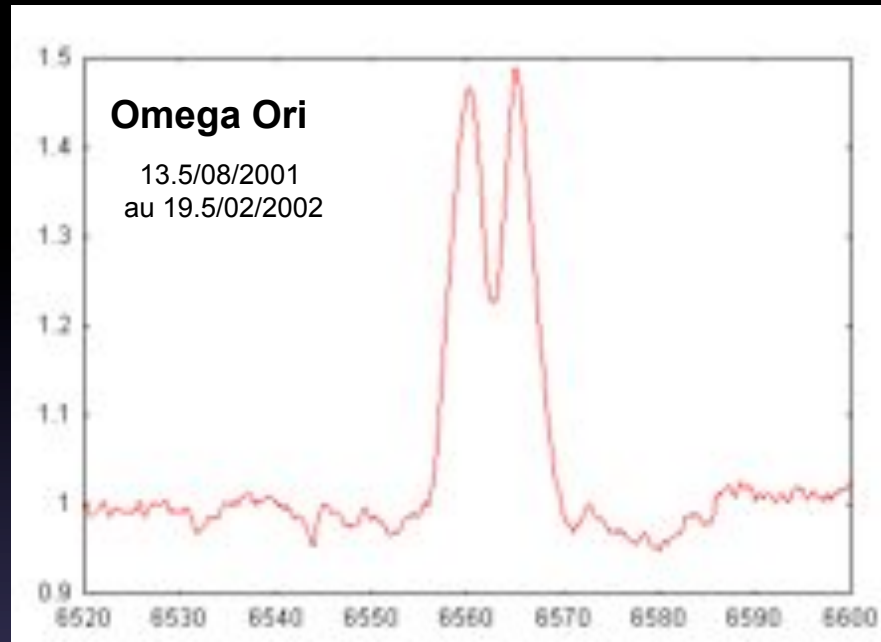
Variable stars



Uranian moon occultations



Evolution de H α



Etoiles Be

Télescope de 20 cm
Résolution temporelle: 5 jours
Pouvoir de résolution spectrale: 7000

GAIA

“Pierre-angulaire” de l'ESA - 19 décembre 2013



- Relevé complet du ciel jusqu'à $V = 20$ (1 milliard d'étoiles)
précision astrométrique de $7 \mu\text{as}$ à $V = 10$ et $20 \mu\text{as}$ à $V = 15$
(Hipparcos: ~ 2 millions d'étoiles, 50 fois moins précis)
- Distances (parallaxes) à 10% près jusqu'à plus de 30 000 a.l.
- Vitesses radiales à qqs km/s jusqu'à plus de 60 000 a.l.
(diamètre Voie lactée $\sim 100\,000$ a.l.)
- Photométrie de plus d'un million de galaxies
- Détection de 20 à 30 000 supernovae, 500 000 quasars, centaines de milliers d'astéroïdes, $> 15\,000$ exoplanètes etc...
- Des millions d'objets variables à suivre....

ZOONIVERSE

REAL SCIENCE ONLINE

<https://www.zooniverse.org>

914 332 participants dans le monde



How do galaxies form?

NASA's Hubble Space Telescope archive provides hundreds of thousands of galaxy images.

GALAXY ZOO 2007 (41)



Explore the surface of the Moon

We hope to study the lunar surface in unprecedented detail.

MOON ZOO



Study explosions on the Sun

Explore interactive diagrams to learn about the Sun and the spacecraft monitoring it.

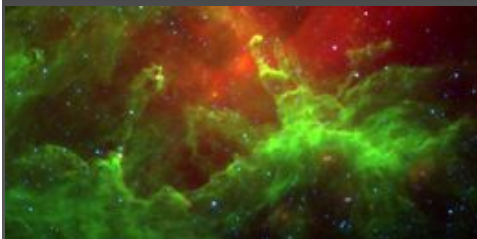
SOLAR STORMWATCH (2)



Find planets around stars

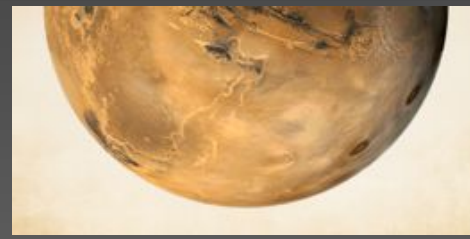
Lightcurve changes from the Kepler spacecraft can indicate transiting planets.

PLANETHUNTERS.ORG (6)



We're asking you to help us find and draw circles on infrared image data from the Spitzer Space Telescope.

THE MILKY WAY PROJECT (2)



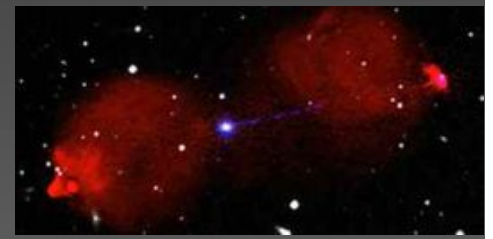
Planetary scientists need your help to discover what the weather is like on Mars.

PLANET FOUR



Imagine a galaxy, behind another galaxy. Think you won't see it? Think again.

SPACEWARPS



We need help to compare infrared and radio data to spot black holes in the Universe.

RADIO GALAXY ZOO

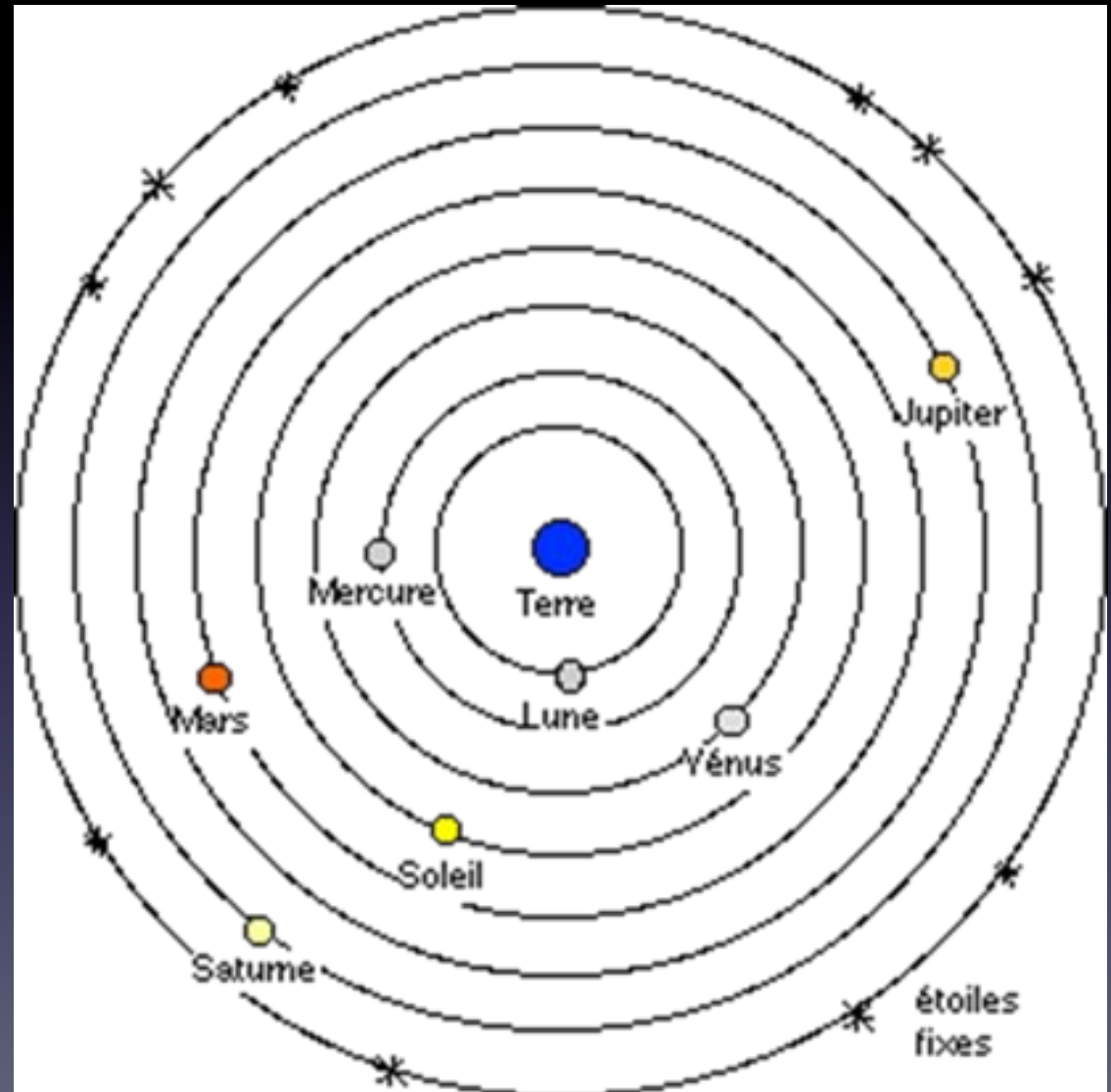
+ 11 autres: Nature, Climat, Histoire, Biologie

Géocentrisme



Platon
427 -346 av JC

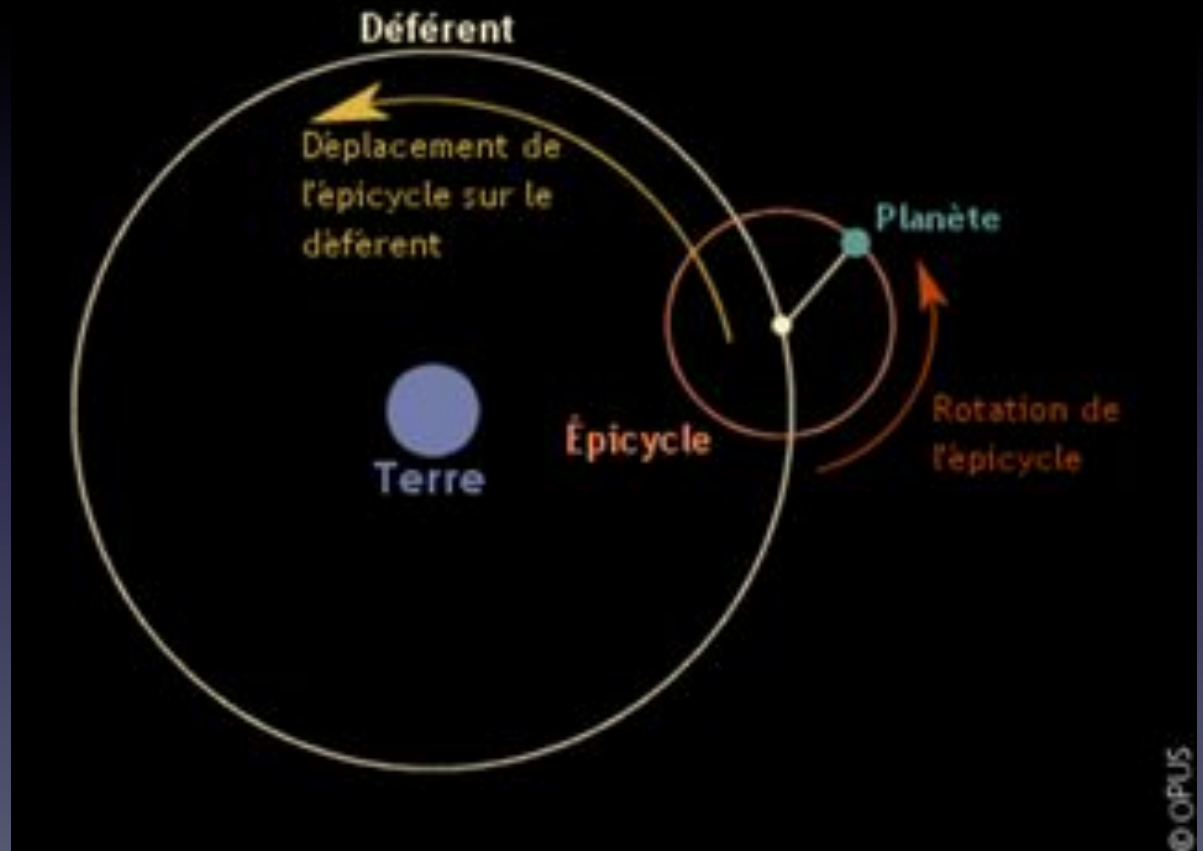
Aristote
384 -322 av JC



Géocentrisme



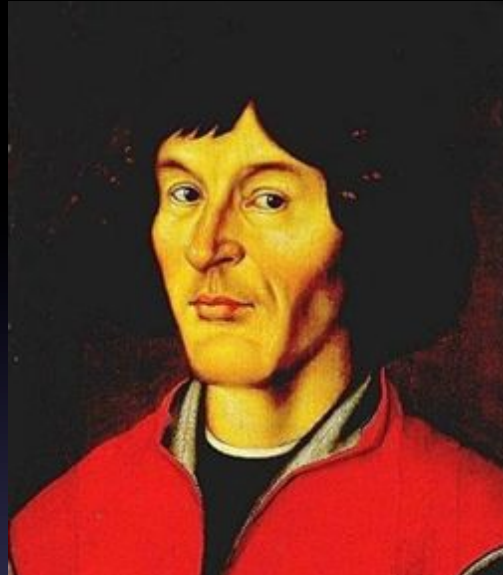
Ptolémée 90 – 168 ?



Héliocentrisme



Aristarque de Samos
310 –230 av JC

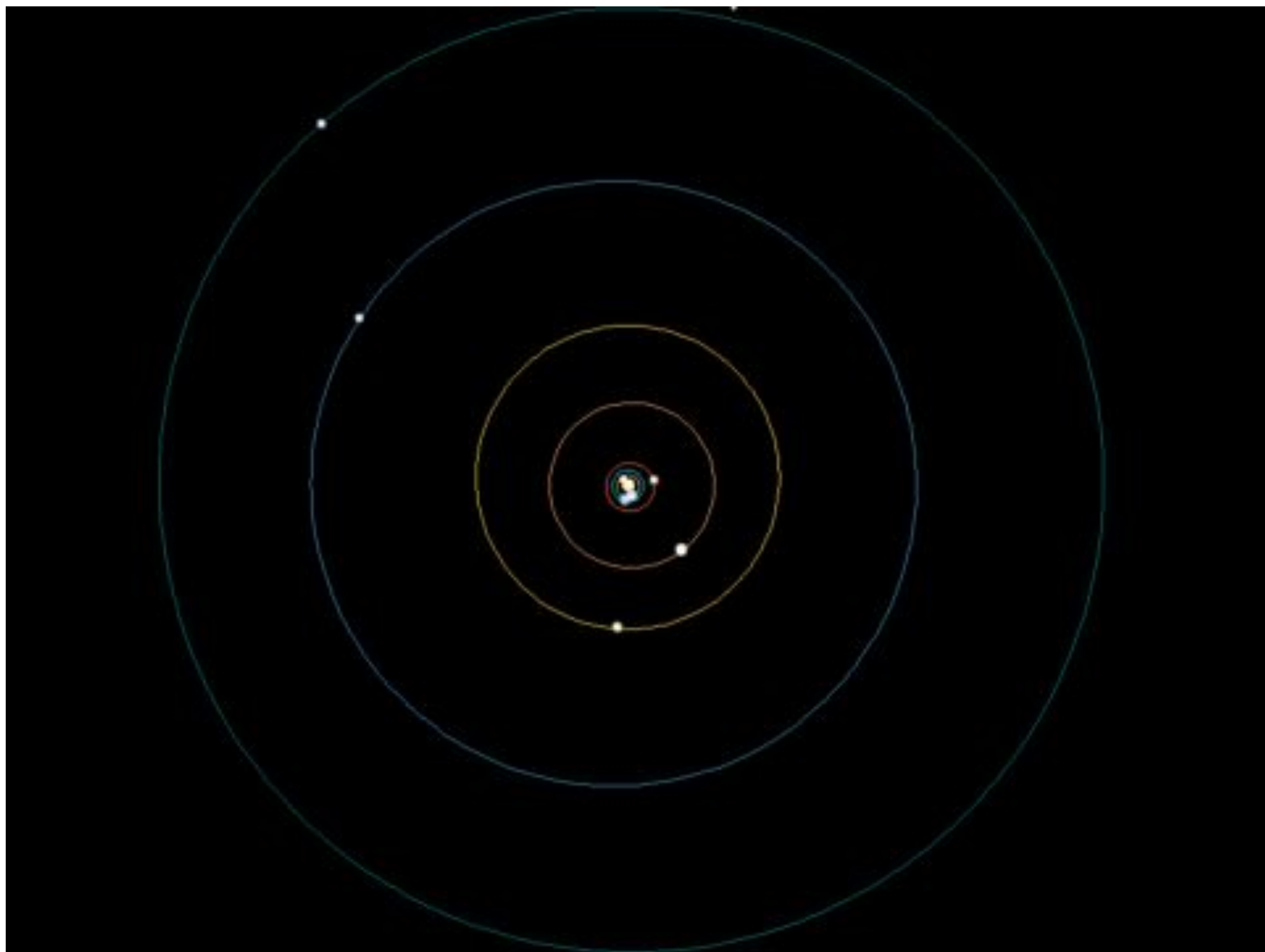


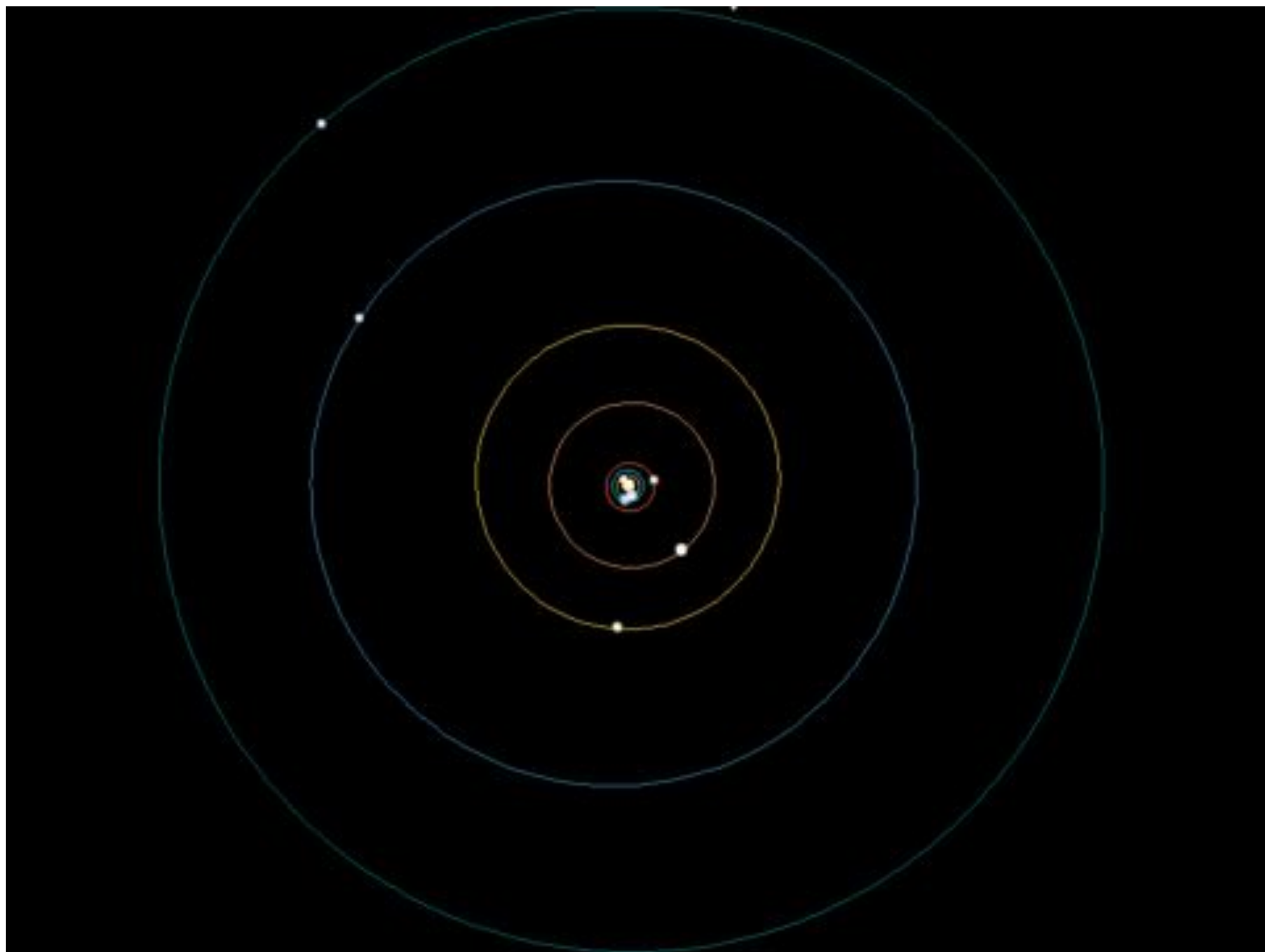
Copernic 1473 - 1543



Kepler 1571 - 1630







Le grand débat

Années 1920: nature et distance des “nébuleuses”:

- galactiques (Harlow Shapley)
ou
- extragalactiques (Heber Curtis).

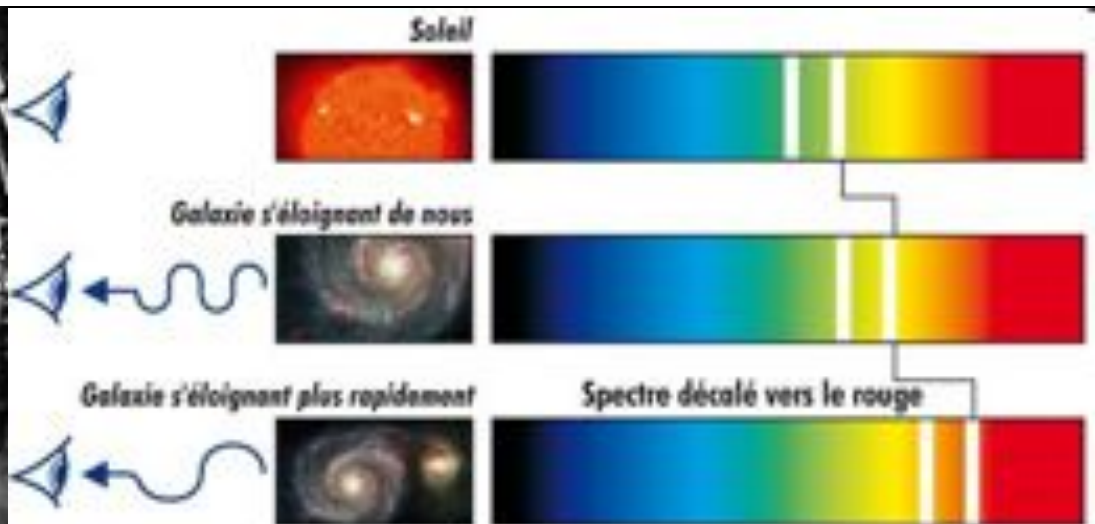
Clos en 1926 par Edwin Hubble

Galaxie du Triangle (M33) :

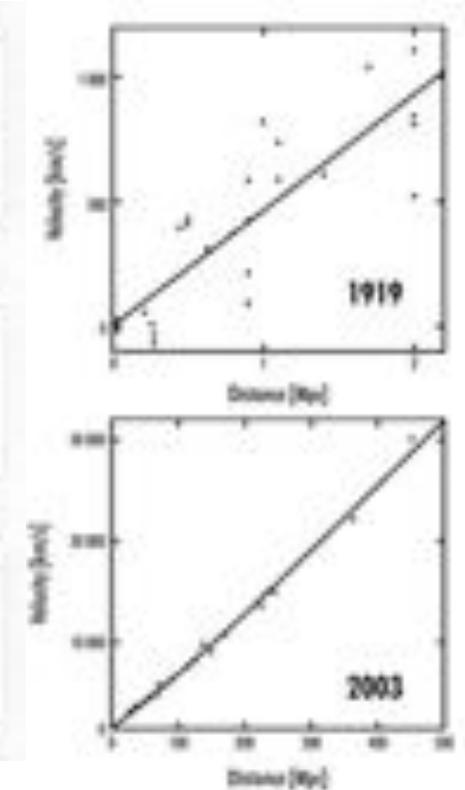
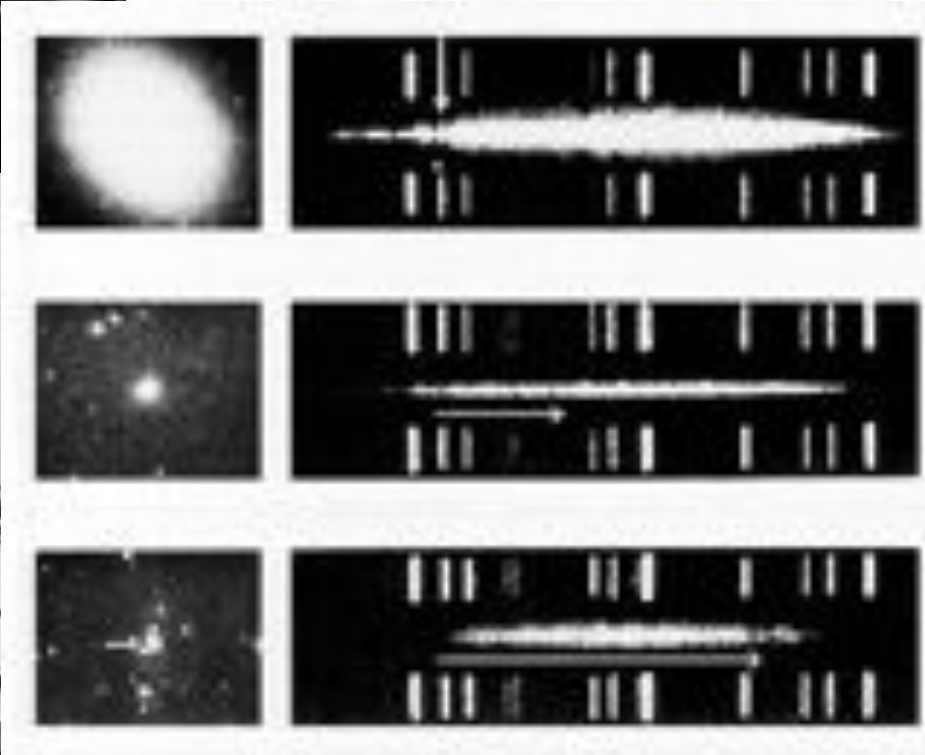
E. Hubble identifie 35 céphéides, permettant de mesurer sa distance et prouver sa nature extragalactique.



Télescope de 100 pouces au Mont Wilson



Edwin Hubble (1889 – 1953)



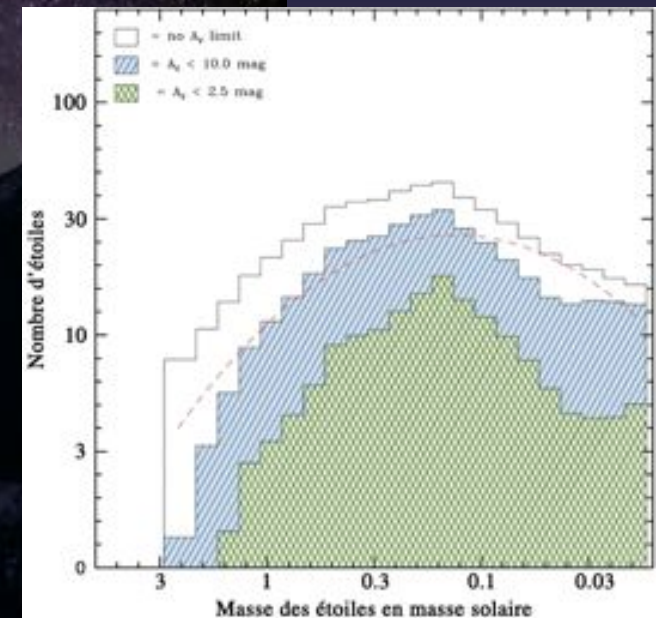
Loi de Hubble: $V_{\text{galaxie}} = H \times D$

Hubble: $H \sim 500 \text{ km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$

Présent: $H = 72 \text{ km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1} \pm 2 \%$

La Voie Lactée

Soleil :
une étoile assez
banale parmi ~200
milliards d'étoiles



Structure spirale, modèle de notre Galaxie



Vue par la tranche





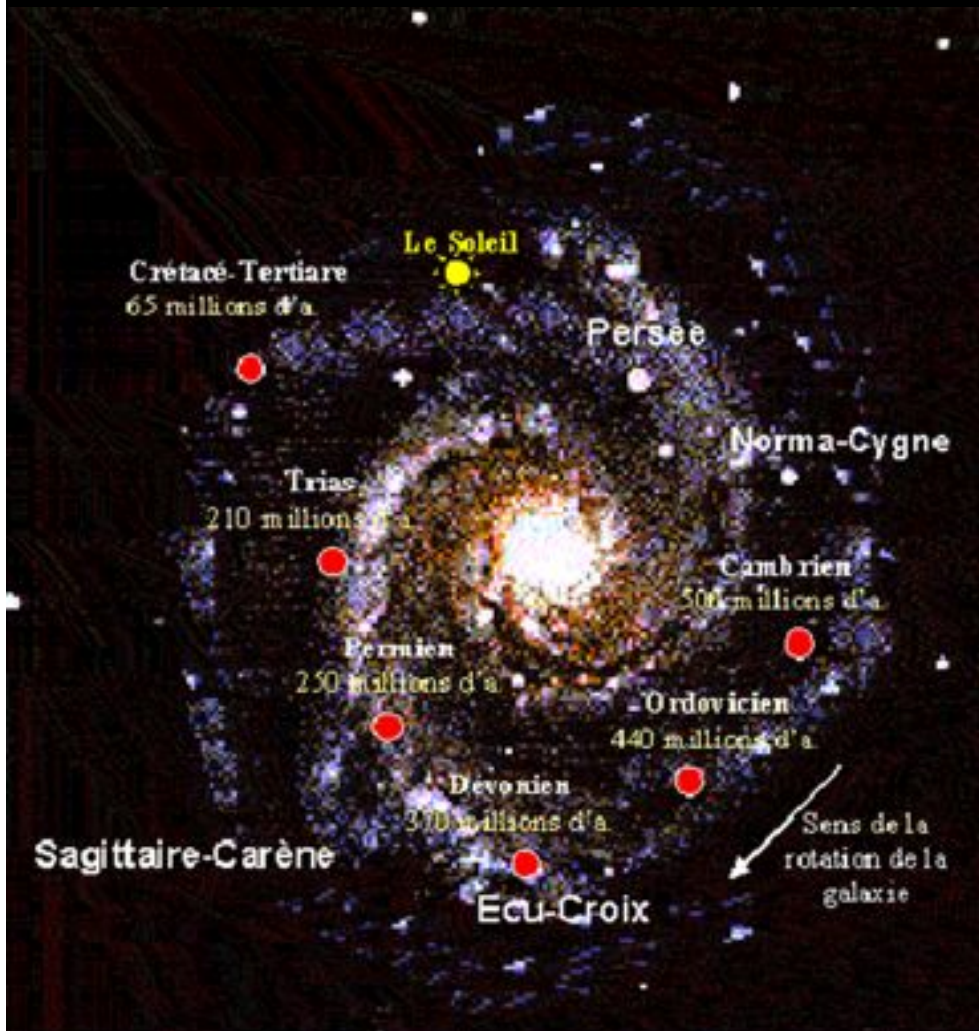
Vous êtes ici !

La Voie Lactée

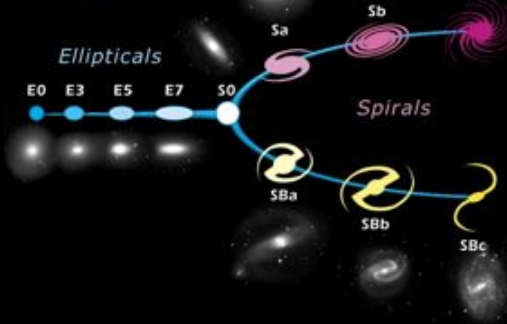
Vitesse du Soleil autour de la Voie lactée = 240 km/s

Distance actuelle au centre = 27 000 a.l. un tour en 250 millions d'années.

Le Soleil est à 48 a.l. au dessus du plan de la Voie lactée et en phase ascendante à la vitesse de 7 km/s. Tous les 30 millions d'années le Soleil traverse ce plan. En traversant les bras de la Galaxie, il s'expose à subir des ondes de choc de supernovae ou de nuage de gaz. Les extinctions sur Terre ont pu avoir lieu quand la Terre a traversé un des bras galactiques.



Edwin Hubble's
Classification
Scheme

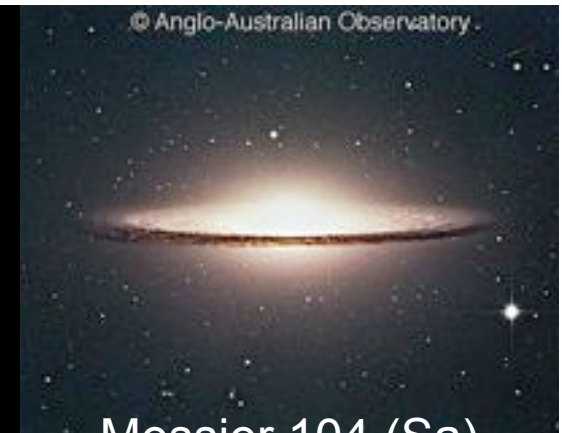


Séquence de Hubble

Les galaxies



Messier 87
(elliptique)



Messier 104 (Sa)



Andromède (Sb)



NGC 1365 (SBc)



NGC 1232 (Sc)



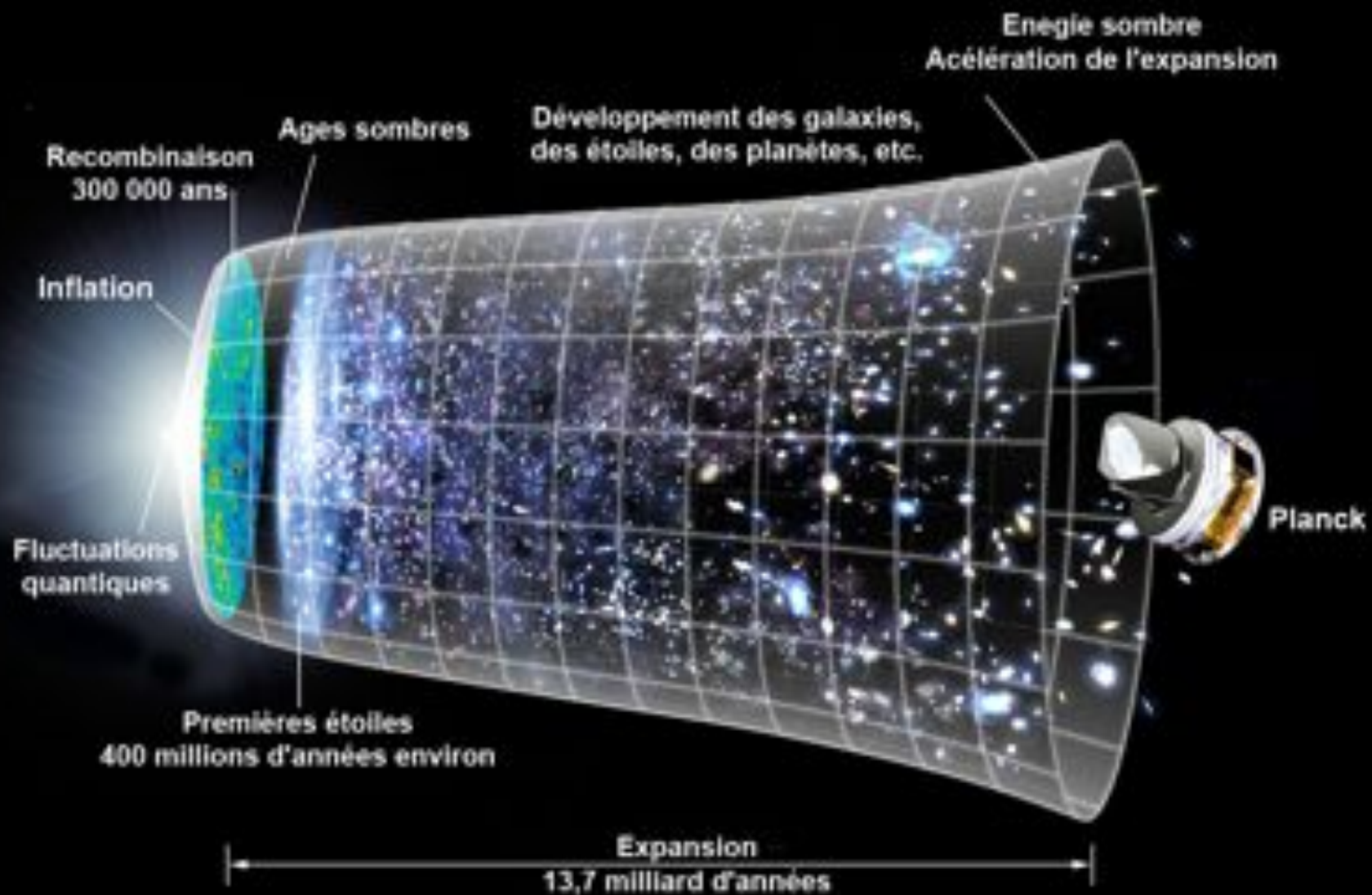
Messier 51

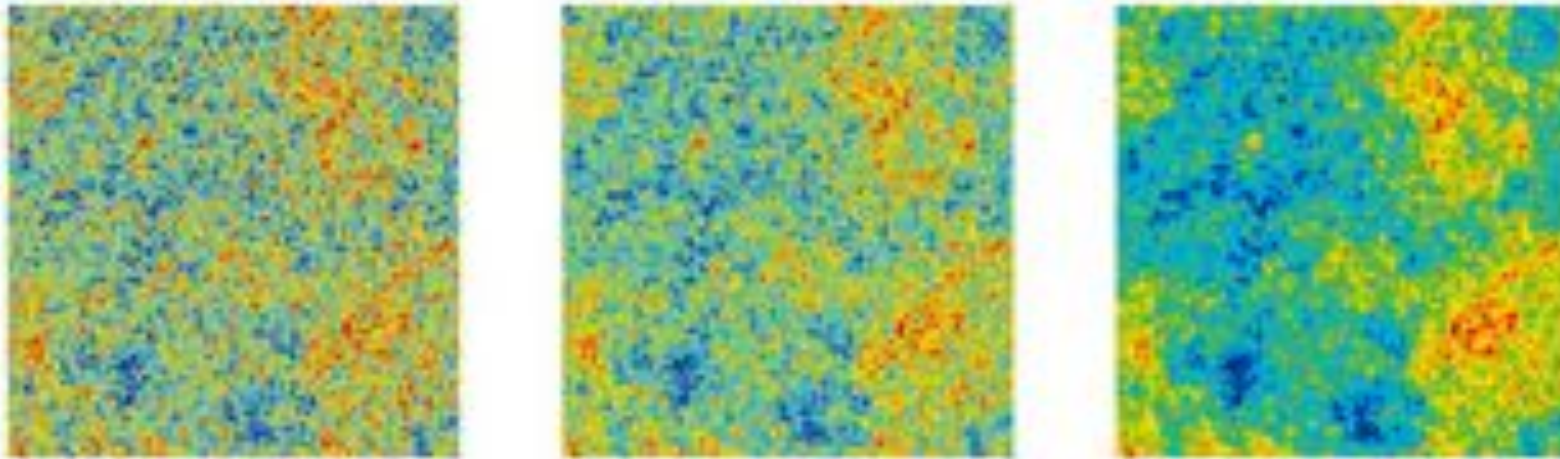


NGC 4214 (Irrégulière)

Planck



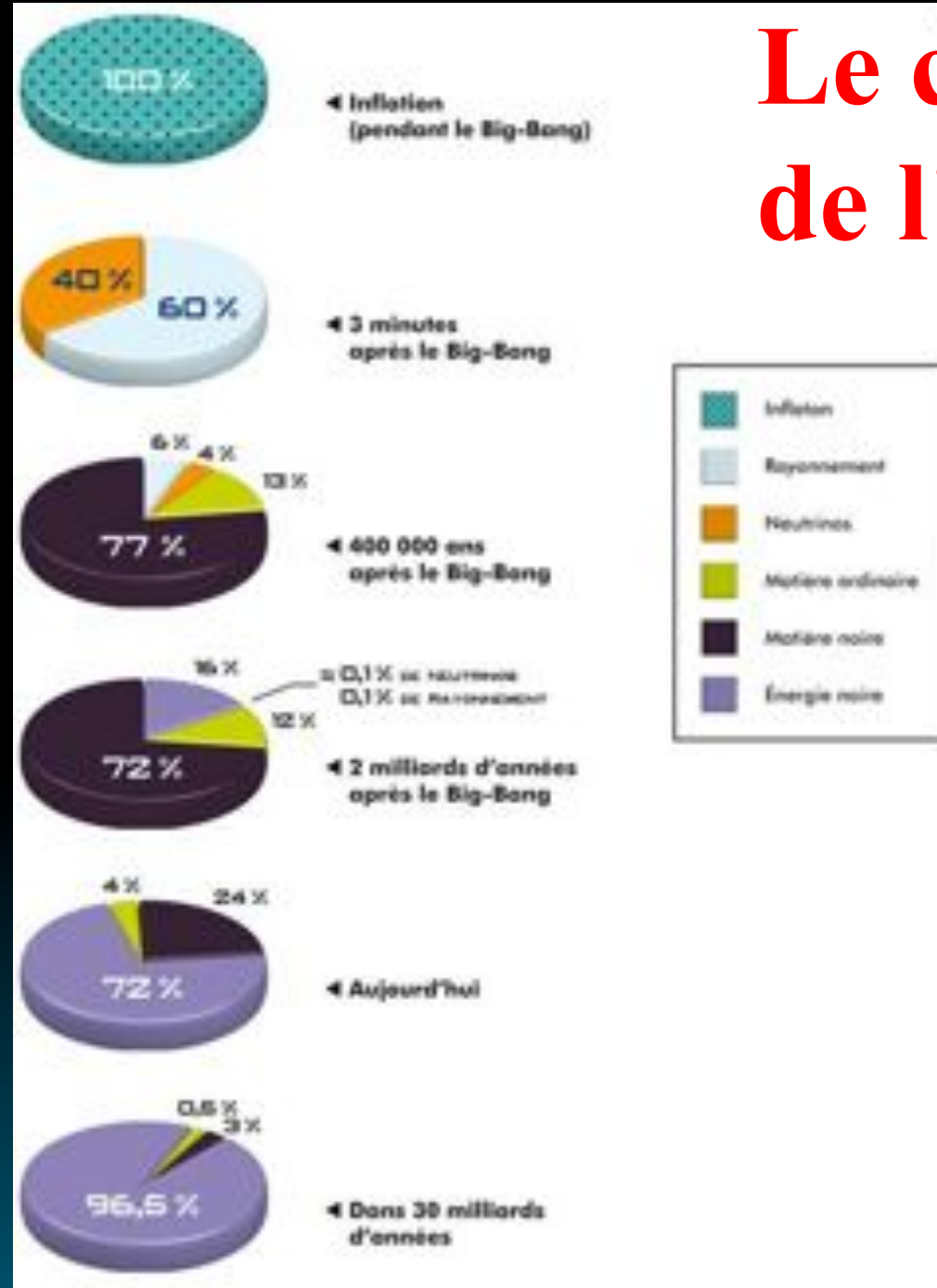




La taille des fluctuations de température détermine la taille de l'objet qui sera formé à cet endroit. Plus les petites fluctuations sont nombreuses par rapport aux grosses, plus on va former de petites galaxies comparativement aux gros groupes de galaxies.

Âge de l'Univers	13,73 $\pm$ 0,12 milliards d'années
Taux d'expansion aujourd'hui (constante de Hubble)	70,1 $\pm$ 1,3 km/s/Mpc 1 Mpc $\approx$ 3×10^{22} m
Âge de l'Univers au moment de l'émission du rayonnement fossile	376 000 $\pm$ 3 000 ans
Âge de l'Univers lors de la naissance des premières étoiles	445 $\pm$ 80 millions d'années

Le contenu de l'Univers



Matière exotique !

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre
Big Bang 		Formation de la Voie Lactée 					Formation du Soleil et de la Terre 	Première cellule 		Premier individu pluricellulaire 

Le calendrier cosmique

Décembre						
1 Apparition du dioxygène dans l'atmosphère 	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15 Explosion cambrienne 	16 Terre boule de neige 	17 Premier vertébrés 	18	19	20 Premier tétrapode 	21 Diversification des insectes 
22	23	24 Premier dinosaure 	25 Ancêtre des mammifères 	26 Formation et dislocation de la Pangée 	27 Premier oiseau 	28
29 Disparition des dinosaures 	30	31 10H15 : Apparition des Primates 21H24 : Premier ancêtre humain à marcher debout 22H48 : Apparition de l'Homo Erectus 23H59 et 50s : Construction des Pyramides d'Egypte 12Ème coup de minuit : Aujourd'hui				

An I du calendrier cosmique		
1 ^{er} janvier, 0h 0min 0s	Big-bang	-15 milliards d'années
janvier	Premières galaxies	-13 milliards d'années
mai	Formation de la Voie lactée	- 11 milliards d'années
13 septembre	Formation du Système solaire	- 4,5 milliards d'années
30 septembre	Sur la Terre, premiers organismes unicellulaires	- 3,8 milliards d'années
7 décembre	Formation de l'atmosphère terrestre d'oxygène	- 1 milliard d'années
17 décembre	Premiers vertébrés, premiers poissons	- 570 millions d'années
26 décembre	Début du règne des dinosaures	- 220 millions d'années
28 décembre	Premières fleurs	- 150 millions d'années
31 décembre, 22h 15 min	Apparition des premiers bipèdes (Lucy)	- 3 millions d'années
31 décembre, 23 h 40 min	Âge de la pierre	- 0,5 millions d'années
31 décembre, 23h 59min 50s	Sumer, pyramides d'Égypte	- 5000 ans
31 décembre, 23h 59min 56s	Jésus	- 2014 ans
31 décembre, 23h 59min 59,935 s	Armstrong marche sur la Lune (1969)	- 45 ans
31 décembre, 24 heures	Année 2014	

An II du calendrier cosmique		
1 ^{er} janvier, 0h 0min 01 s	L'humanité s'installe dans l'ensemble du Système solaire	+ 500 ans
2 janvier	L'humanité a rendu visite à tous les systèmes planétaires de la Galaxie	+ 50 millions d'années
1 ^{er} avril	Le Soleil devient une géante rouge La Terre disparaît Fin du système solaire	+ 5 milliards d'années

**A cette échelle,
il faut juste
quelques heures/jours
pour coloniser la Galaxie...**

IYA 2009

~ 900 millions de personnes dans 148 pays ont été touchées par un des plus grands événements scientifiques jamais organisés

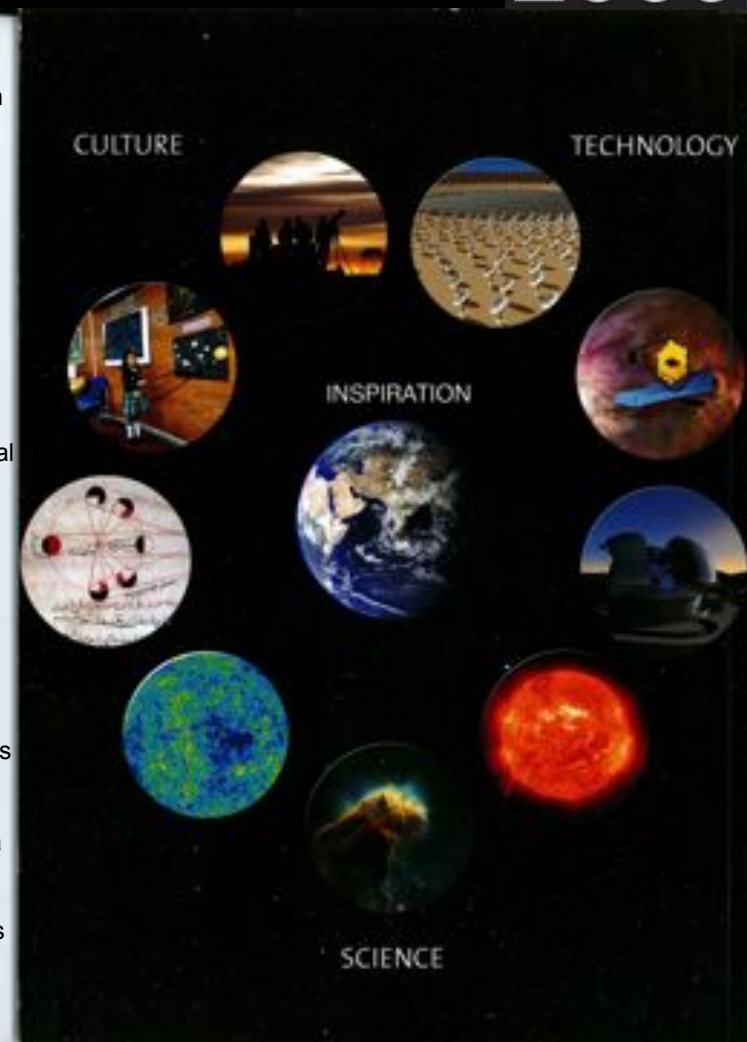


Because astronomy combines science and technology with inspiration and excitement, it can play a unique role in facilitating education and capacity building and in furthering sustainable development throughout the world..

- A challenging science in itself, astronomy provides an exciting gateway into physics, chemistry, biology and mathematics.
- The need to study the faintest celestial objects has driven advanced developments in electronics, optics and information technology.
- The quest to explore the Universe satisfies the deepest cultural and philosophical yearnings of our species and can stimulate a sense of global citizenship.

Astronomy is inspirational. It inspires teenagers to choose a career in science and technology and is a staple of adult education. Many large international telescope facilities are accessible to all astronomers throughout the world, providing an inexpensive entry to cutting-edge international research for developing countries (SKA).

The International Astronomical Union regards access to knowledge about the Universe as a birthright of all people, and furthering the exploitation of astronomy for sustainable global development as an important part of its mission.



La pluralité des mondes : une question très ancienne

Epicure (341-270 av. JC) :

*il est aussi absurde de concevoir un champ de blé avec une seule tige,
qu'un monde unique dans ce vaste univers.*

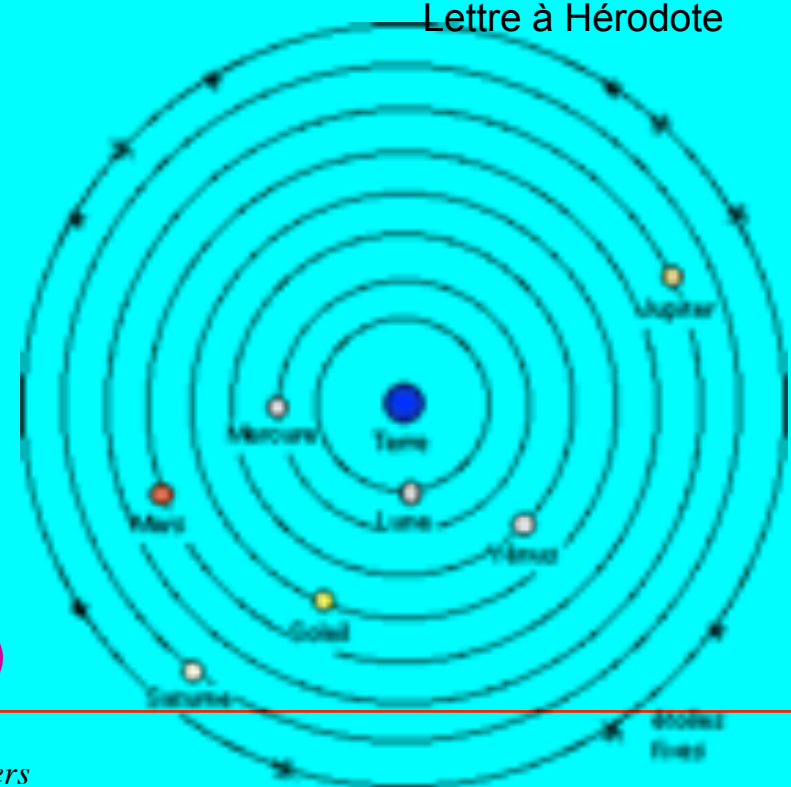
*Les mondes sont en nombre infini, les uns semblables à celui-ci,
les autres dissemblables; (...) il n'y a nulle part d'obstacle à cette infinité; (...)
il n'y a aucune nécessité à ce qu'ils aient la même forme*

Lettre à Hérodoté

Platon – Aristote

*Il existe un seul
monde habité*

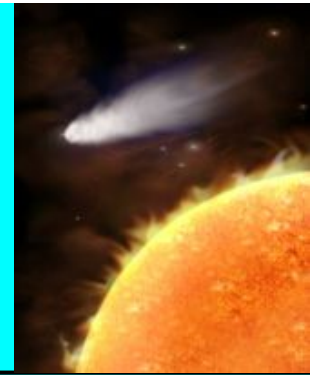
**(conséquence du
système géocentrique)**



Evaporation of Hot-Jupiters



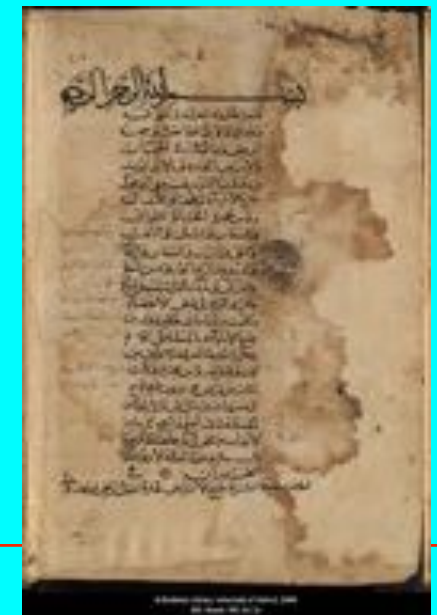
La pluralité des mondes : une question qui perdure



St Augustin (354-430) :
la Mort et la Résurrection du Christ
sont des faits uniques dans l'Histoire
Cette unicité est incompatible
avec l'existence d'autres mondes habités

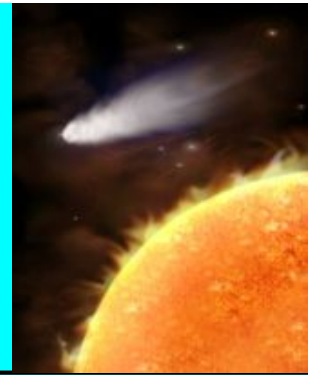


**Al-Razi, IX-X^e siècle: hypothèse
d'un monde non-aristotélicien infini avec
d'autres planètes habitées**



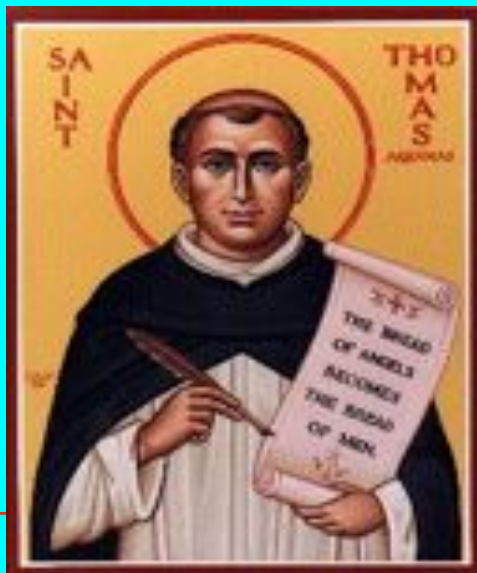
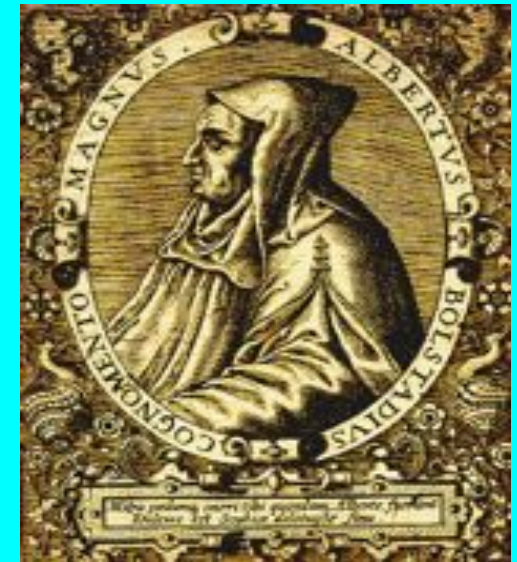


La pluralité des mondes : une question qui perdure



Albert le Grand (1193-1280) :

Si Dieu est tout puissant
pourquoi n'aurait-il pas créé d'autres mondes habités ?



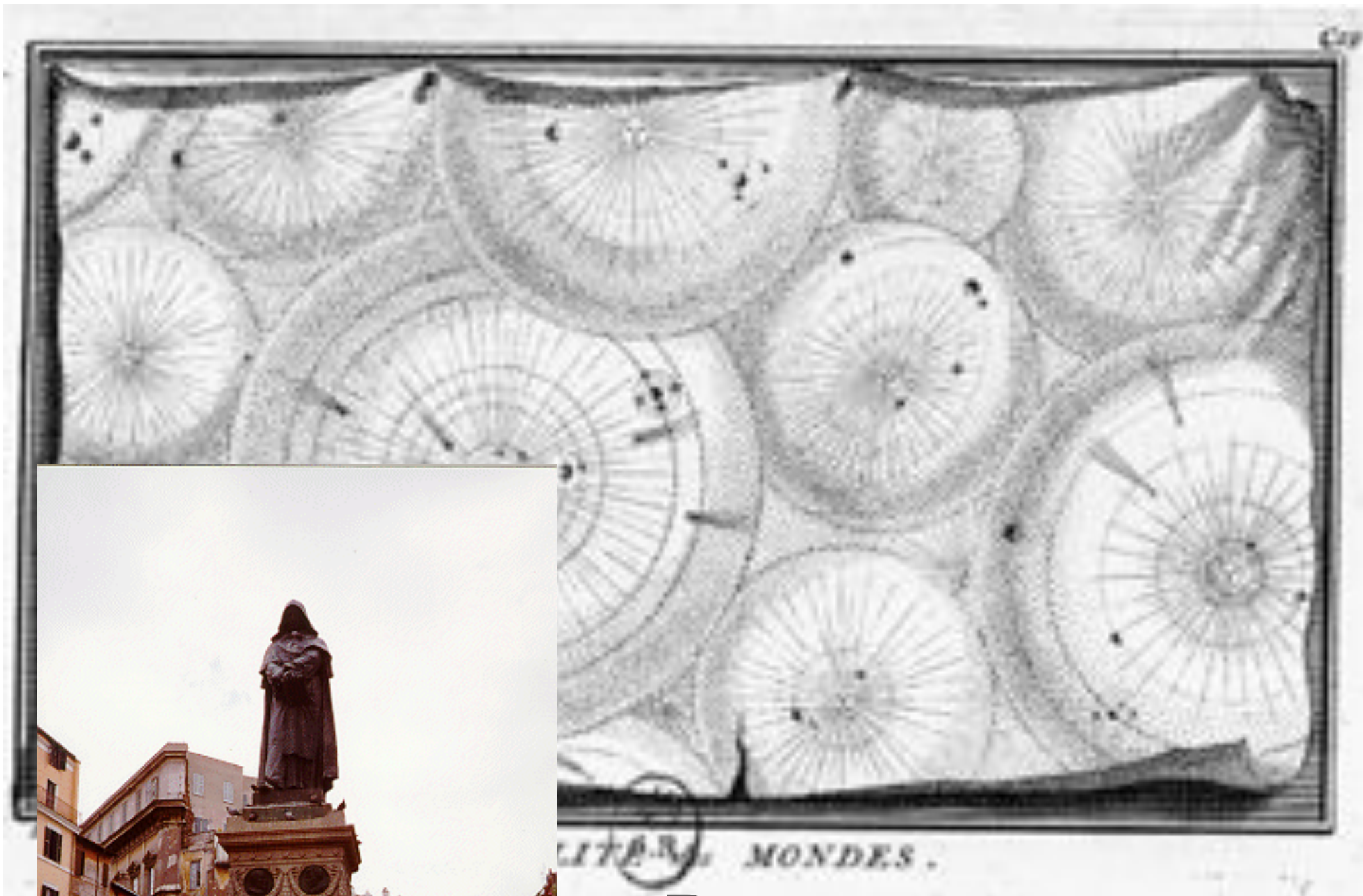
St Thomas d'Aquin (1225-1274) :

Si Dieu avait créé d'autres mondes:

- . tous pareils : incompatible avec l'économie de la sagesse divine
- . tous différents : incompatible avec la perfection de l'acte divin

Donc : Il a créé un seul monde, le nôtre

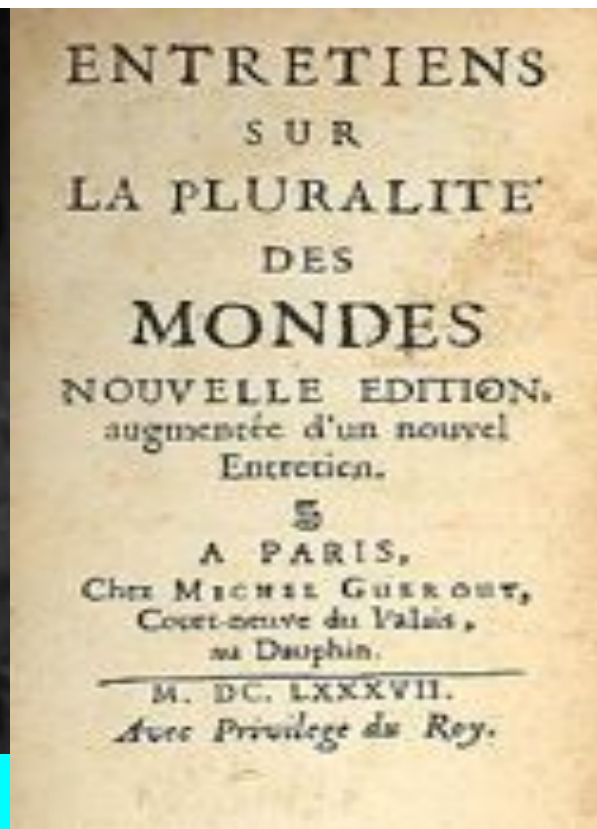
Evaporation of Hot-Jupiters



Ornantes

Rome, Campo dei Fiori

Brûlé vif le 17 février 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**

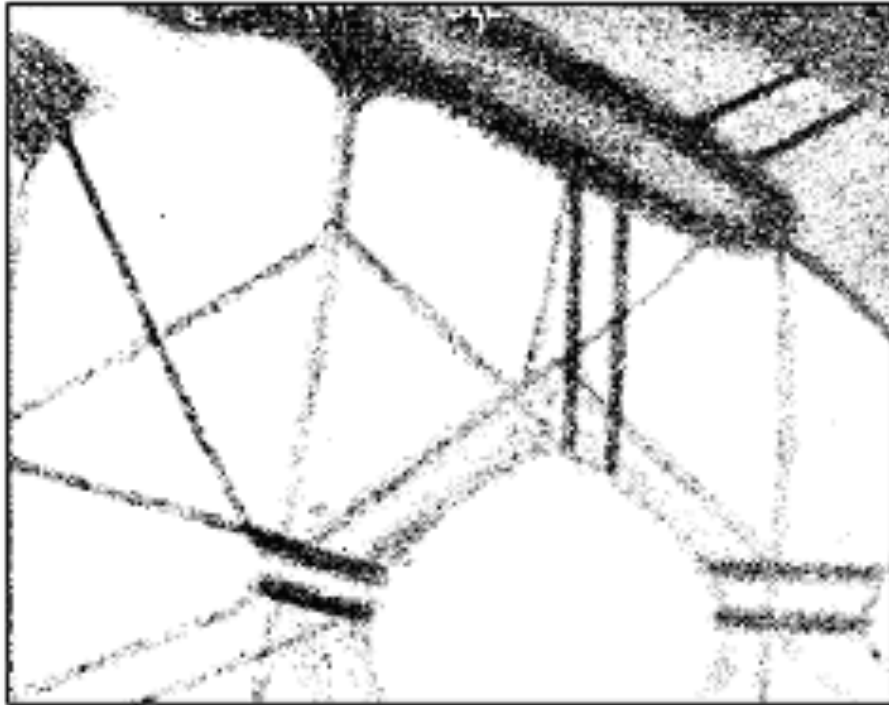
**Le Philosophe : le temps nécessaire pour maîtriser le
voyage spatial est très long ; s'il est supérieur à 6000 ans
on comprend pourquoi ils n'ont pas pu encore arriver ici.**

**Camille
Flammarion**



*La pluralité
des mondes
habités*

1862

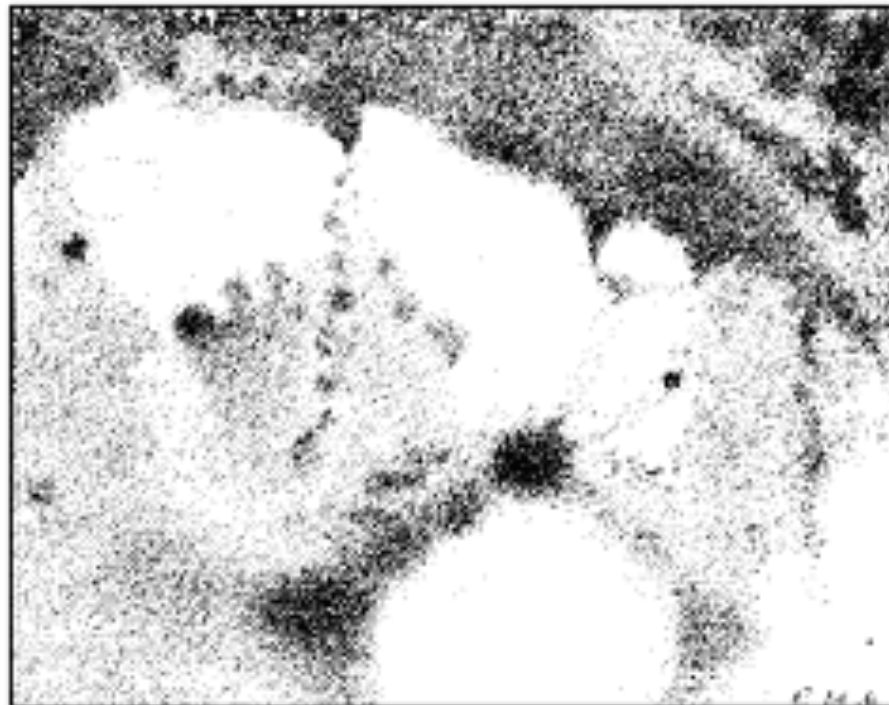


G. Schiaparelli 1877

P. Lowell

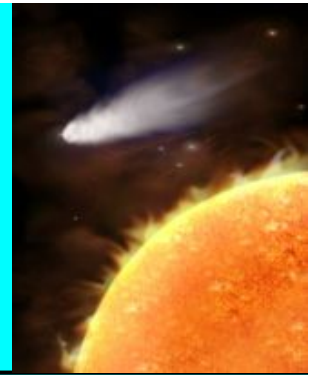
H.G. Wells 1895

La guerre des mondes



E. Antoniadi 1909

La vie sur Mars : une idée qui perdure



Orson Welles 30 octobre 1938 CBS



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

La pluralité des mondes: une question scientifique

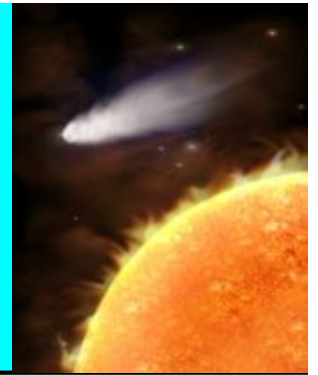
A la recherche des nouveaux mondes :

les planètes extra-solaires



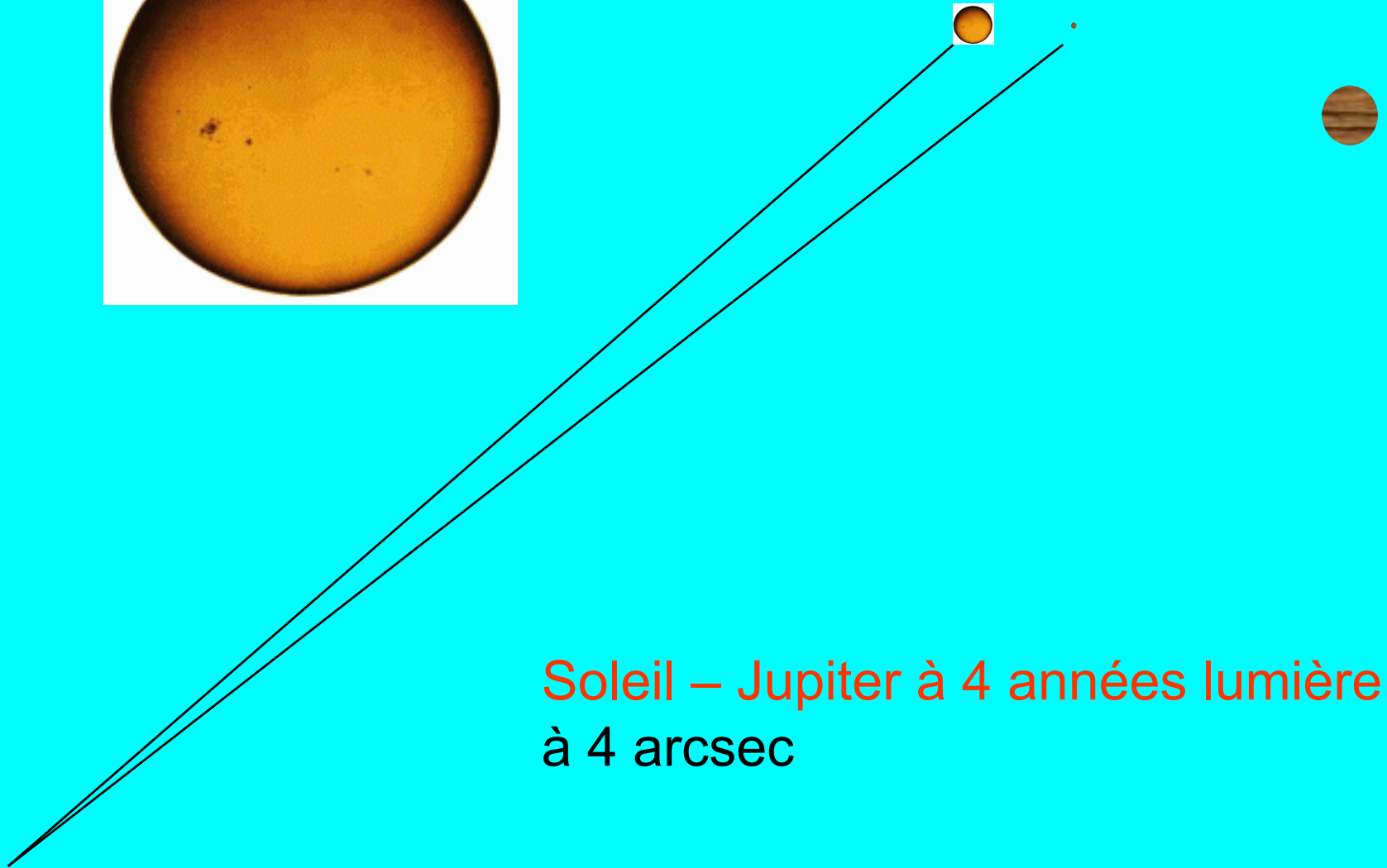
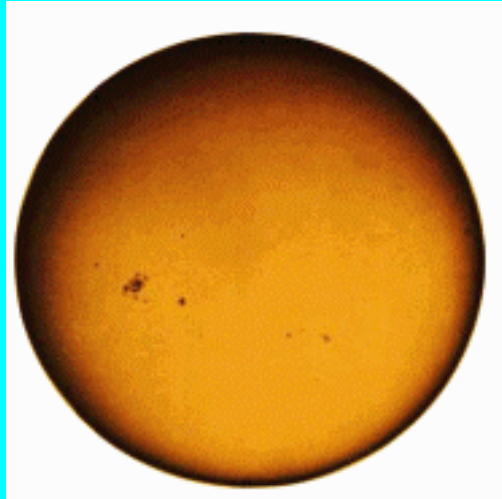


Détection directe

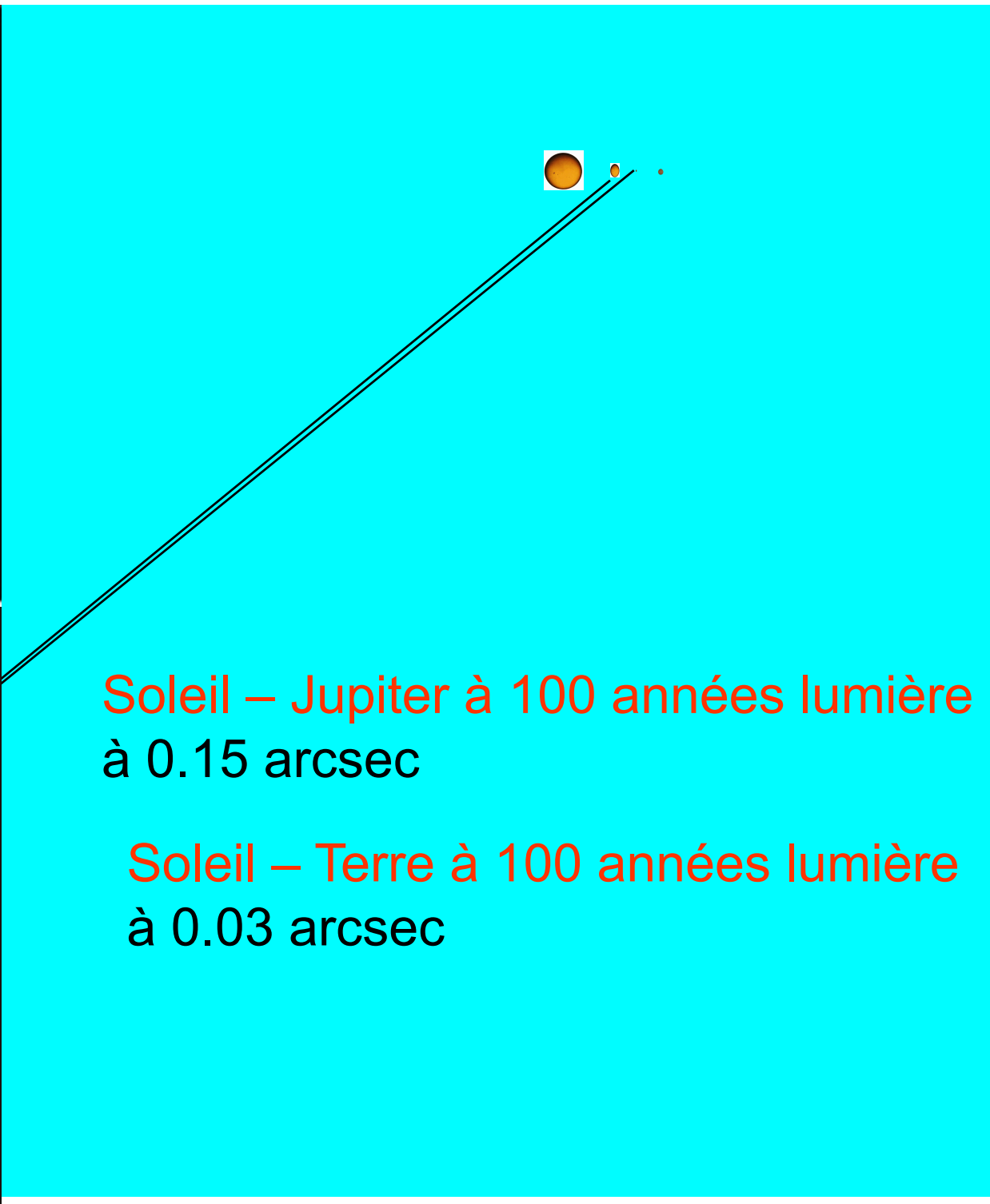
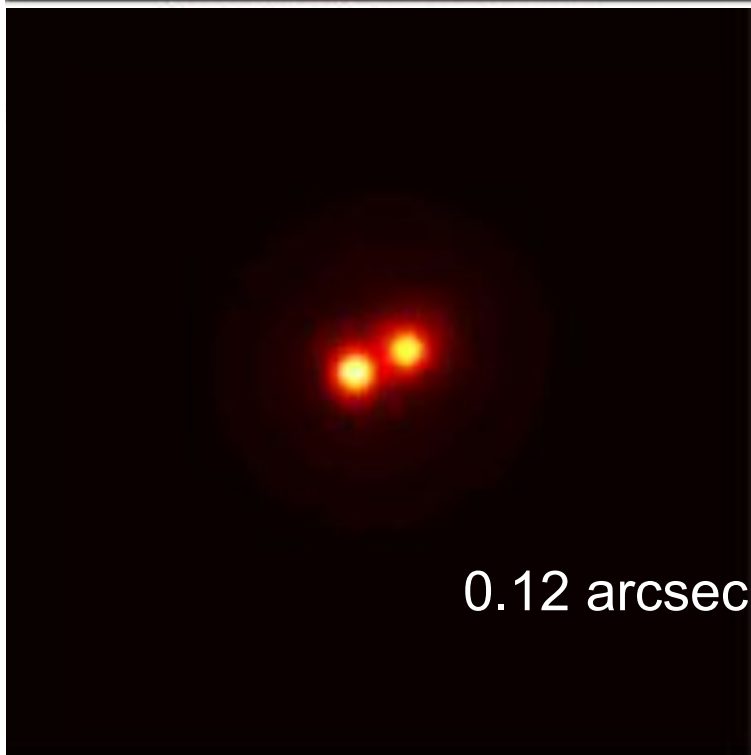
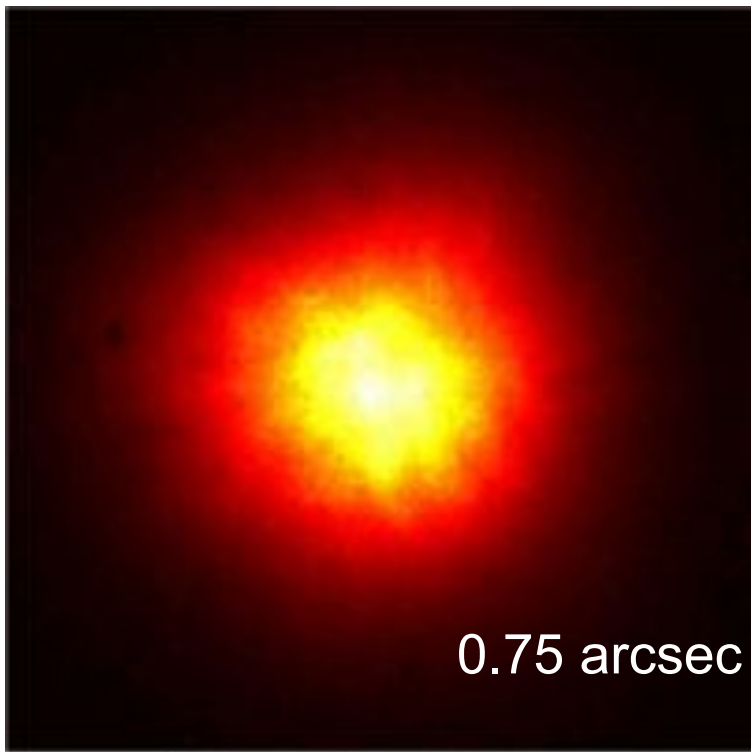


Deux difficultés principales :

1 – Une séparation angulaire très petite

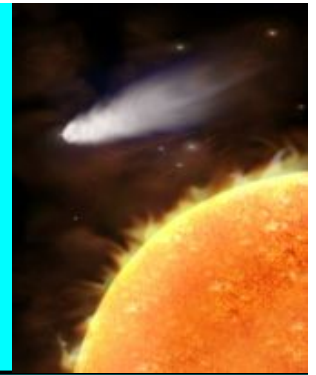


Soleil – Jupiter à 4 années lumière
à 4 arcsec





Détection directe



Deux difficultés principales :

- 1 – Une séparation angulaire très petite
- 2 – Un énorme contraste en luminosité

L'étoile est environ 10 milliard
de fois plus brillante que la
planète





Détection directe

25 mag
10 milliards

La Terre autour d'une étoile à
environ 30 années lumière $\equiv$
un ver luisant à 30 cm d'un phare
de marine situé à Marseille,
l'observateur se trouvant à ... Paris!

17,5 mag
10 millions

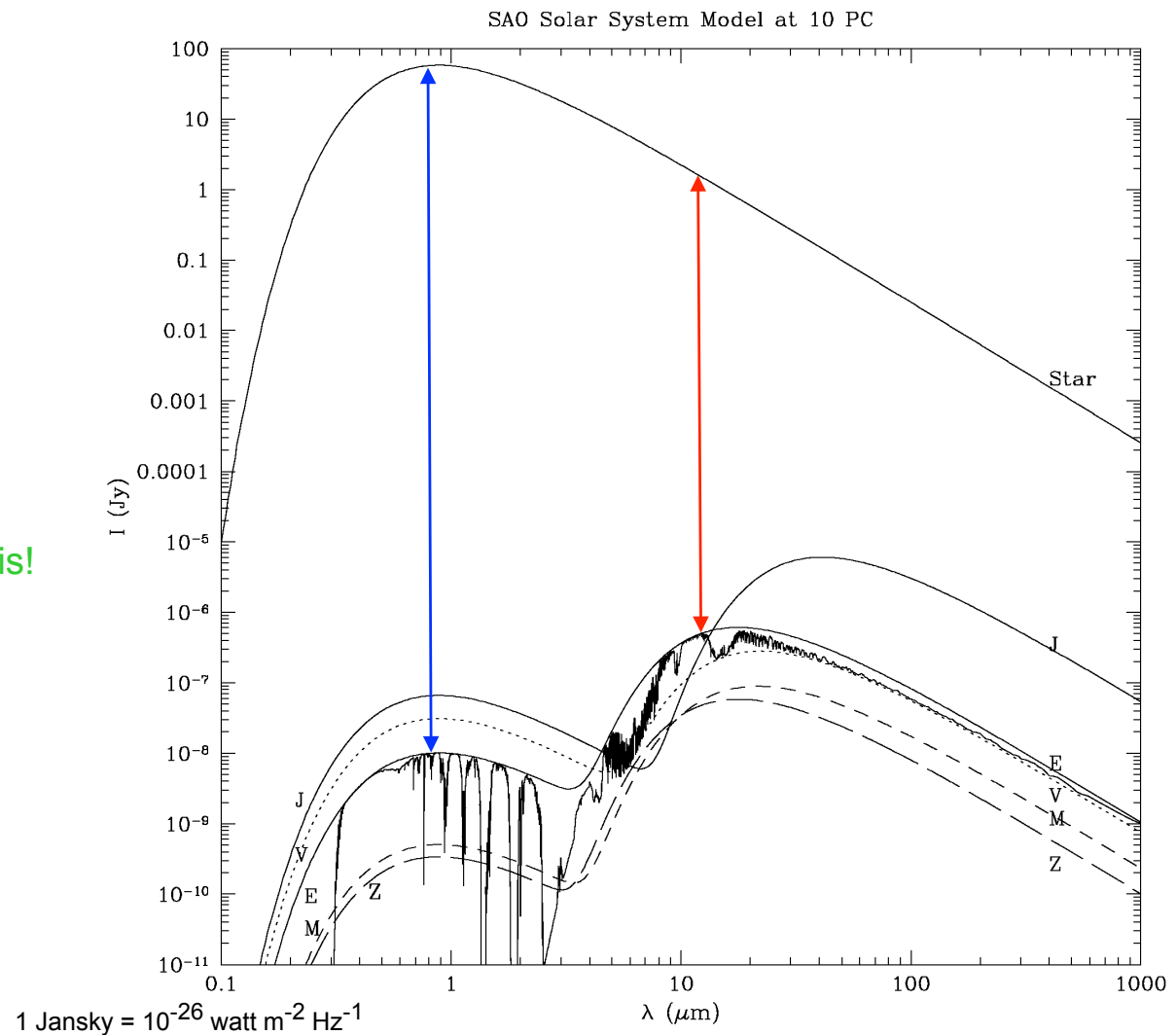


Figure 2. Solar system blackbody thermal emission

The
smooth
depth
 $r^{-0.42}$
1995]

The
planetary
lar sp
visual
appro
observ
The z
the sa
sion b
observ

The
trum
mal e
spher

4.1.

2MASSWJ1207334-393254

778 mas
55 AU at 52 pc

NACO observation at the VLT (ESO)



A

b

The Sub-Stellar Companion to GQ Lupi
(NACO/VLT)

PR Photo 10a/05 (7 April 2005)

© European Southern Observatory

AB Pic

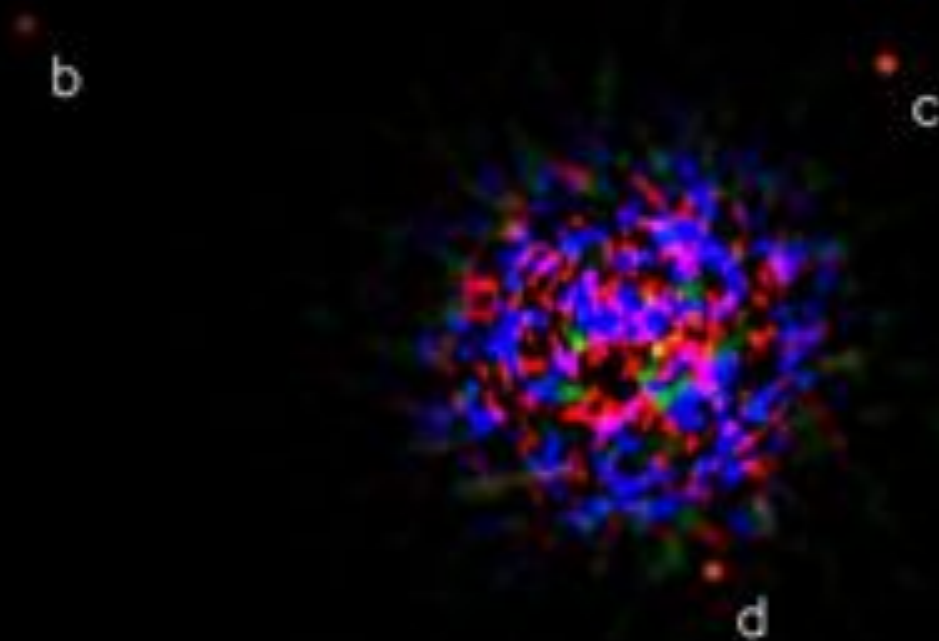
2"

E
N

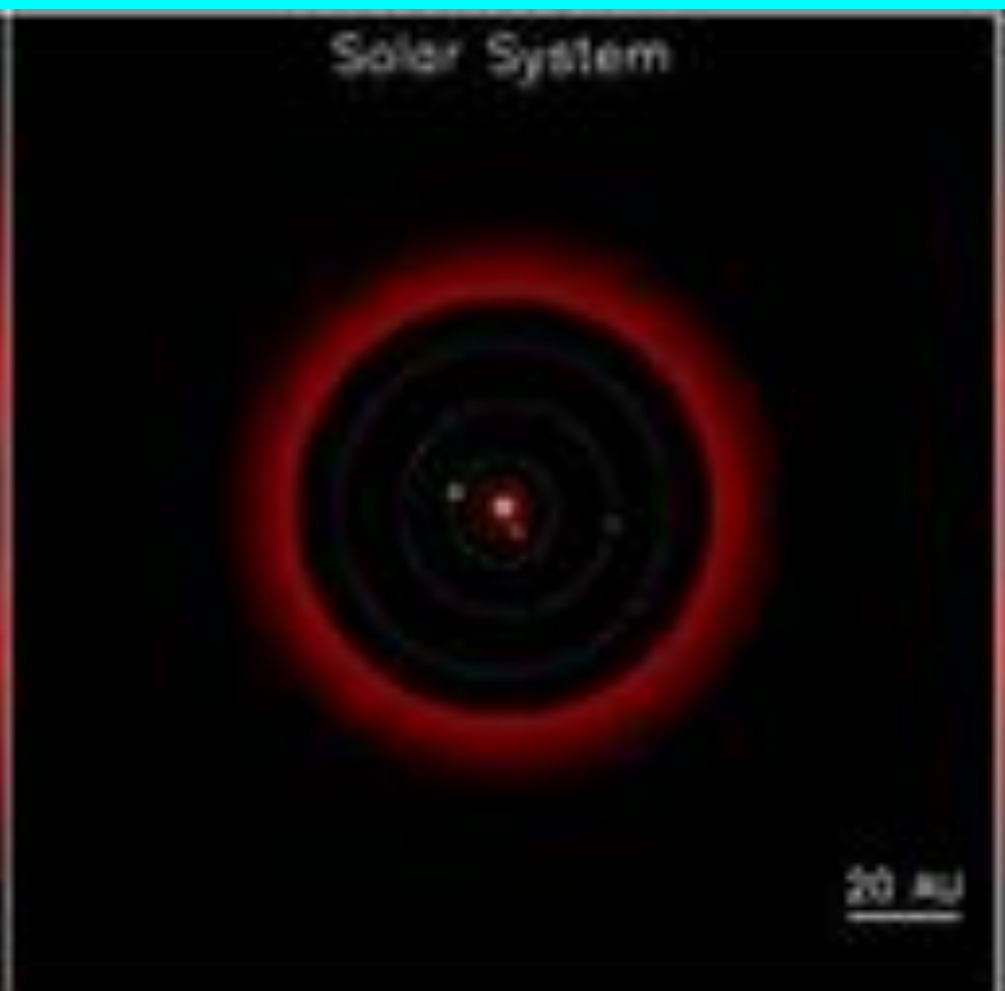
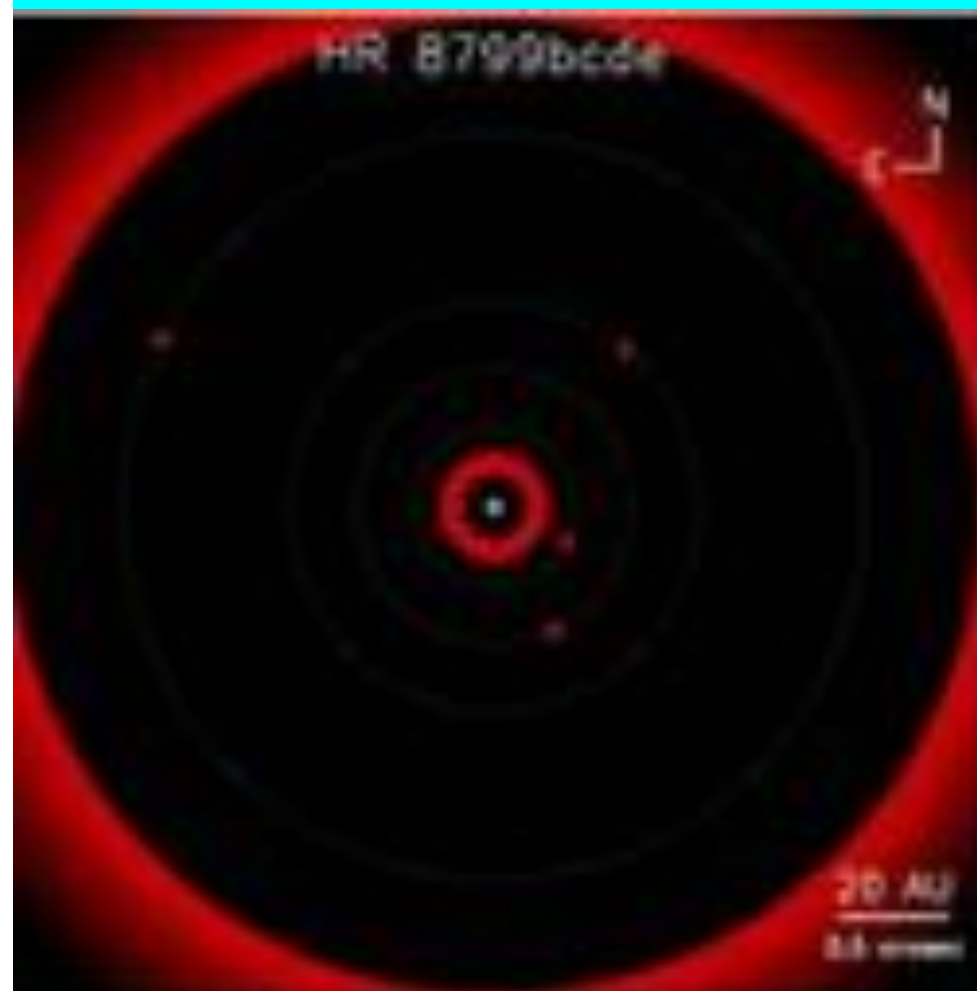
The Star AB Pictoris and its Companion
(VLT/NACO)

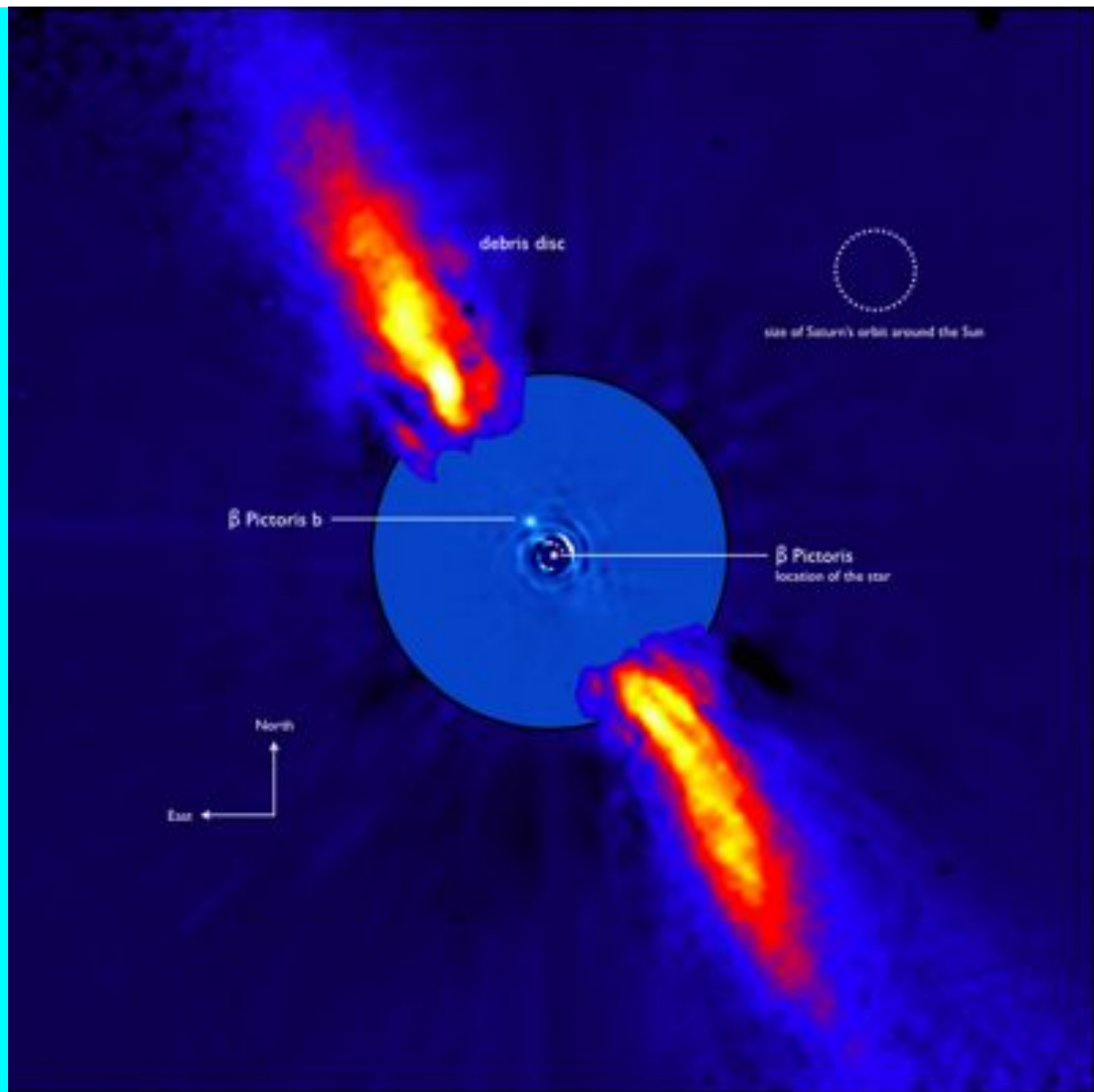
ESO PR Photo 14d/05 (30 April 2005)

HR 8799 Planetary System (Sept. 2008)



0.5 arcsec
20 AU





0.5 arcsec

10 AU

size of Saturn's orbit
around the Sun

dust disk
in J band (1.3 μm)

giant planet β Pic b
seen in L' band (3.8 μm)
..... in October 2003

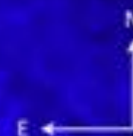
β Pictoris
position of the star (artificially subtracted)

..... in November 2009

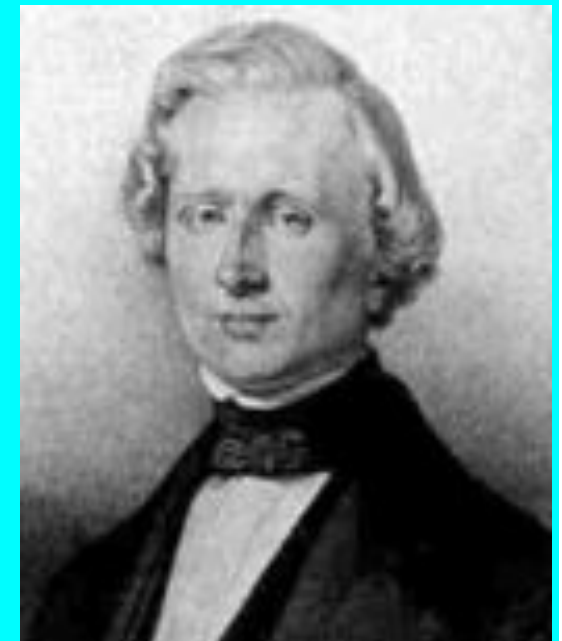
Infrared view of the planetary system around the young star β Pictoris

composed with images taken at the European Southern Observatory telescopes in Chile:

- the 3.6-m telescope + ADONIS instrument in La Silla (Mouillet et al. 1997)
- the Very Large Telescope + NACO instrument in Paranal (Lagrange et al. 2009-2010)



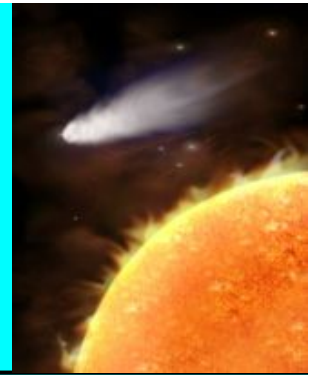
A diagram of the solar system with the Sun at the center. Concentric elliptical orbits are shown. Planets are labeled: Mercury (orange dot), Venus (green dot), Earth (yellow dot), Mars (blue dot), Jupiter (light blue dot), Saturn (light green dot), Uranus (orange dot), and Neptune (dark blue dot). A thick red line connects the Sun to Earth, passing through Venus and Mercury.



retrouvant pas sa planète, M. Leverrier se décide à coller à sa place dans le firmament un calcul qui prouve son existence.



Effets dynamiques



Le lanceur de marteau

Centre de masse

Effets dynamiques

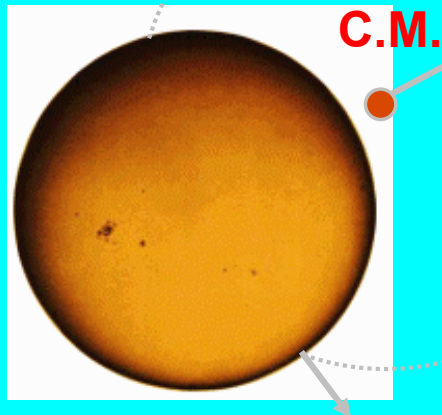
- Astrométrie
- Chronométrage
- Vélocimétrie



Gravitational perturbation induced by Jupiter on the Sun

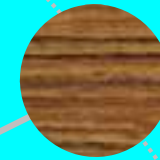
Period : 11.9 years
Distance : 0.005 AU
Velocity : 12 m.s^{-1}

Period : 11.9 years
Distance : 5.2 AU
Velocity : 13 km.s^{-1}



Solar motion

Jupiter orbit

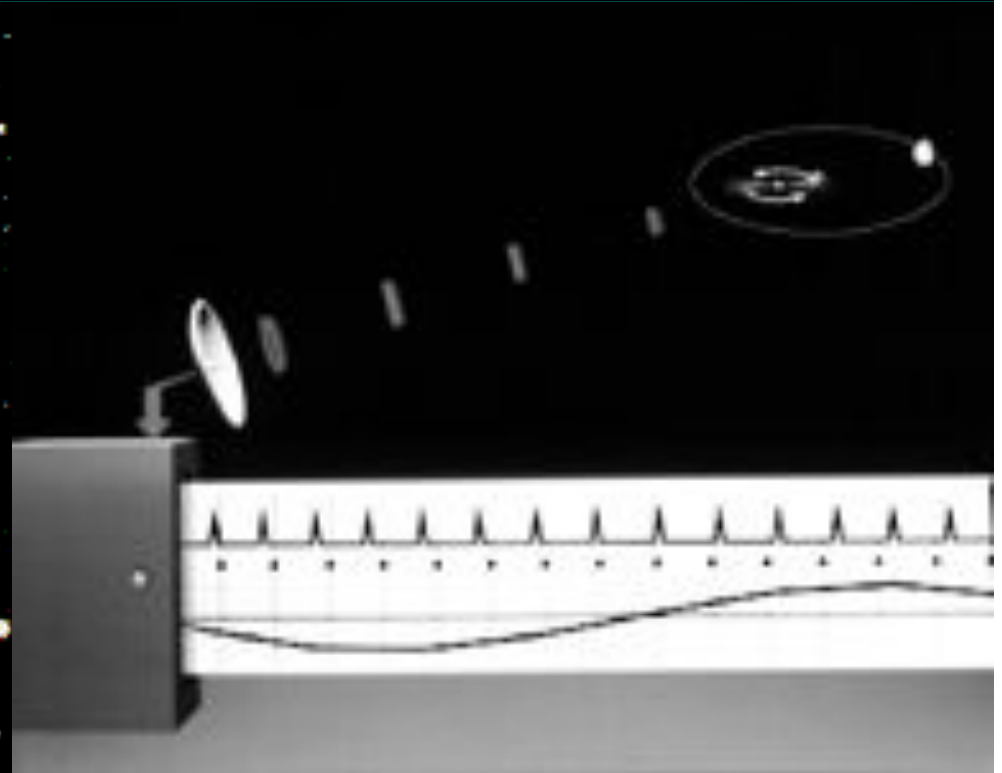
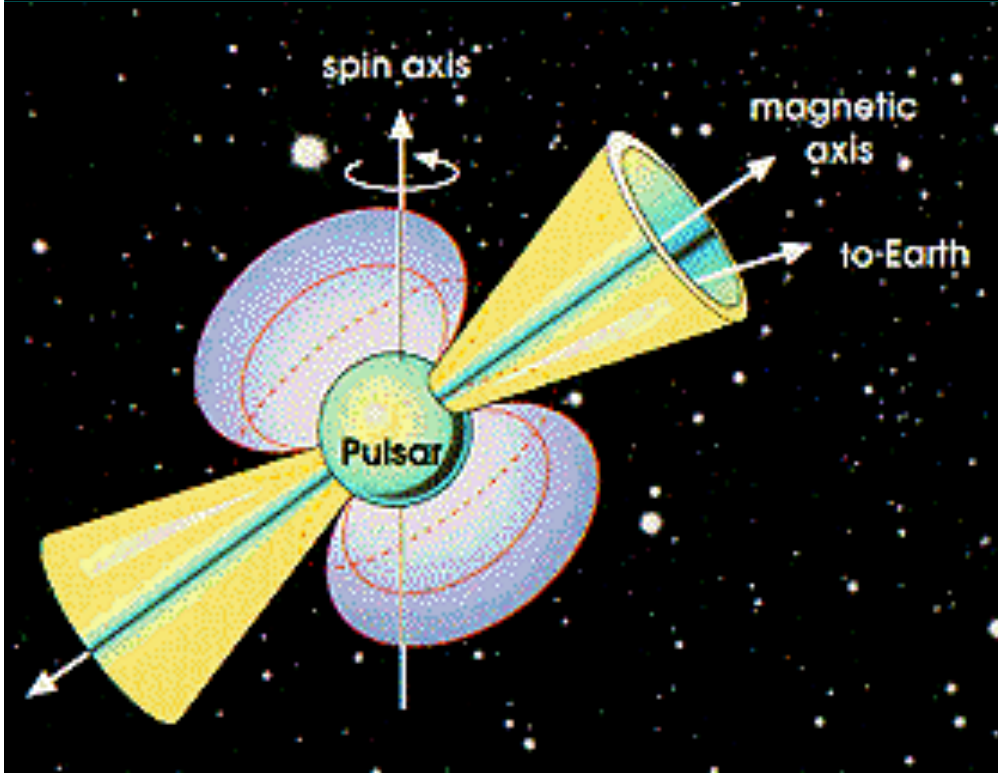
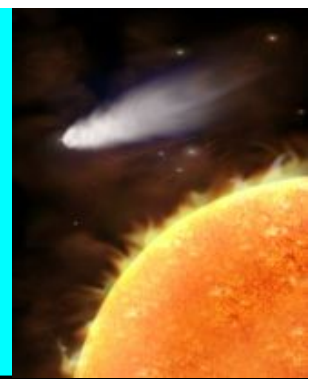


Le mouvement du Soleil



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

Chronométrage



$$\tau[ms] = 1.6 \cdot \frac{M_p[M_{Terre}]}{M_{pulsar}^{4/3}[M_{Soleil}]} \cdot P^{2/3}[an]$$

Evaporation of Hot-Jupiters

Soleil

PSR B1257+12

Mercure

Venus

Terre

Planète A

Planète B

Planète C

0

0.10

0.20

0.30

0.40

0.50

0.60

0.70

0.80

0.90

1.00

Centre de masse

Effets dynamiques

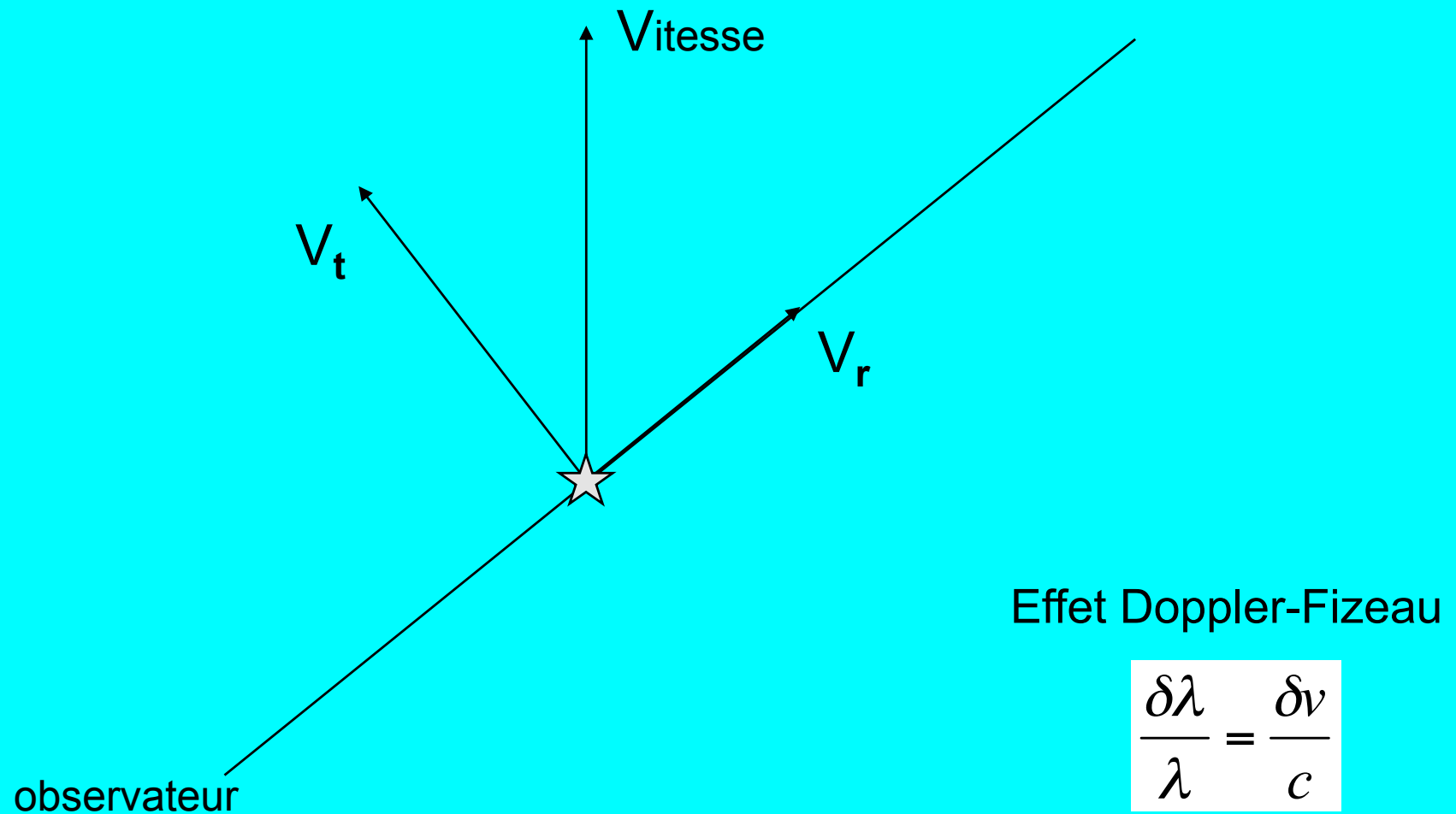
- Astrométrie
- Chronométrage
- Vélocimétrie



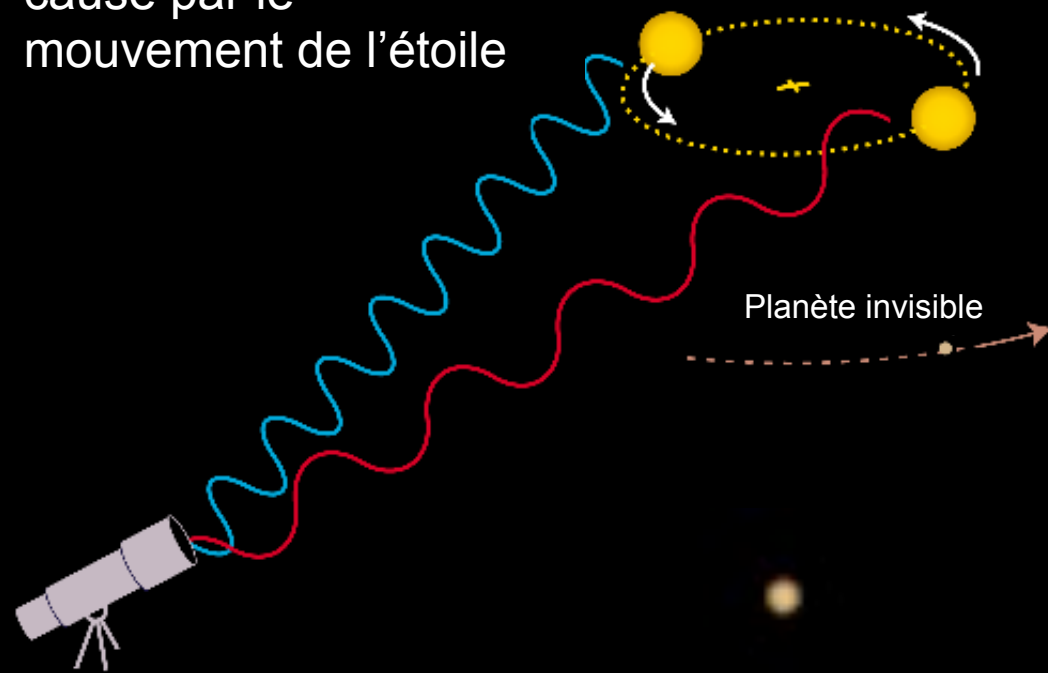
Spectroscopie



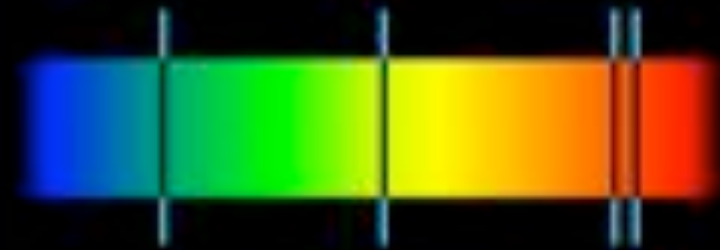
Vitesse radiale



Décalage Doppler
causé par le
mouvement de l'étoile



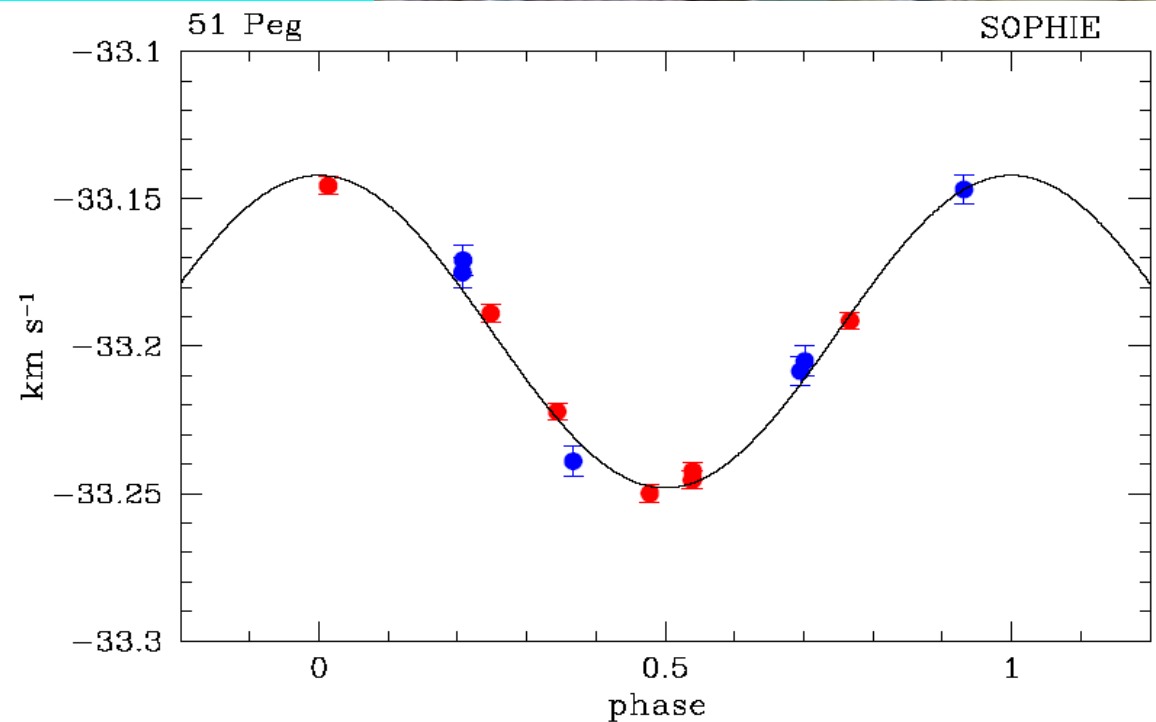
→ $M_p \sin i$



Première planète extrasolaire en orbite autour d'une étoile de type solaire



Mayor & Queloz
1995



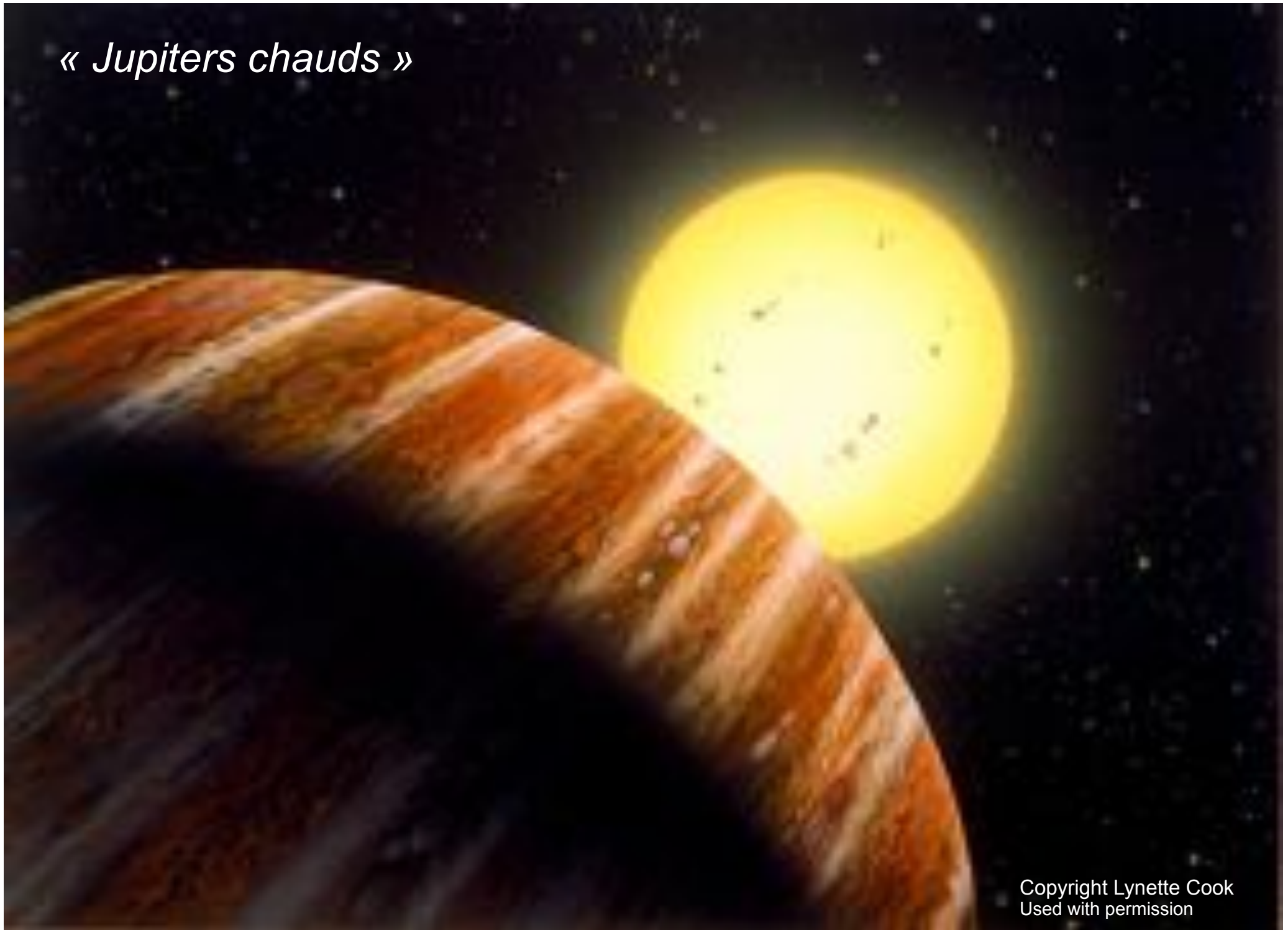
$$K = 59 \text{ m.s}^{-1}$$

$$a = 0.05 \text{ AU}$$

$$m_p \sin i = 0.47 \text{ m}_J$$

$$P = 4.231 \text{ days}$$

« *Jupiters chaudi* »

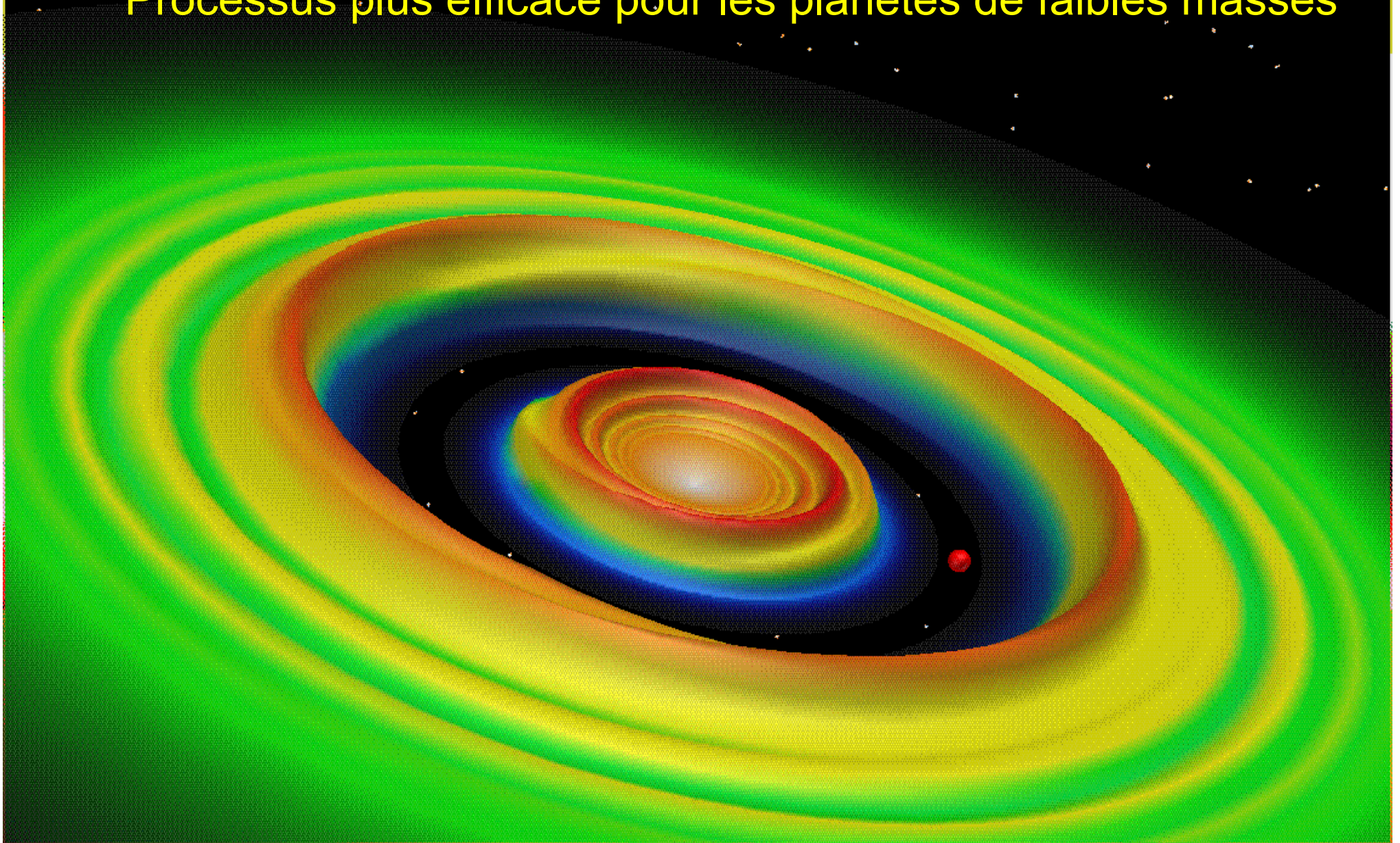


Copyright Lynette Cook
Used with permission

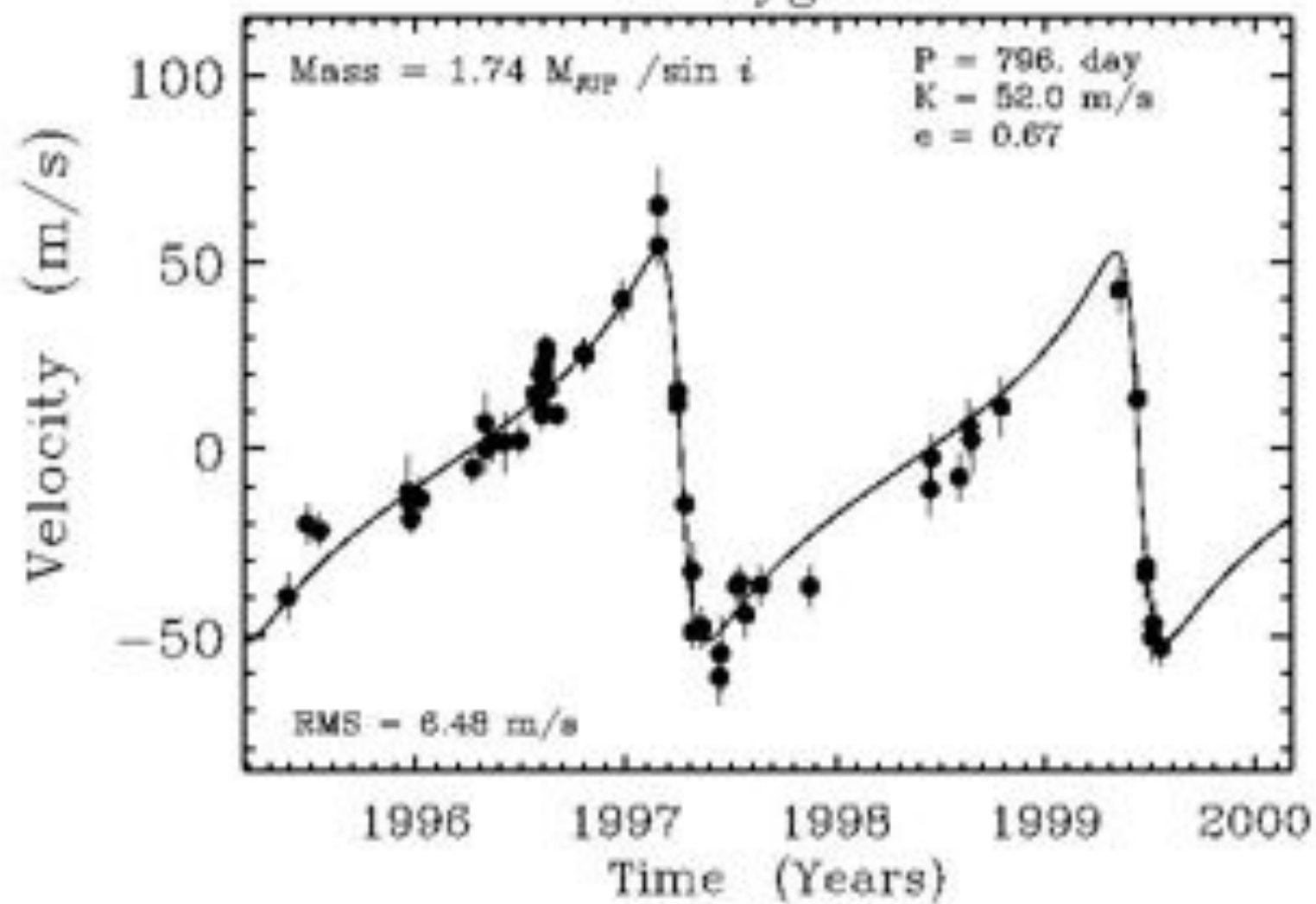
Migration

Due aux interactions gravitationnelles avec le disque

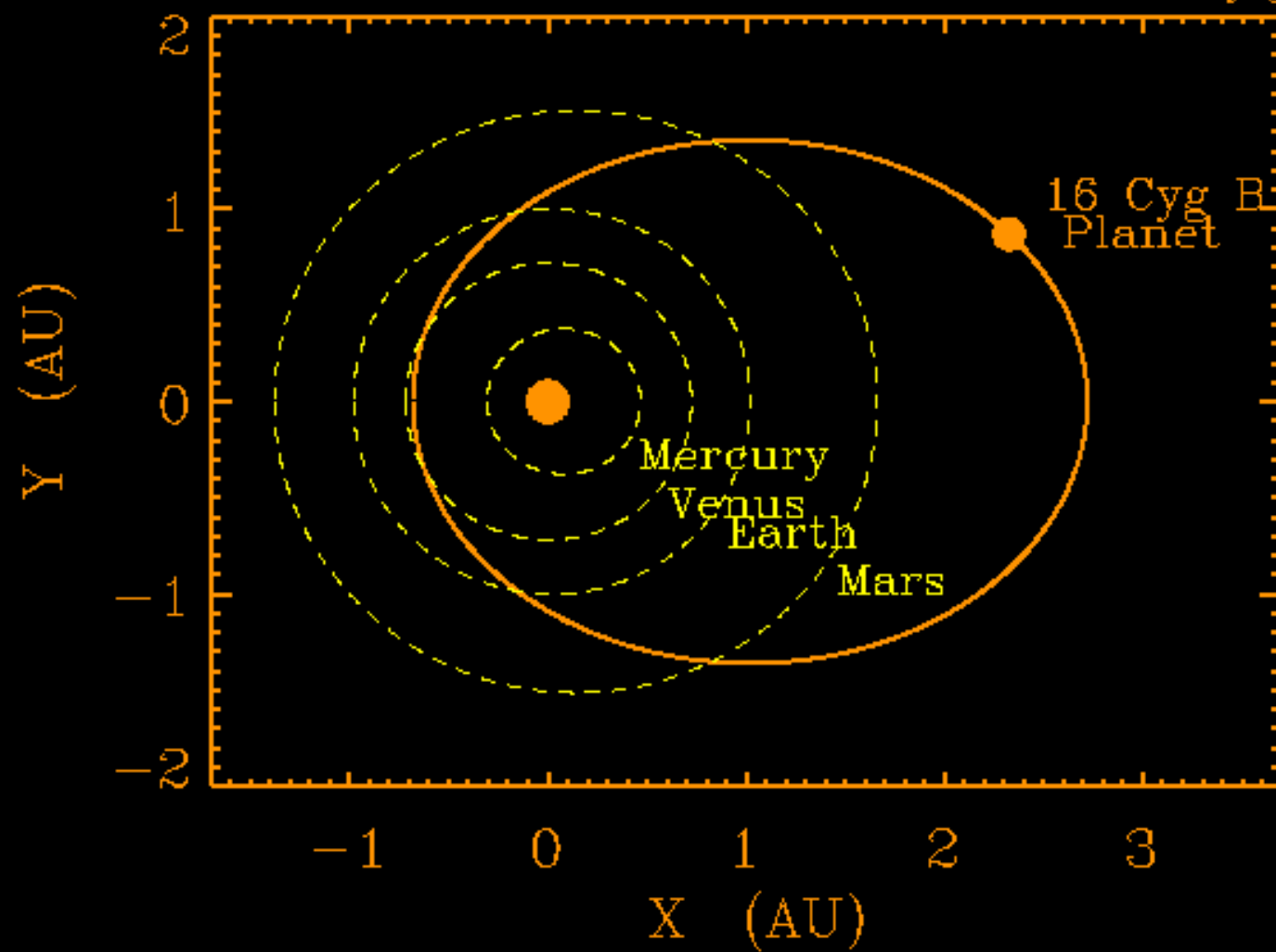
Processus plus efficace pour les planètes de faibles masses



16 Cygni B



Orbit of Planet Around 16 Cyg B

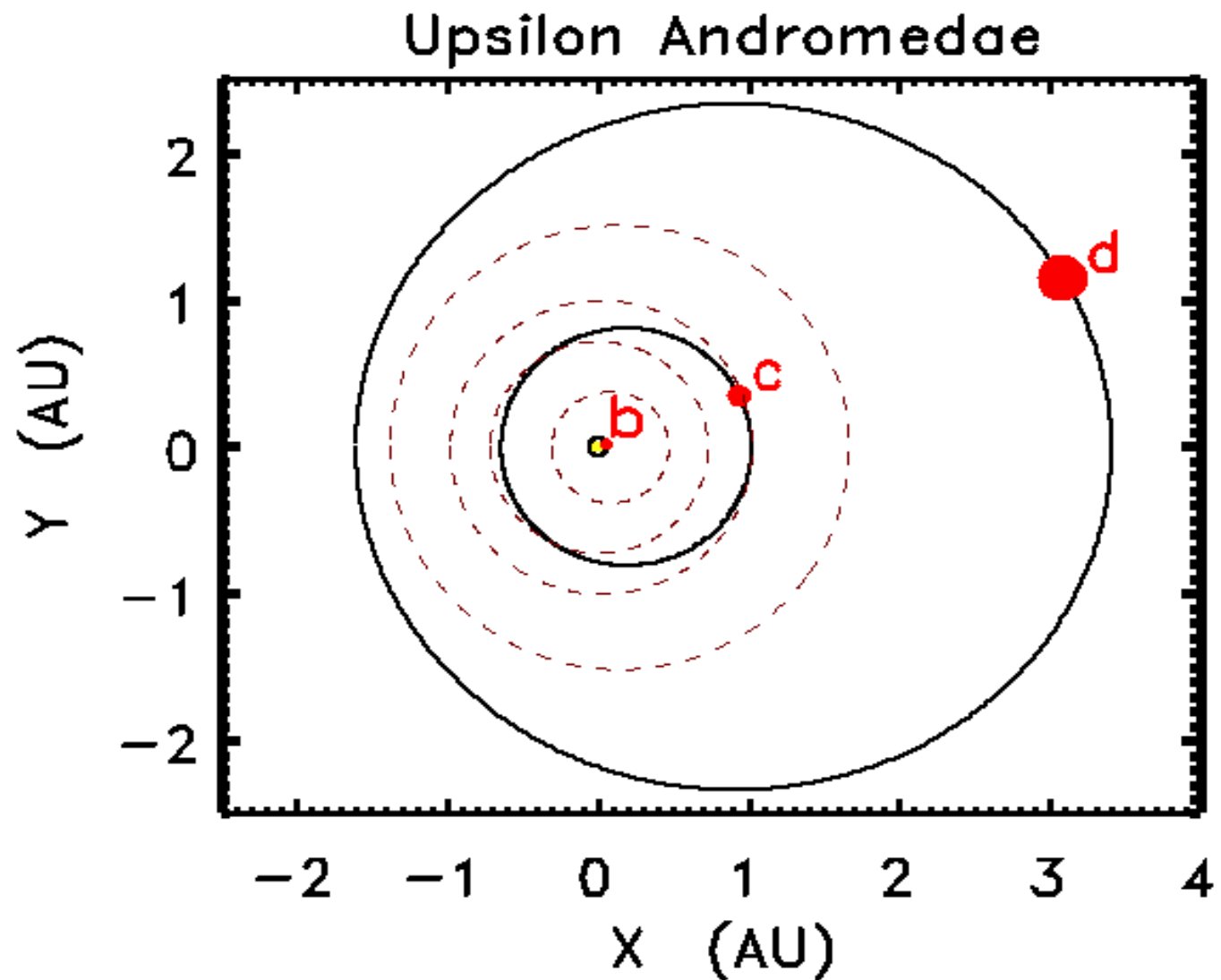


Systemes multiples

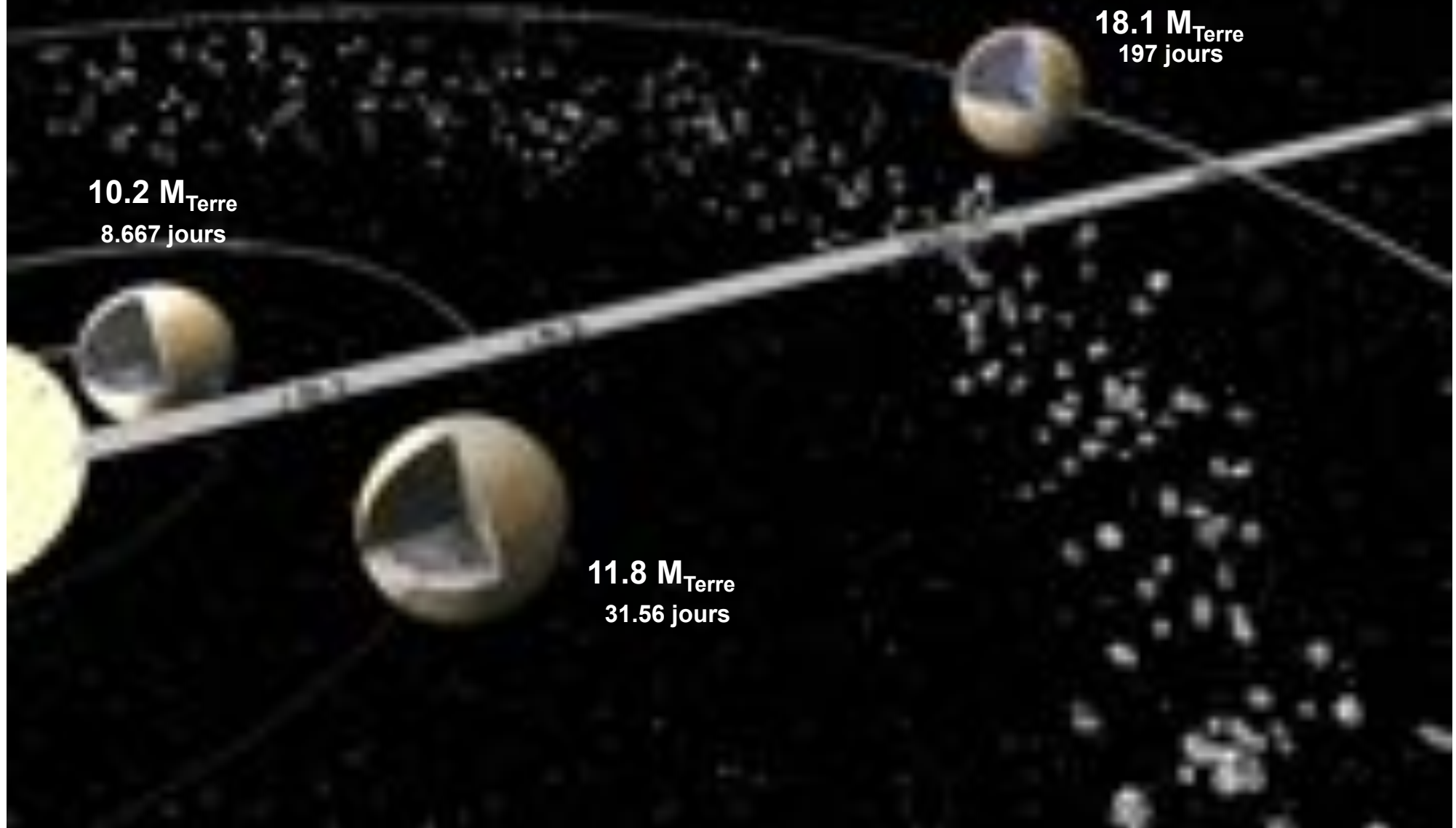
b : 4.617 jours
0.69 M_J

c : 241.5 jours
1.98 M_J

d : 1274.6 jours
3.95 M_J



Un système de trois « Neptunes » autour de HD 69830

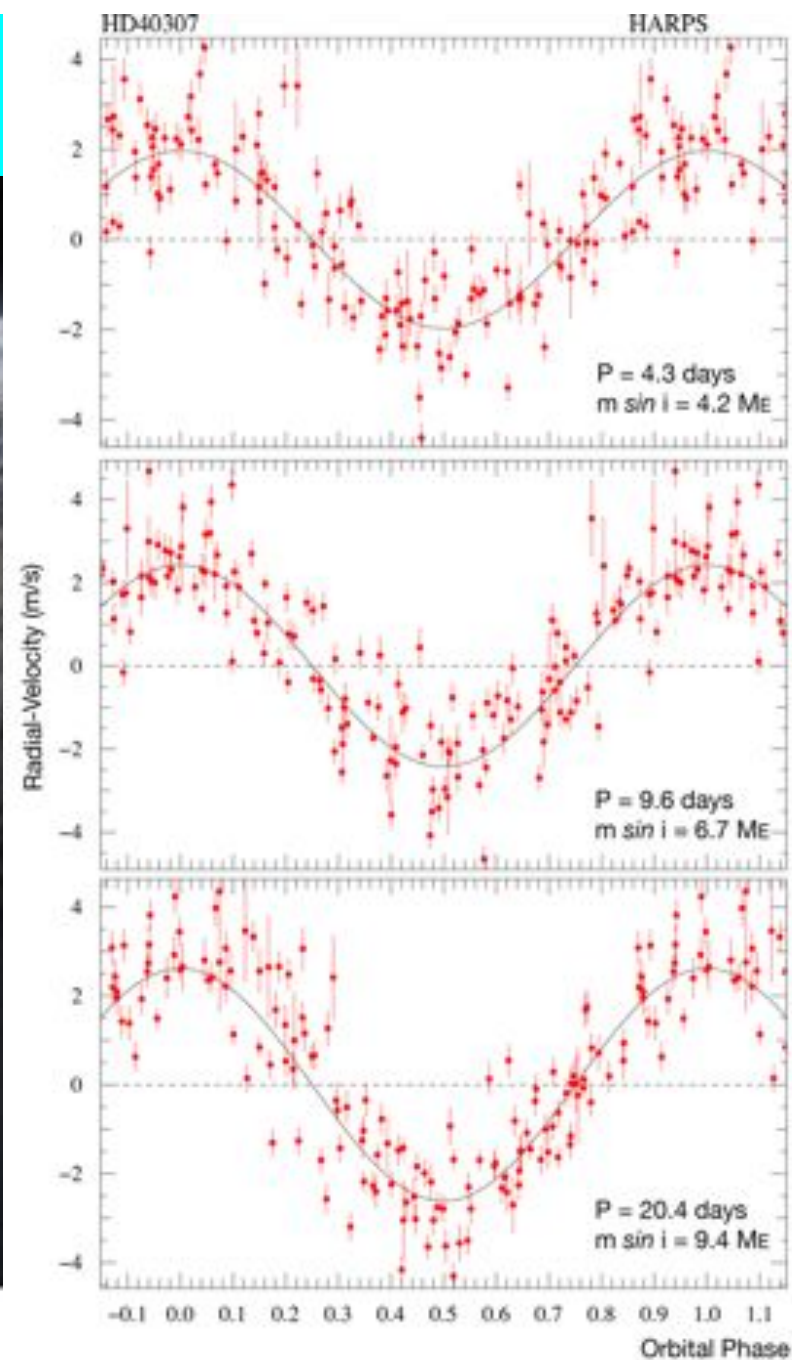




A Trio of Super-Earths (Artist's Impression)

ESO Press Photo 19a/08 (16 June 2008)

This image is copyright © ESO. It is released in connection with an ESO press release and may be used by the press on the condition that the source is clearly acknowledged.



Measurements of HD 40307
(HARPS/3.6-m)

ESO Press Photo 19b/08 (16 June 2008)

This image is copyright © ESO. It is released in connection with an ESO press release and may be used by the press on the condition that the source is clearly acknowledged.





Méthodes photométriques



L'occultation
ou transit



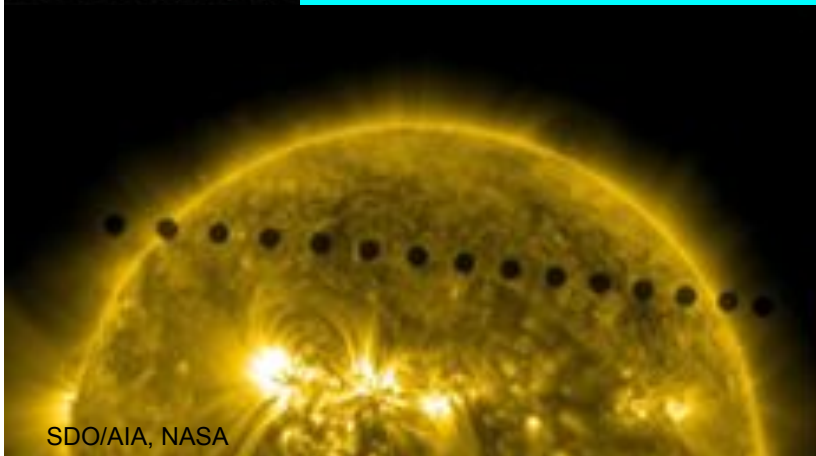




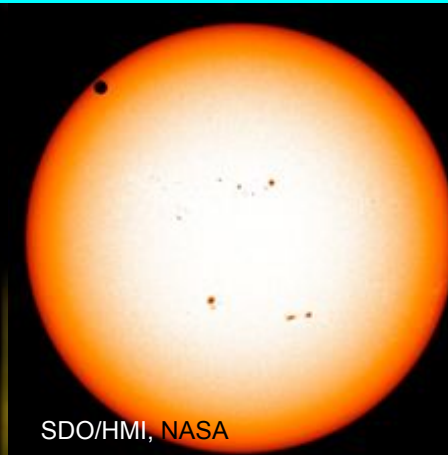
Transit de Mercure et passage d'un avion - 7 mai 2003 - MTO 1000mm et Nikon D1 - ©Philippe JACQUOT

Transit de Vénus

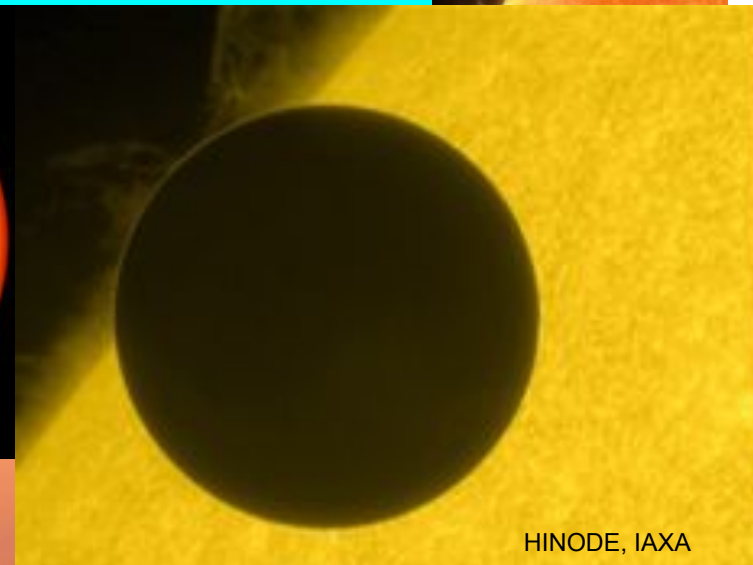
6 juin 2012



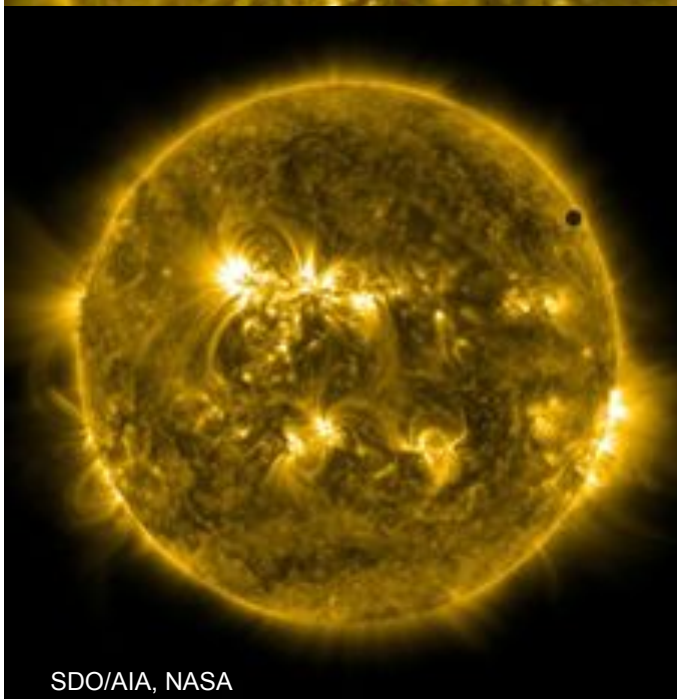
SDO/AIA, NASA



SDO/HMI, NASA



Hinode, IAXA



SDO/AIA, NASA



K. Borg, Malta



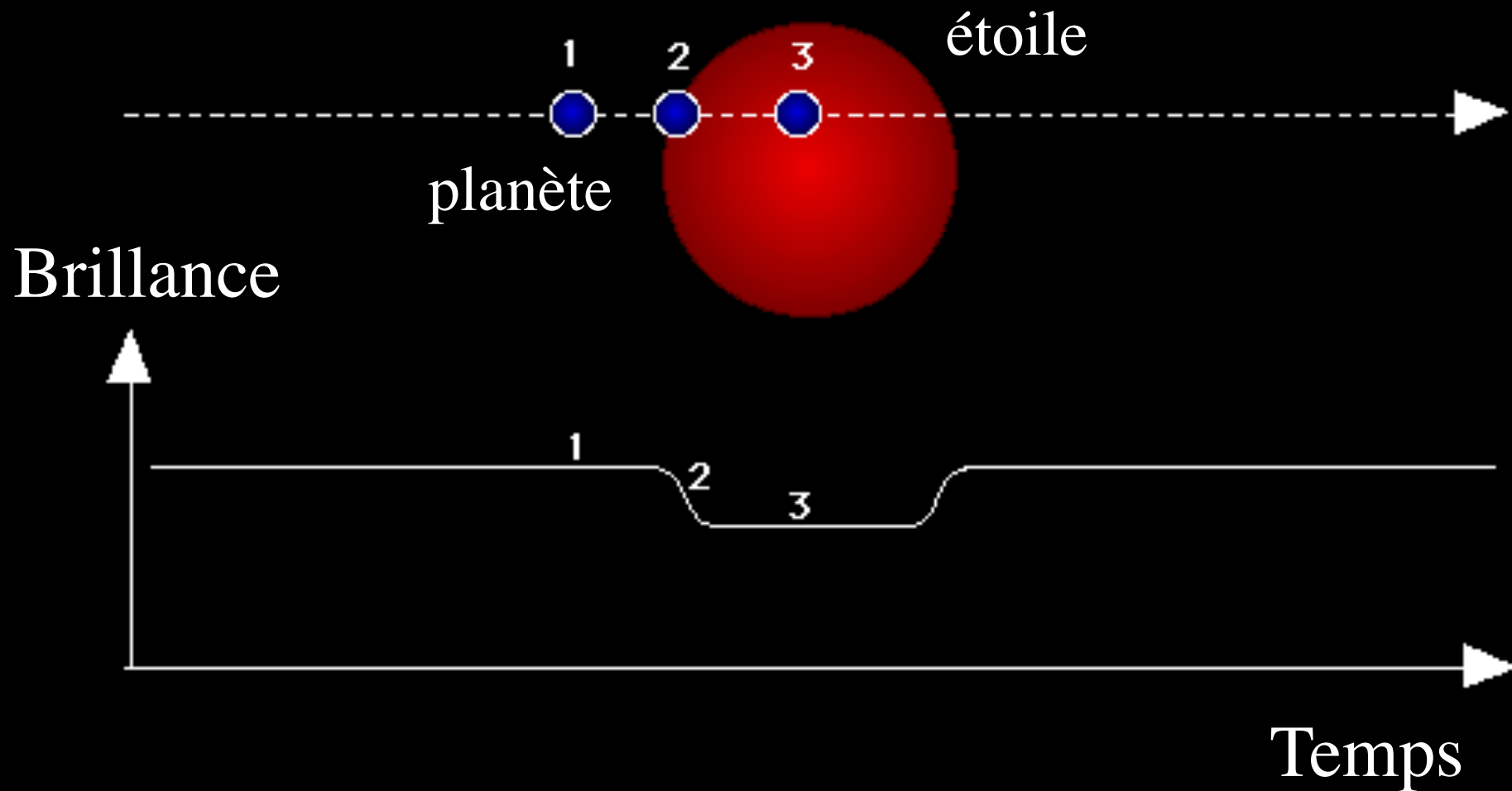
Soberski, Poland



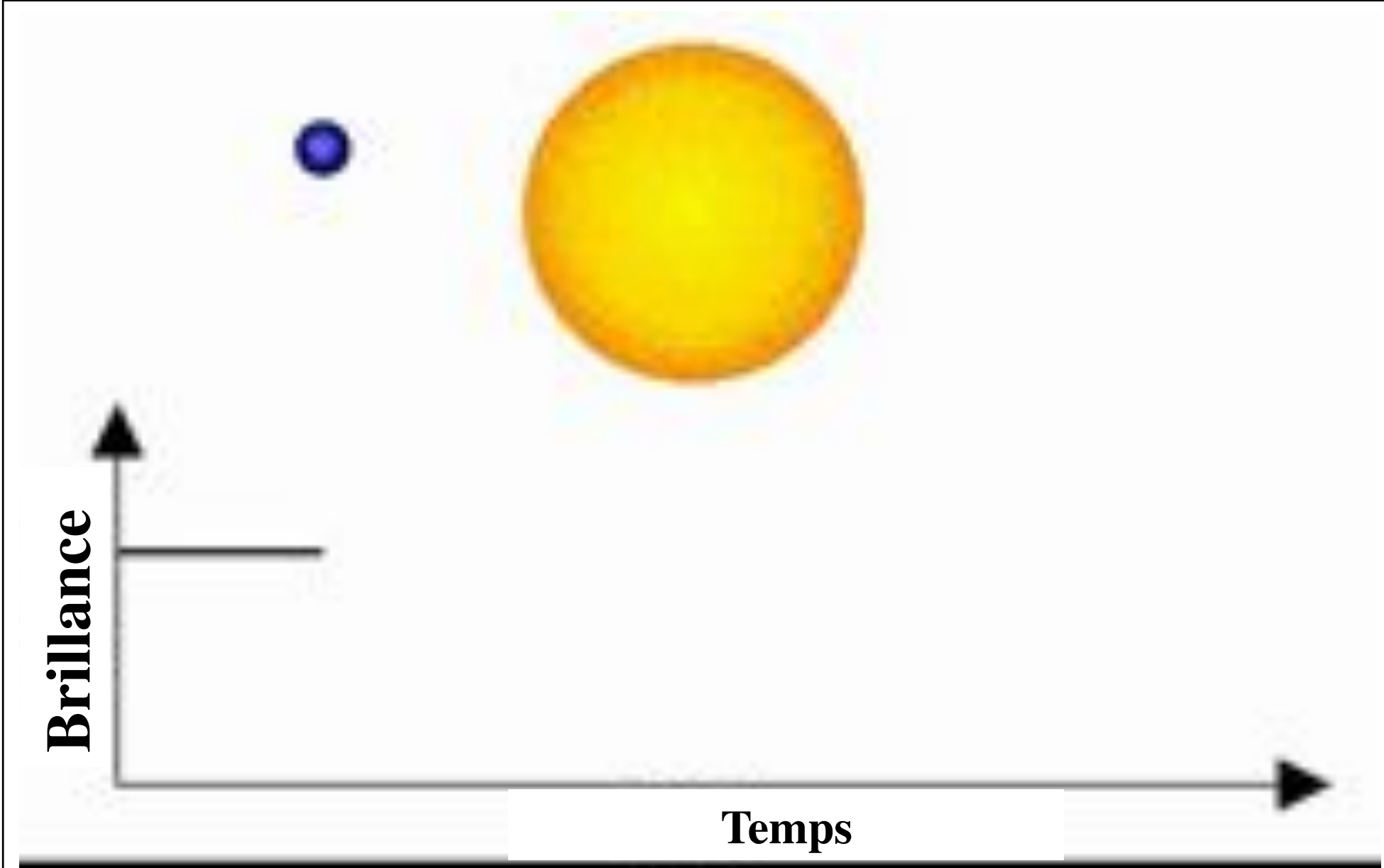
Eclipse 4/01/2011 et ISS
Crédit: Thierry Legault

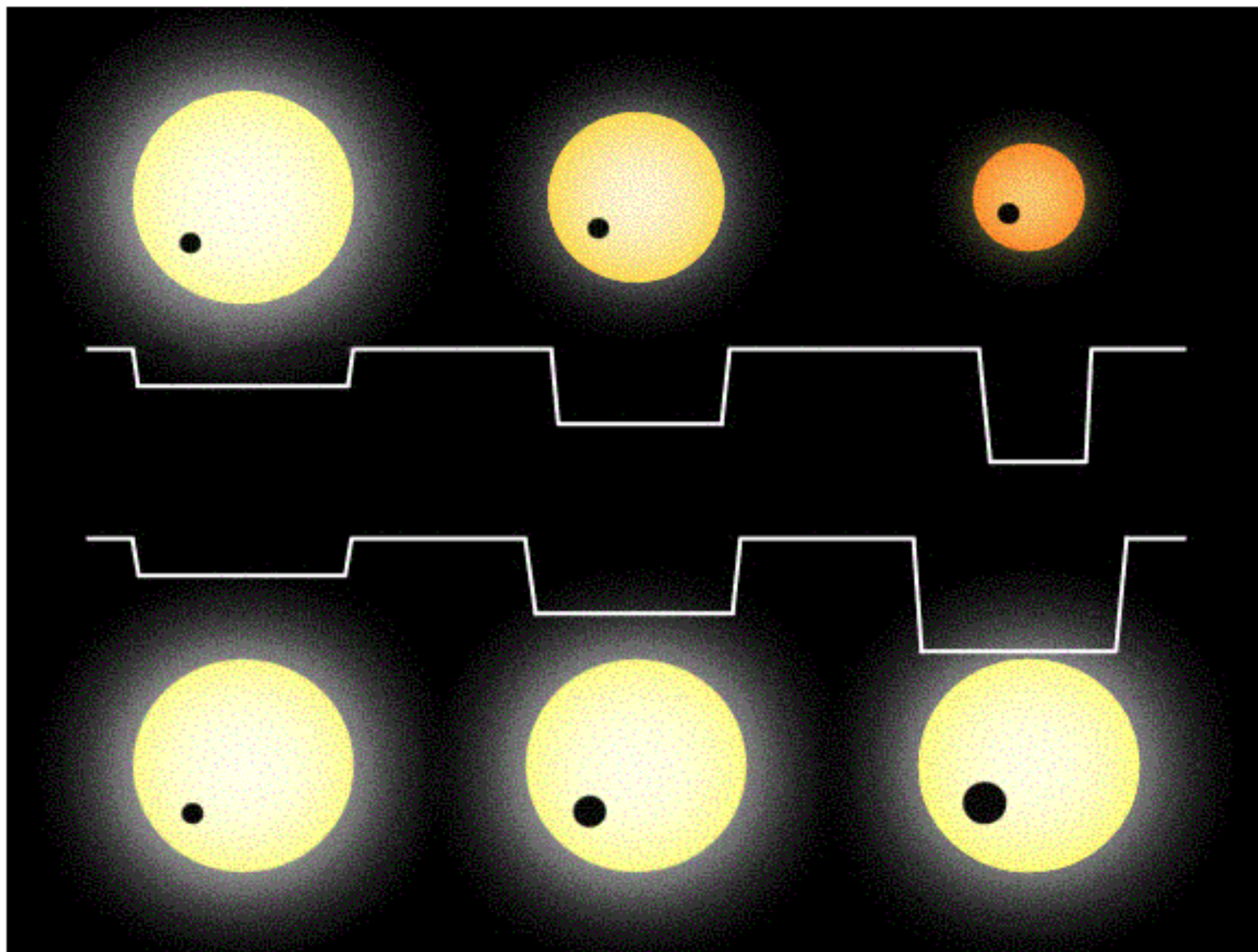


La photométrie d'un transit

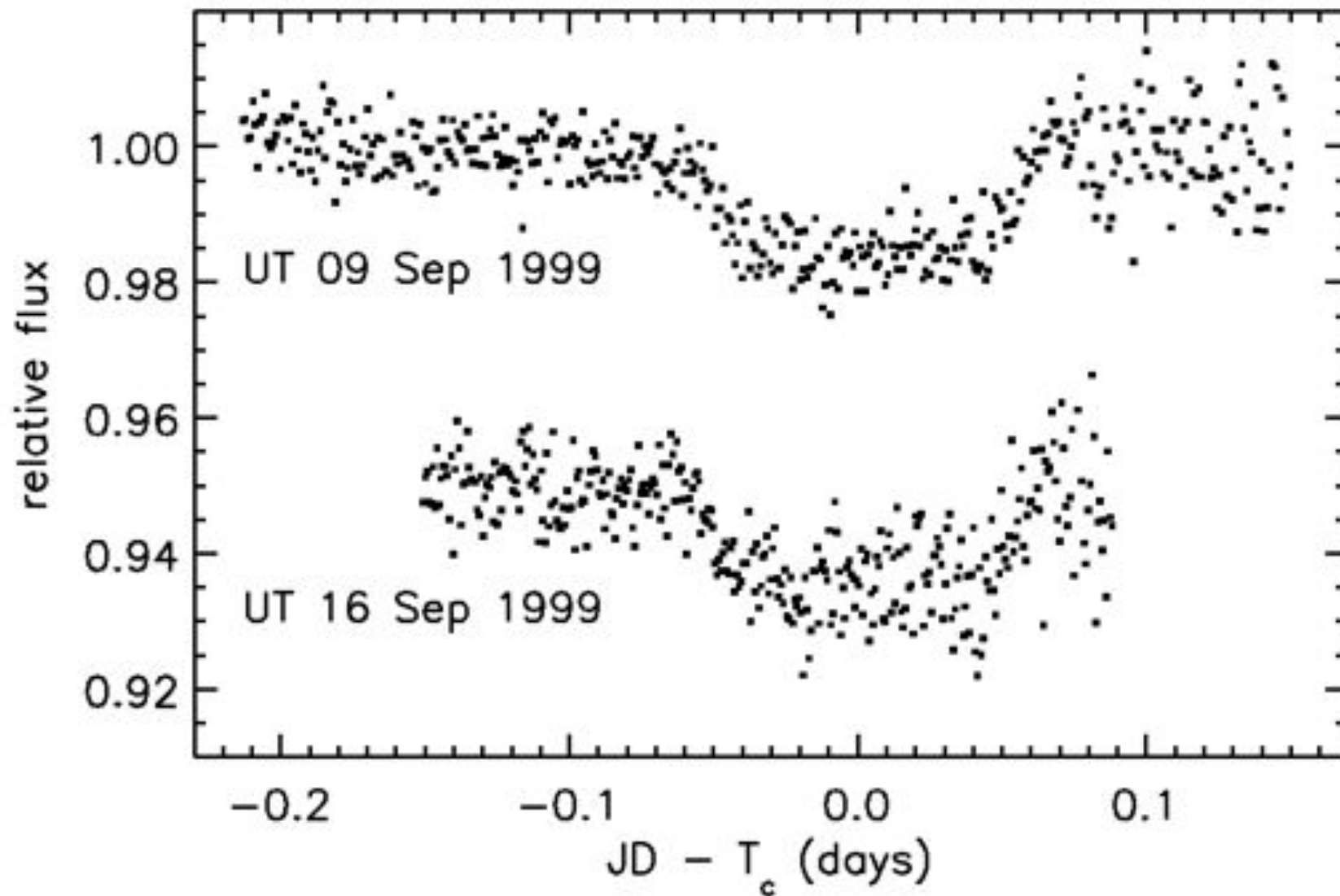


La photométrie d'un transit





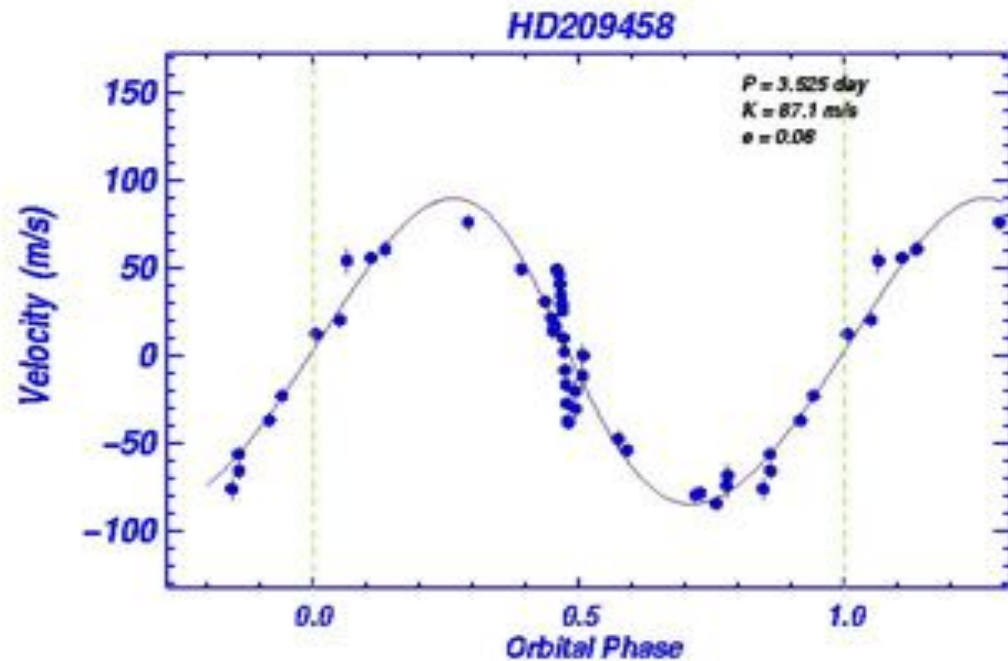
Le transit d'Osiris



HD 209458 b / Osiris

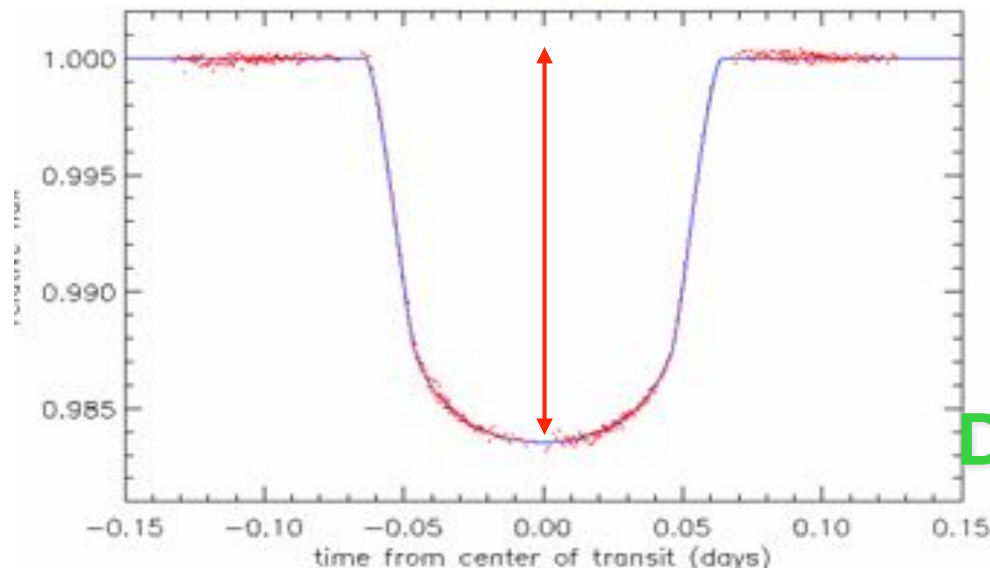
Vitesse Radiales / Occultation

Osiris



Période = 3.52474859
 ± 0.00000038 jours

Masse = $0.64 \pm 0.06 M_{\text{Jupiter}}$



1,6%
absorption

Rayon = $1.320 \pm 0.025 R_{\text{Jupiter}}$

Densité = $0.345 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$

COROT

CNES “mini-satellite”

Lancé le 27 décembre 2006

4.2 x 9.6 mètres
600 kg



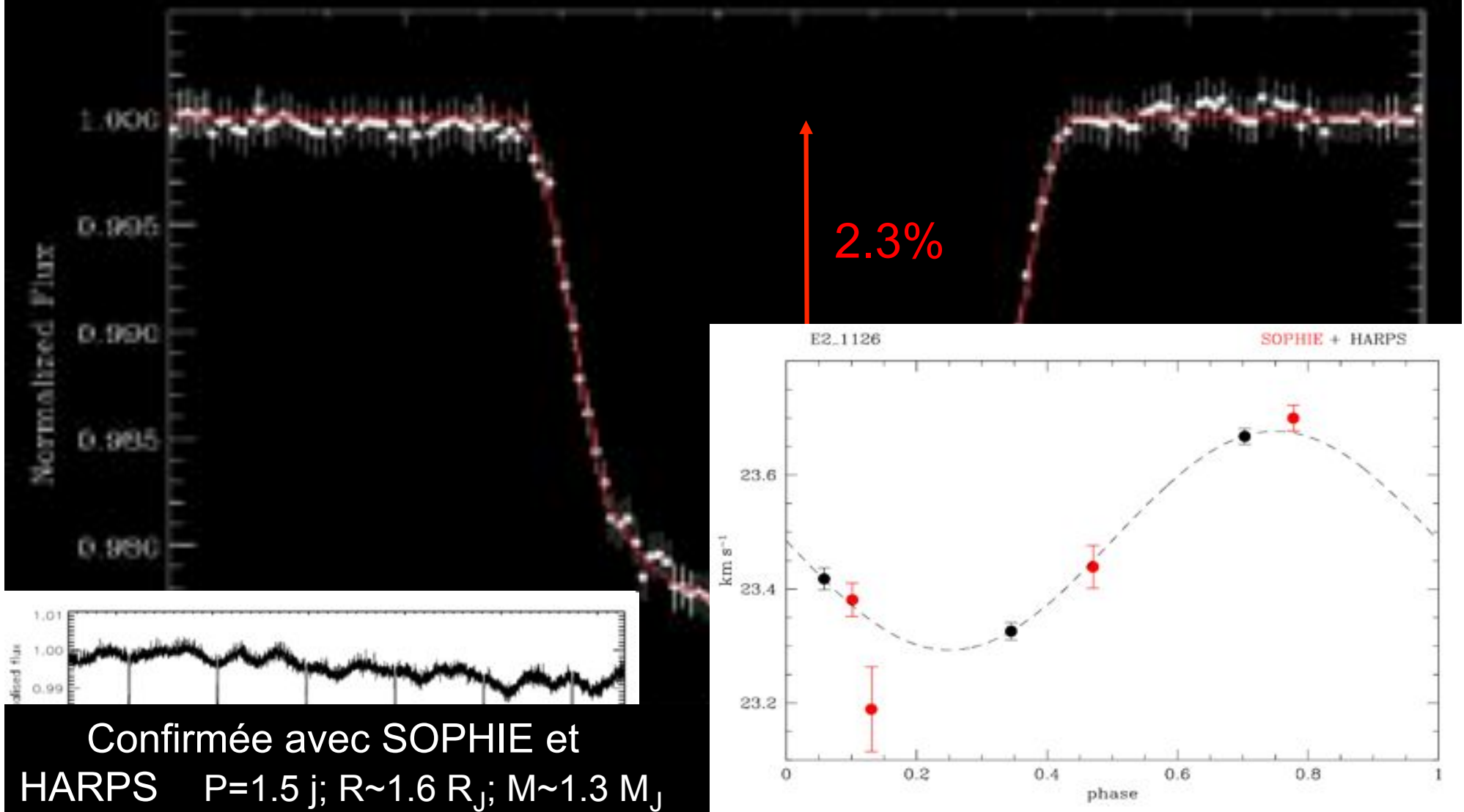
Orbite polaire basse
823 km

Hot-Jupiters

Lancement par
SOYOUZ / KOUROU

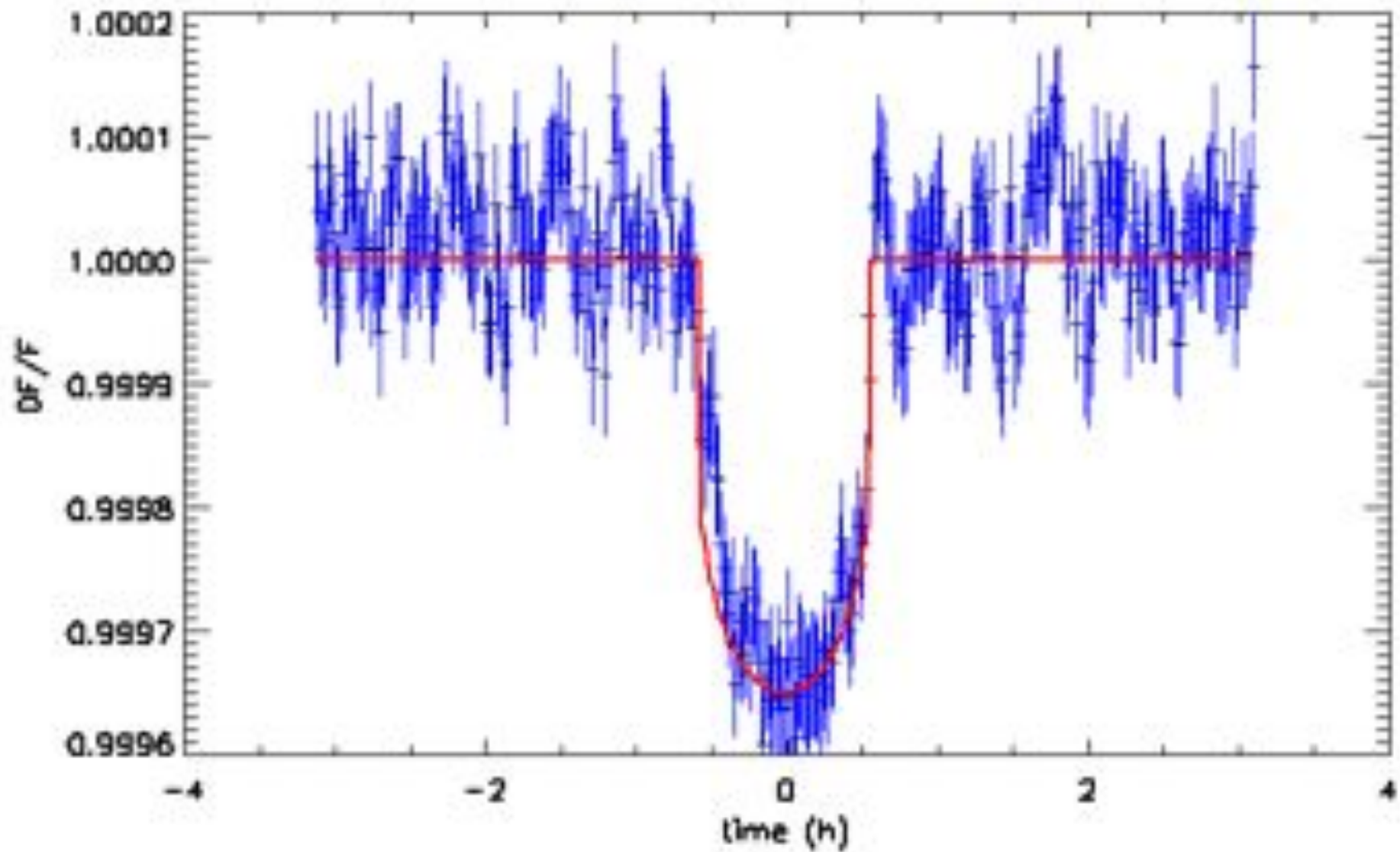
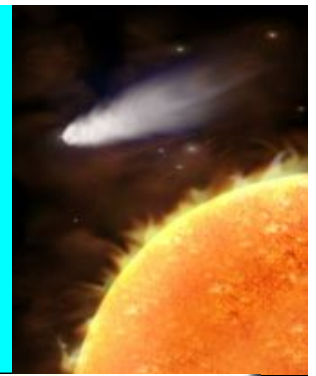
Première planète COROT

31 planètes dont 3 naines brunes



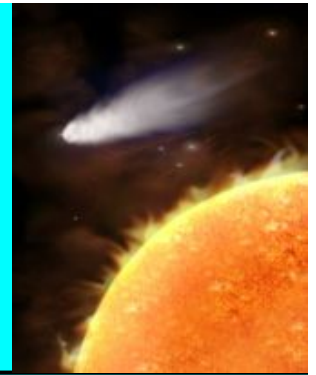


COROT-7





2 super-Terres :

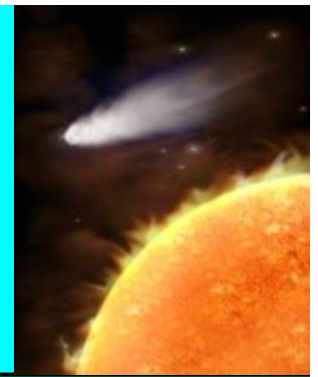


COROT-7 b : 4,8 masses terrestres
1,58 rayon terrestre
période 0,85 jours

COROT-7 c : 8,39 masses terrestres
période 3,7 jours



KEPLER

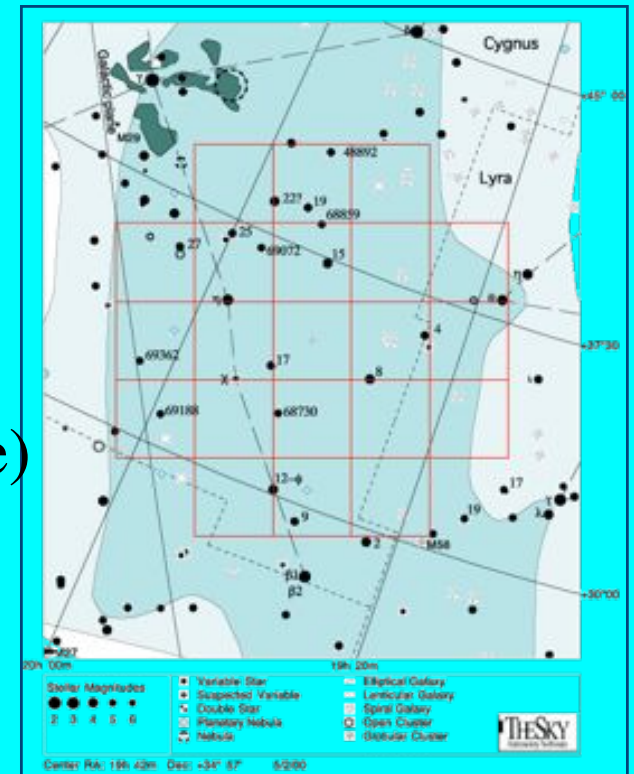


Recherche de planètes terrestres
NASA

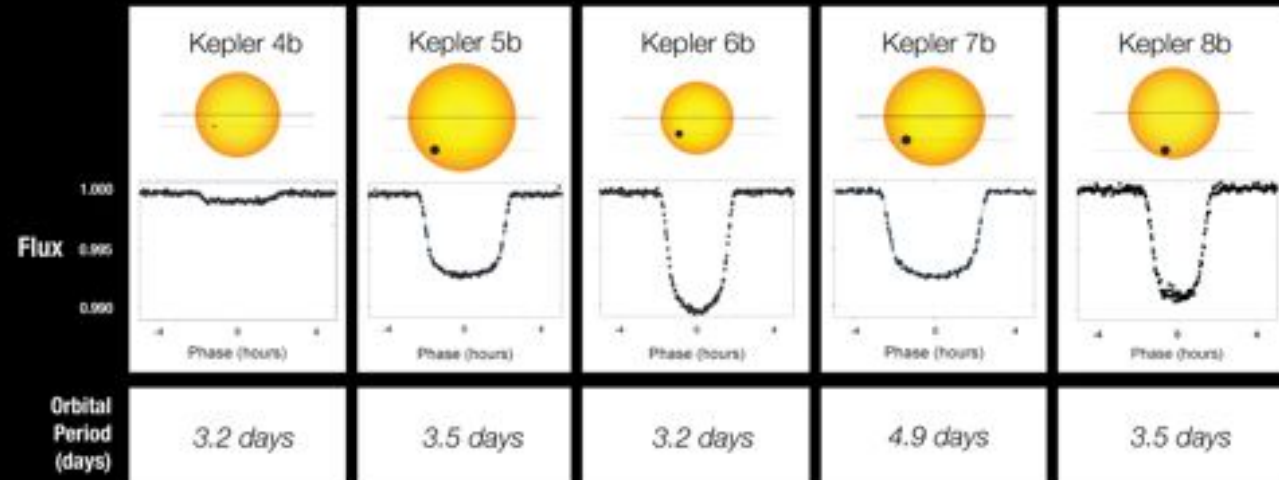
Lancé en
mars 2009

5 ans
un champ (Cygne)
~156000 étoiles

95 cm télescope de Schmidt
Champ de vue: 100deg²
100 CCDs

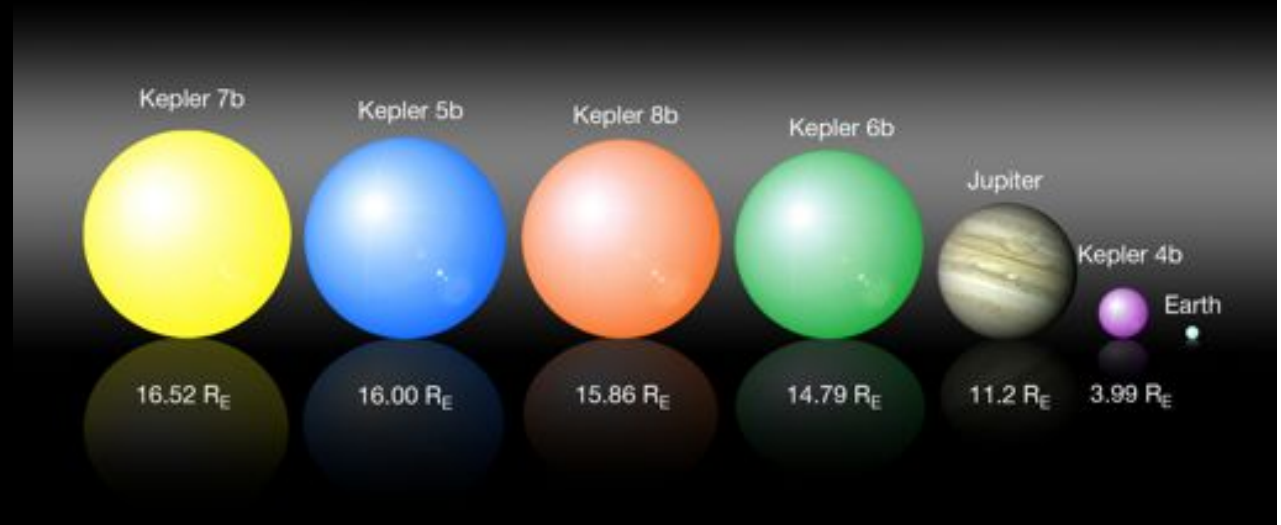


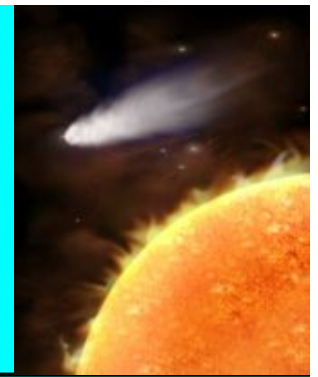
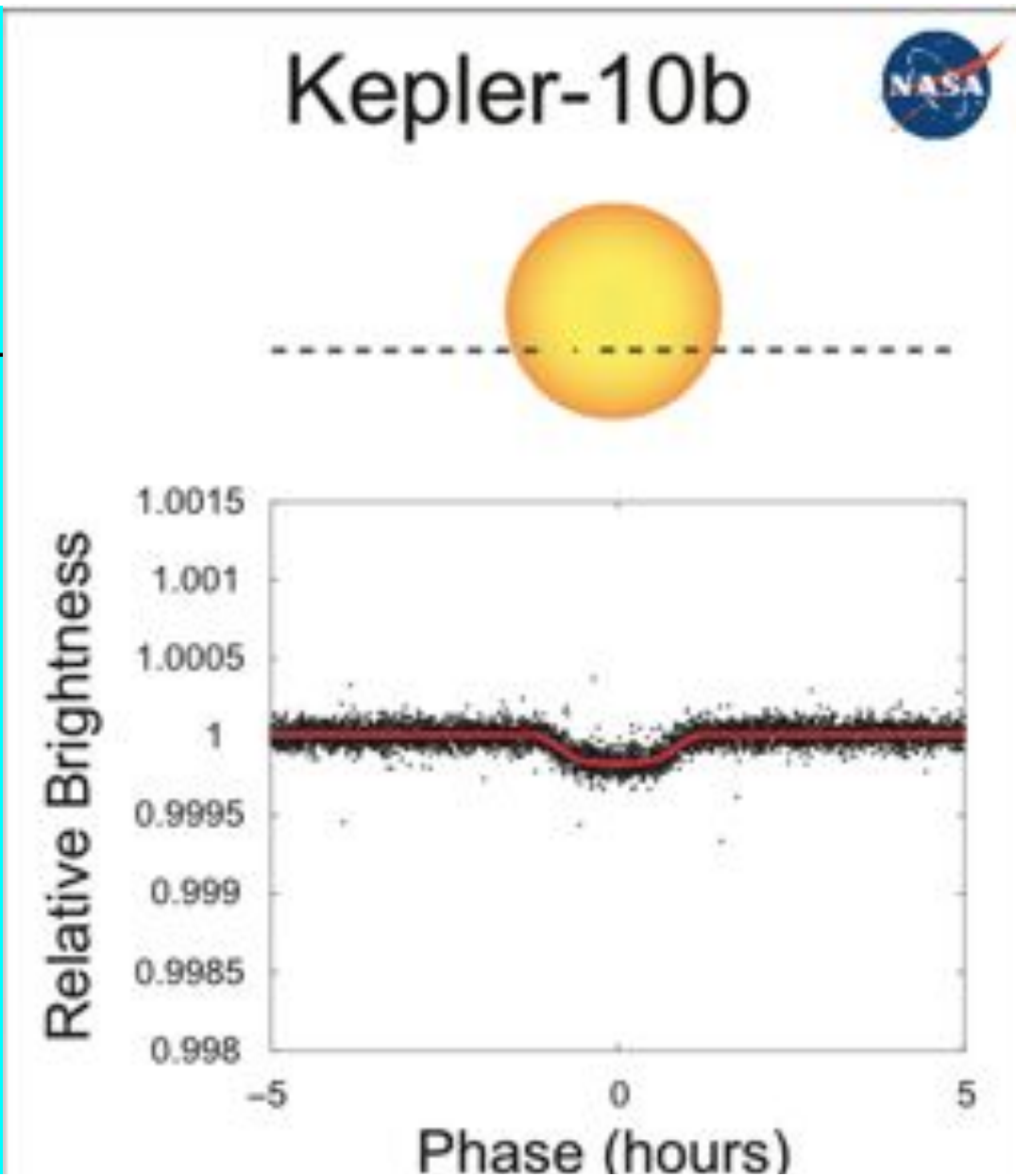
Transit Light Curves



Les 5 premières planètes « Kepler »

Planet Size

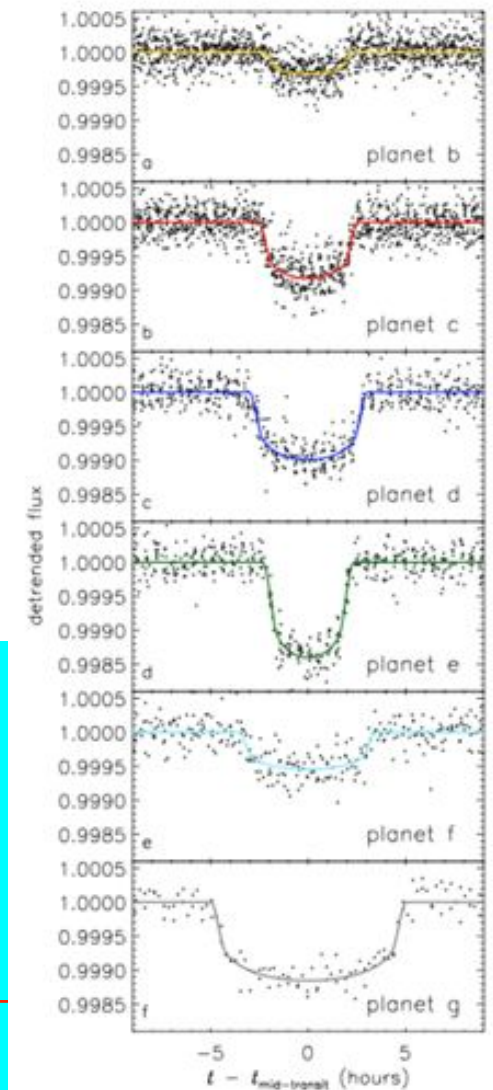
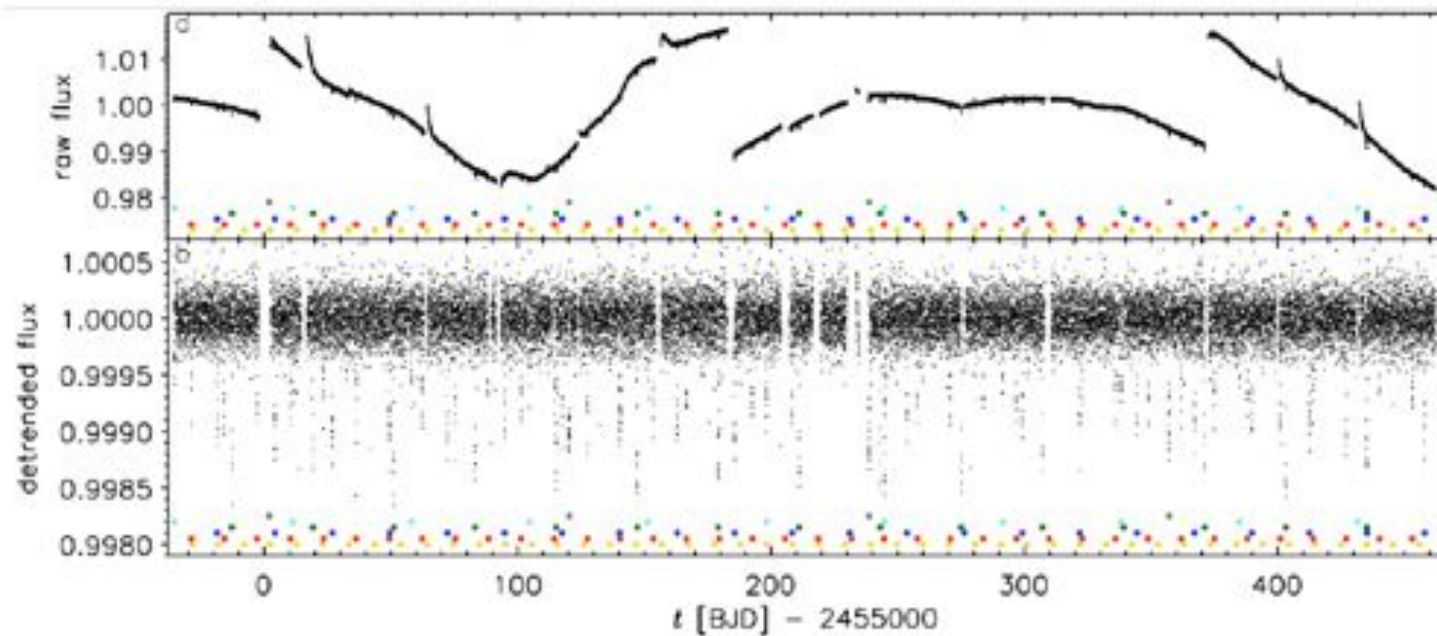
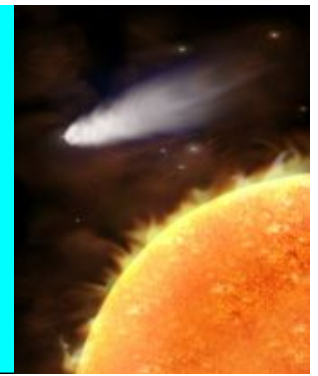




$T = 0,84$ jour $M = 4,5$ masses terrestres $R = 1,42$ rayon terrestre

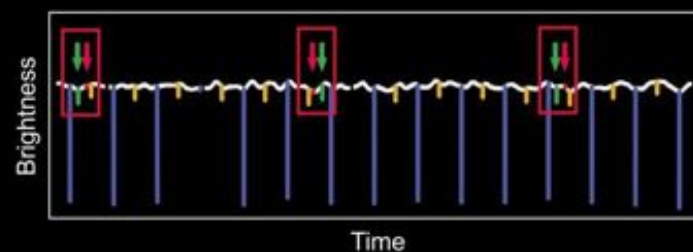


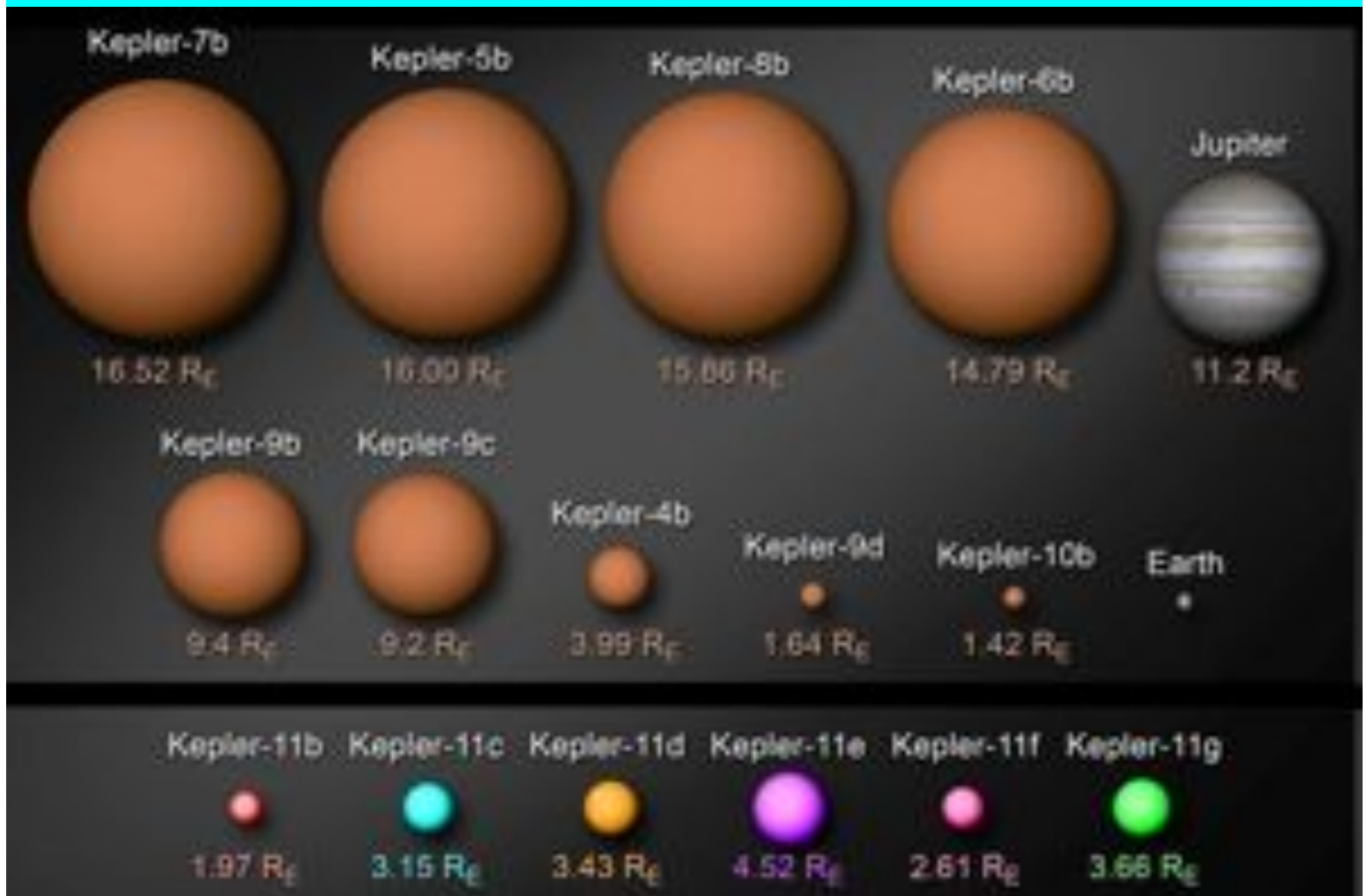
KEPLER 11



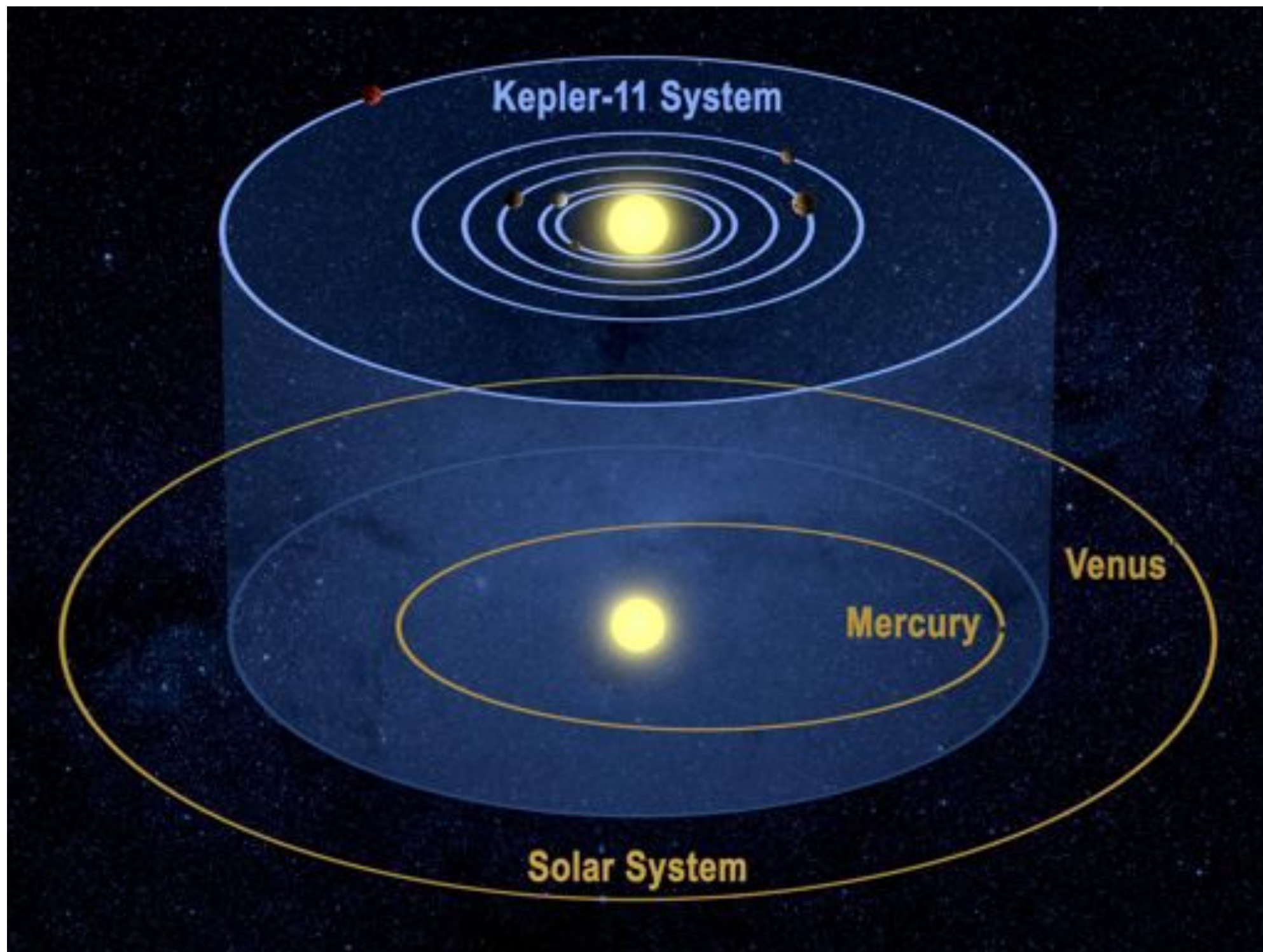
Kepler-16 Light Curve

- Planet transits Star A
- Planet transits Star B





Masses 4,3 M_T 13,5 M_T 6,1 M_T 8,4 M_T 2,3 M_T < 302 M_T



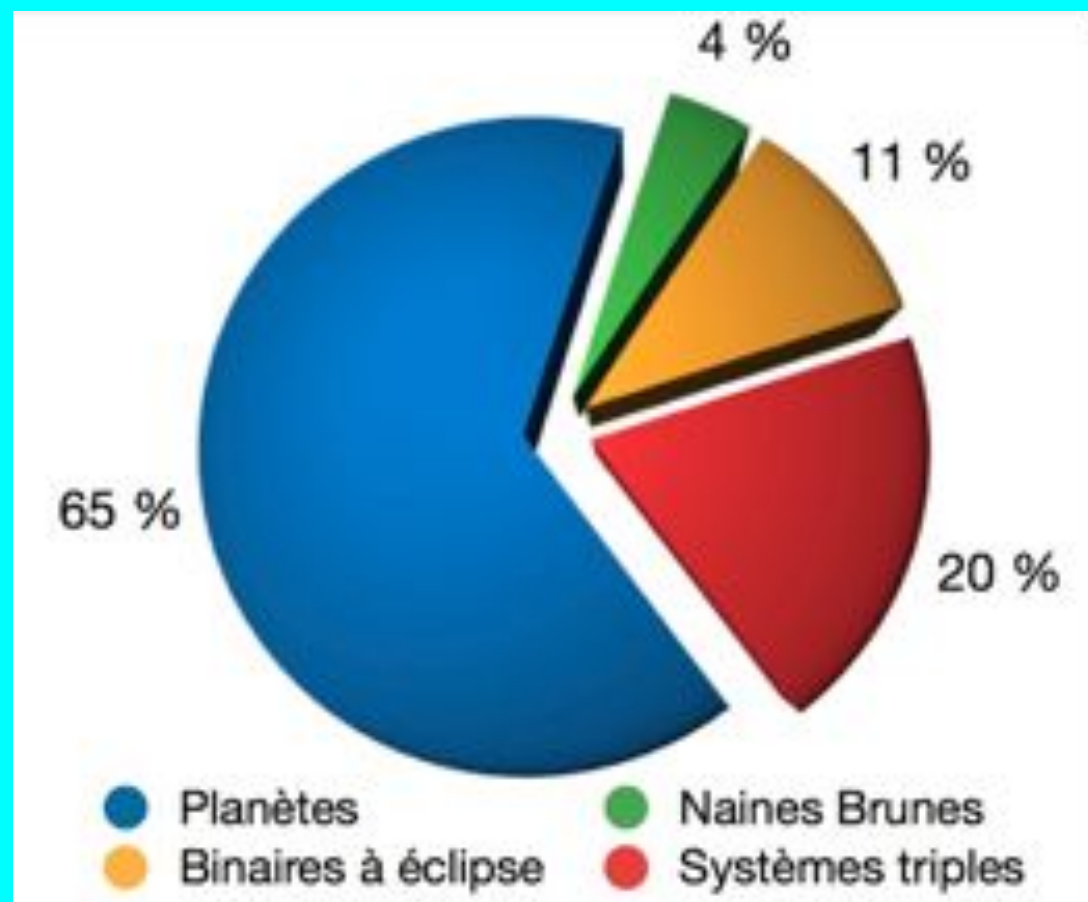


KEPLER



- 2321 candidats planètes
- 77 confirmées

SOPHIE à l'OHP



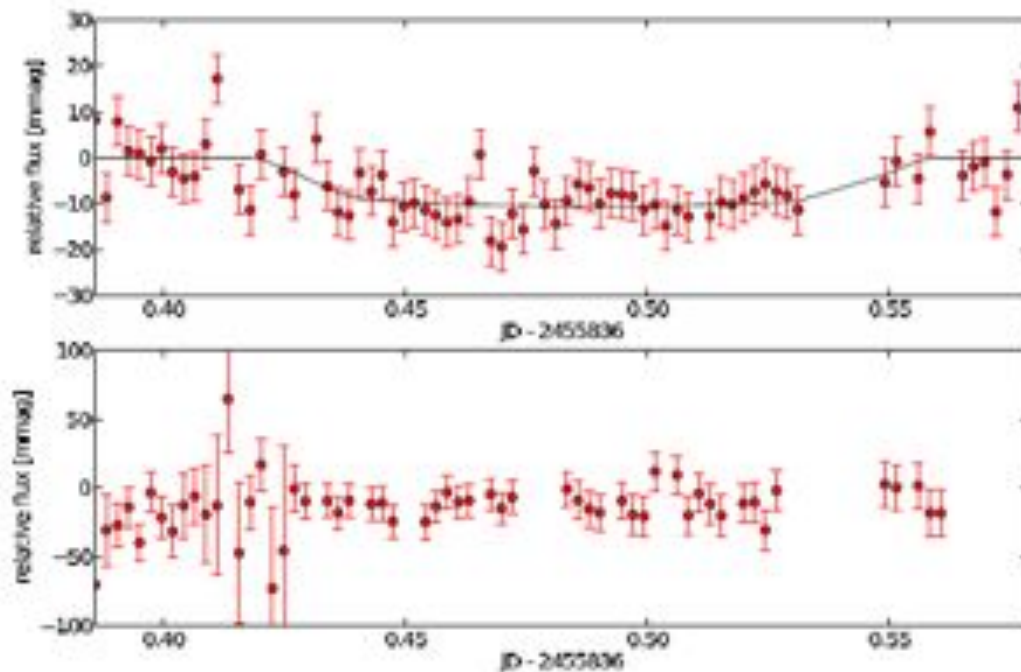


Fig. 7. Ground-based photometric observation of the transit of KOI-204b. *Upper panel:* photometric measurements of the star KOI-204. *Lower panel:* photometric measurements of the main contaminant, the star KIC9305838. The data clearly show that the transit occurs on the target star KOI-204.

Bonomo....Vanhuyse, 2012,
A&A 538, A96 $m_v \sim 15$

<http://brucegary.net/AXA/x.htm>
<http://var2.astro.cz/EN/>

Moutou et al., 2012, A&A
533, A113 $m_v \sim 10.17$

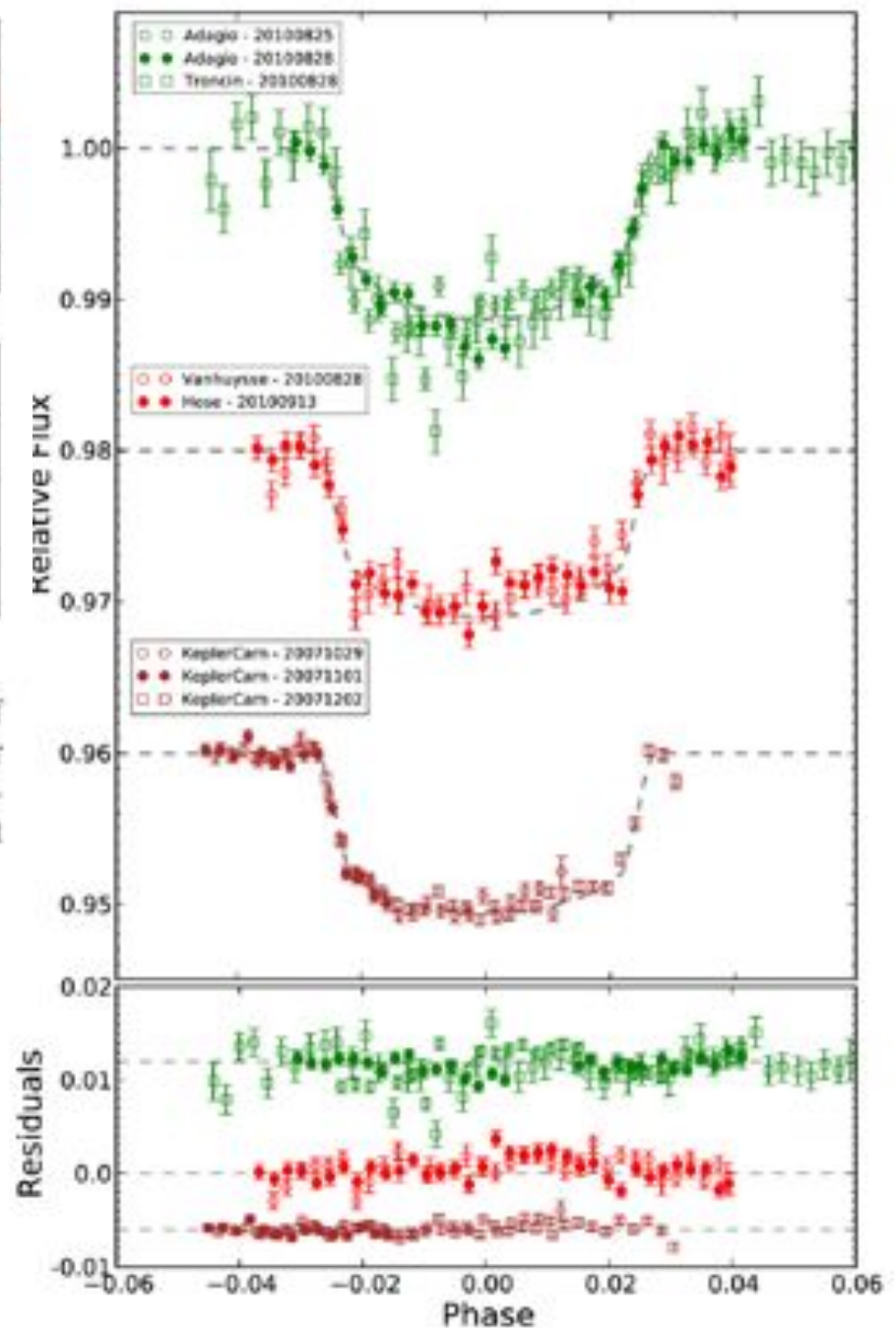


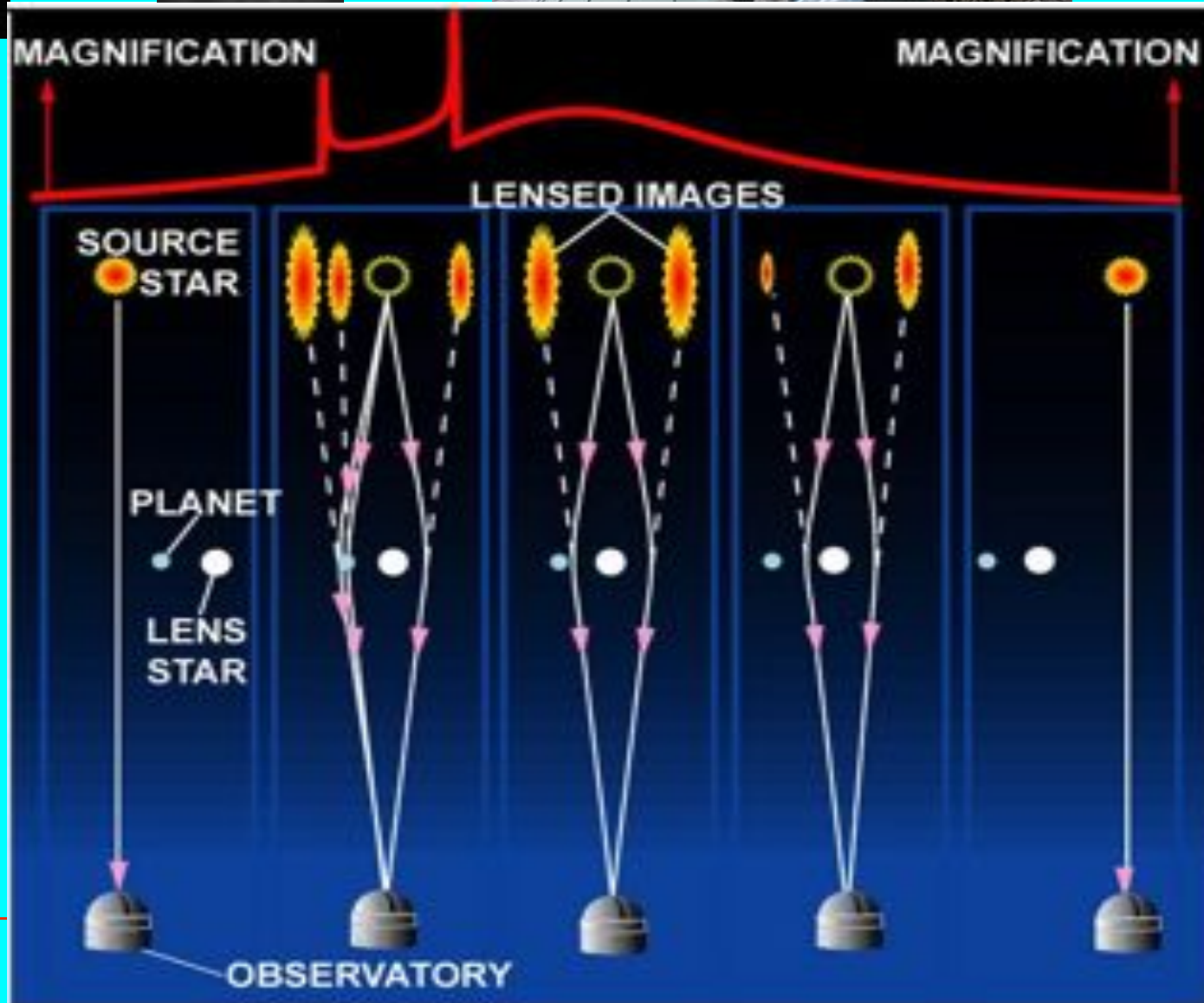
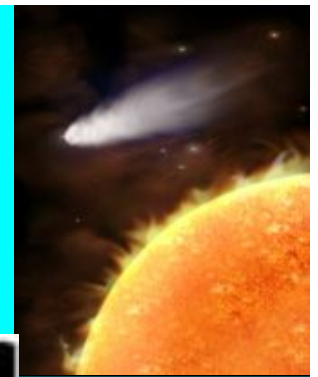
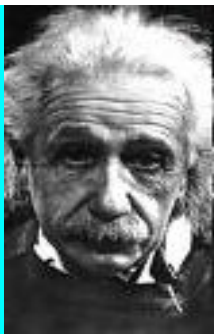
Fig. 2. *Upper panel:* transit light curves of HAT-P-8 in three different bands: *V* (top; green), *R* (middle; red), and Sloan-*z* (bottom; brown),

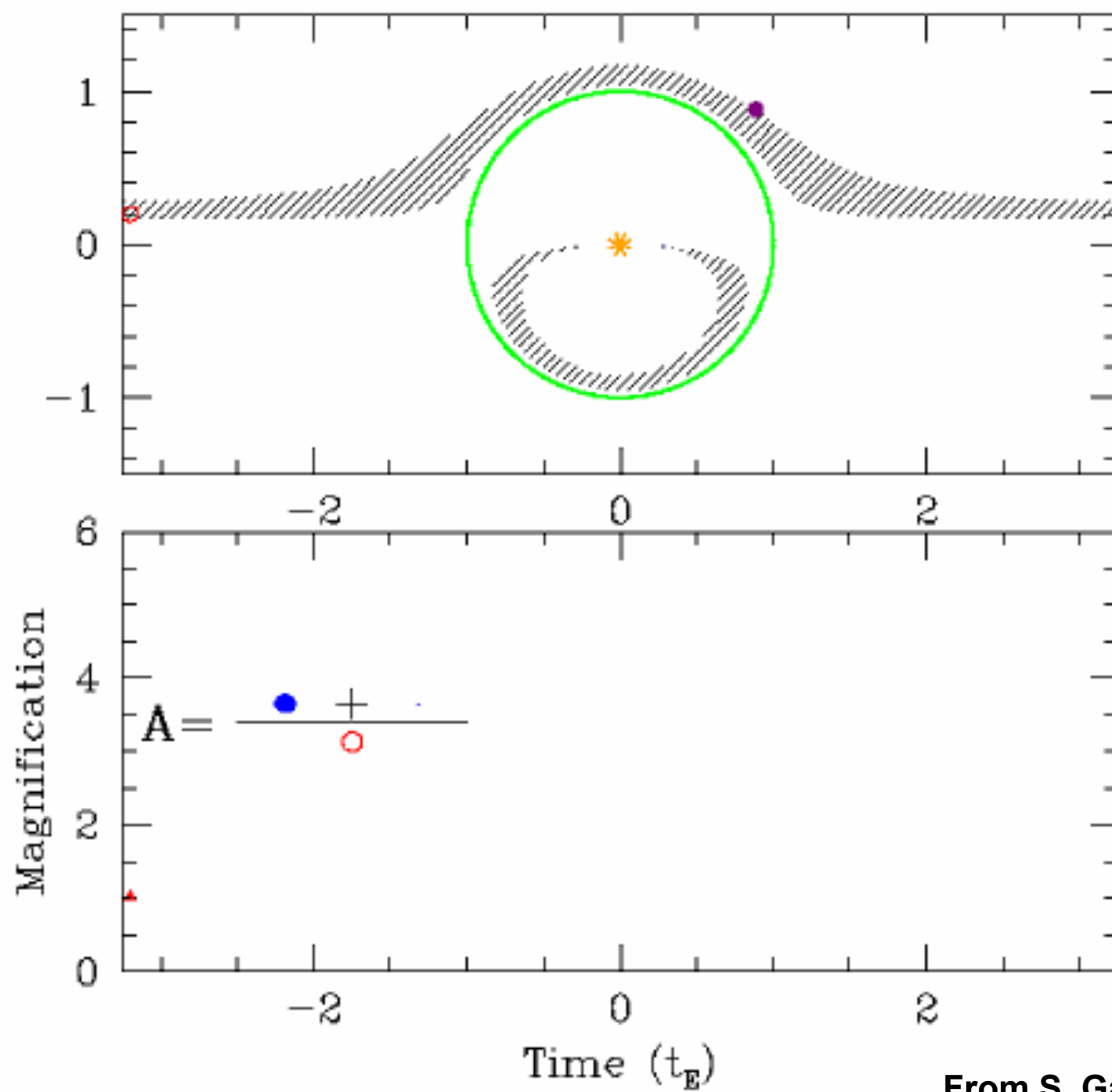


Méthodes photométriques

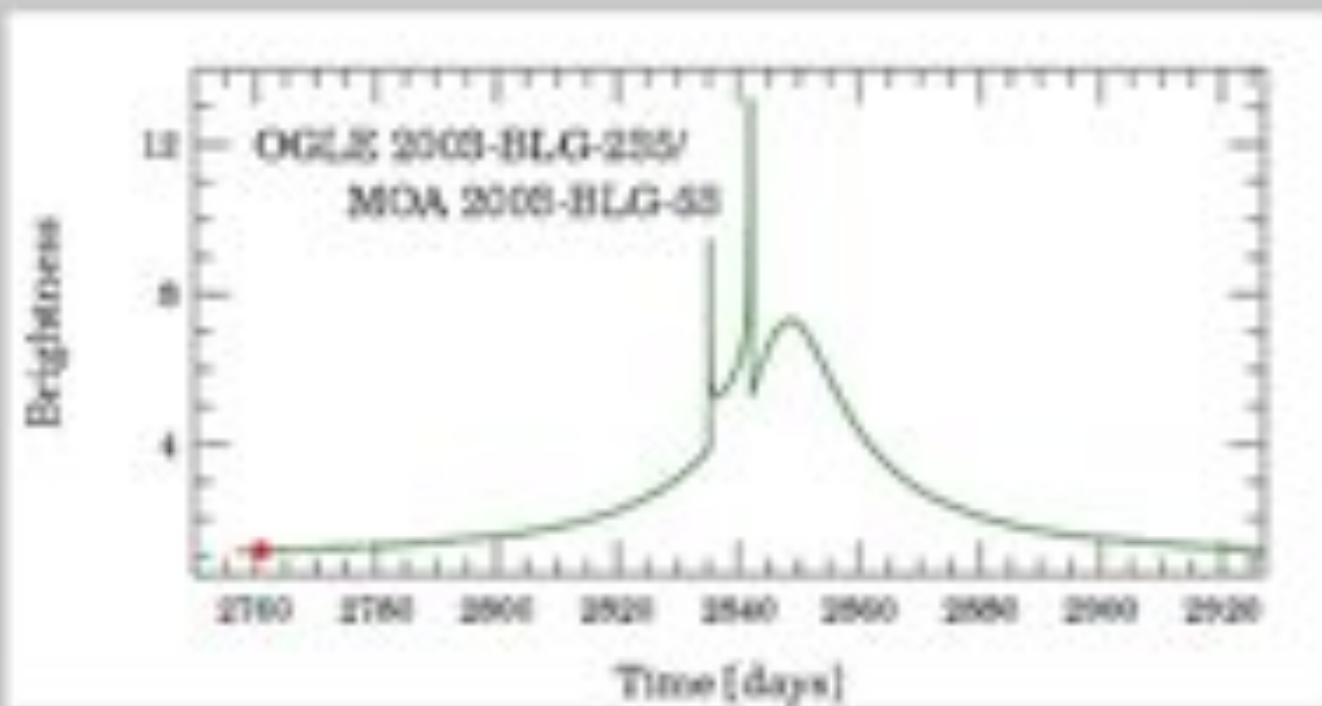
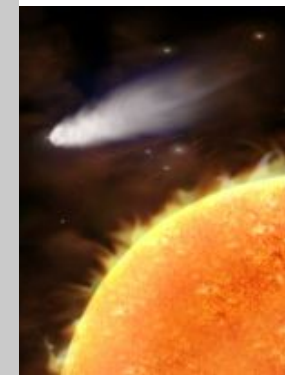
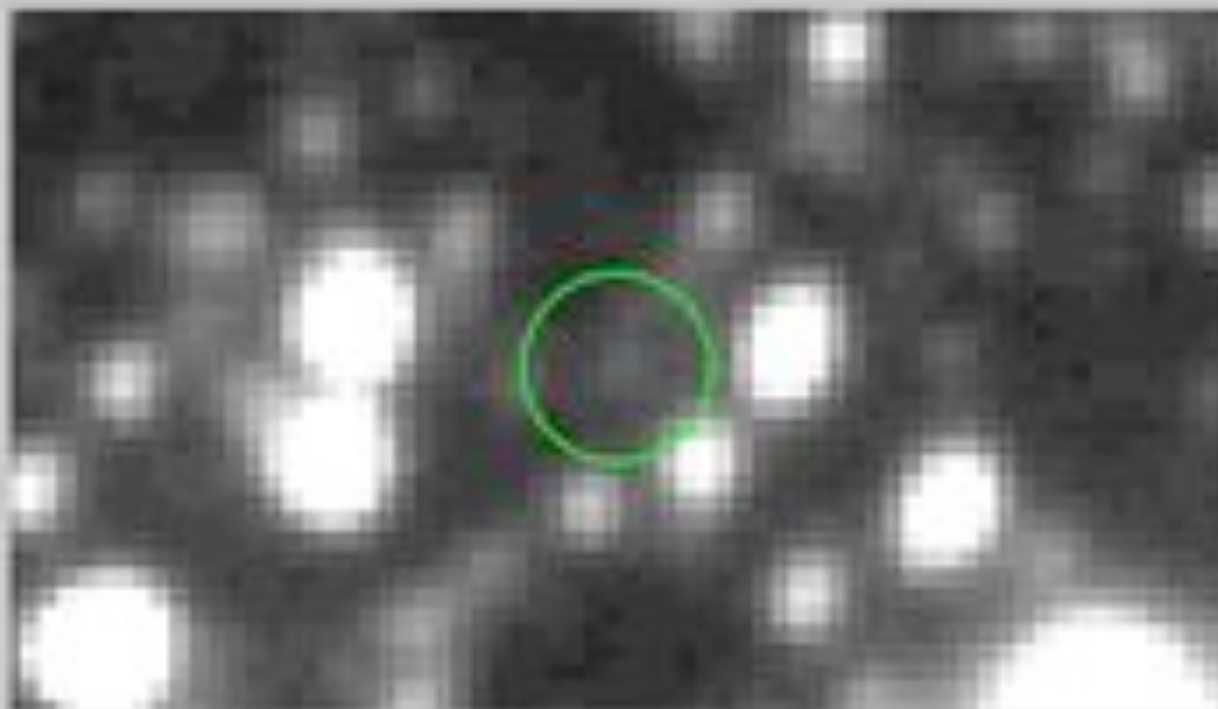


Microlentille
gravitationnelle





From S. Gaudi

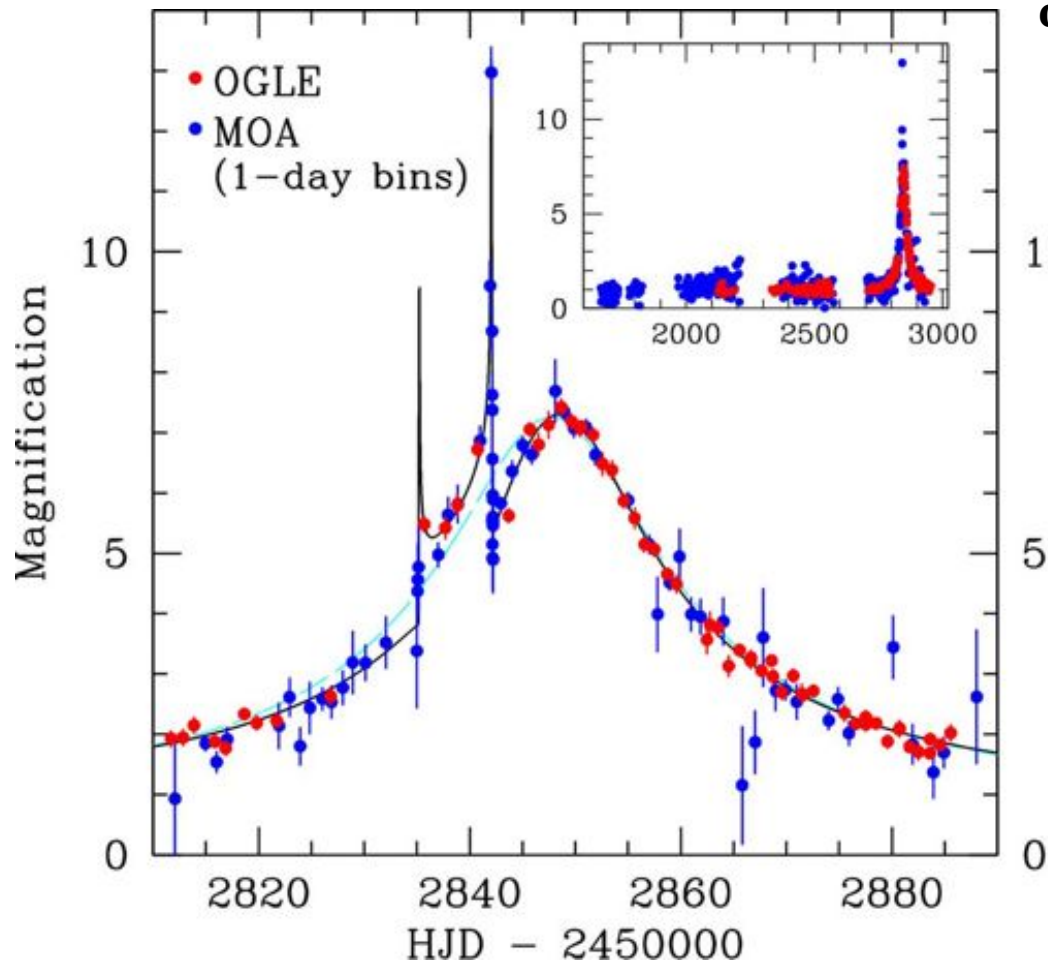


Première planète découverte par microlentille gravitationnelle

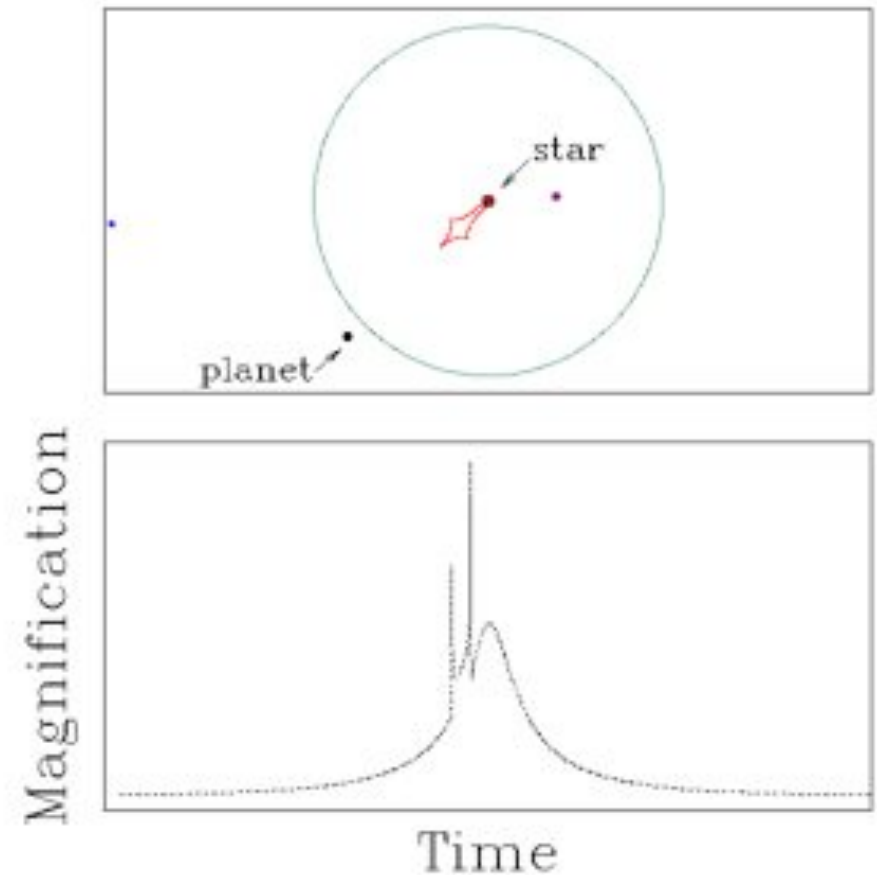
(avec aucun photon du système)

OGLE 2003-BLG-235/MOA 2003-BLG-53

$d = 5.2$ kpc; $0.63 M_{\odot}$; $\sim 2 M_J$ planet at ~ 3 AU

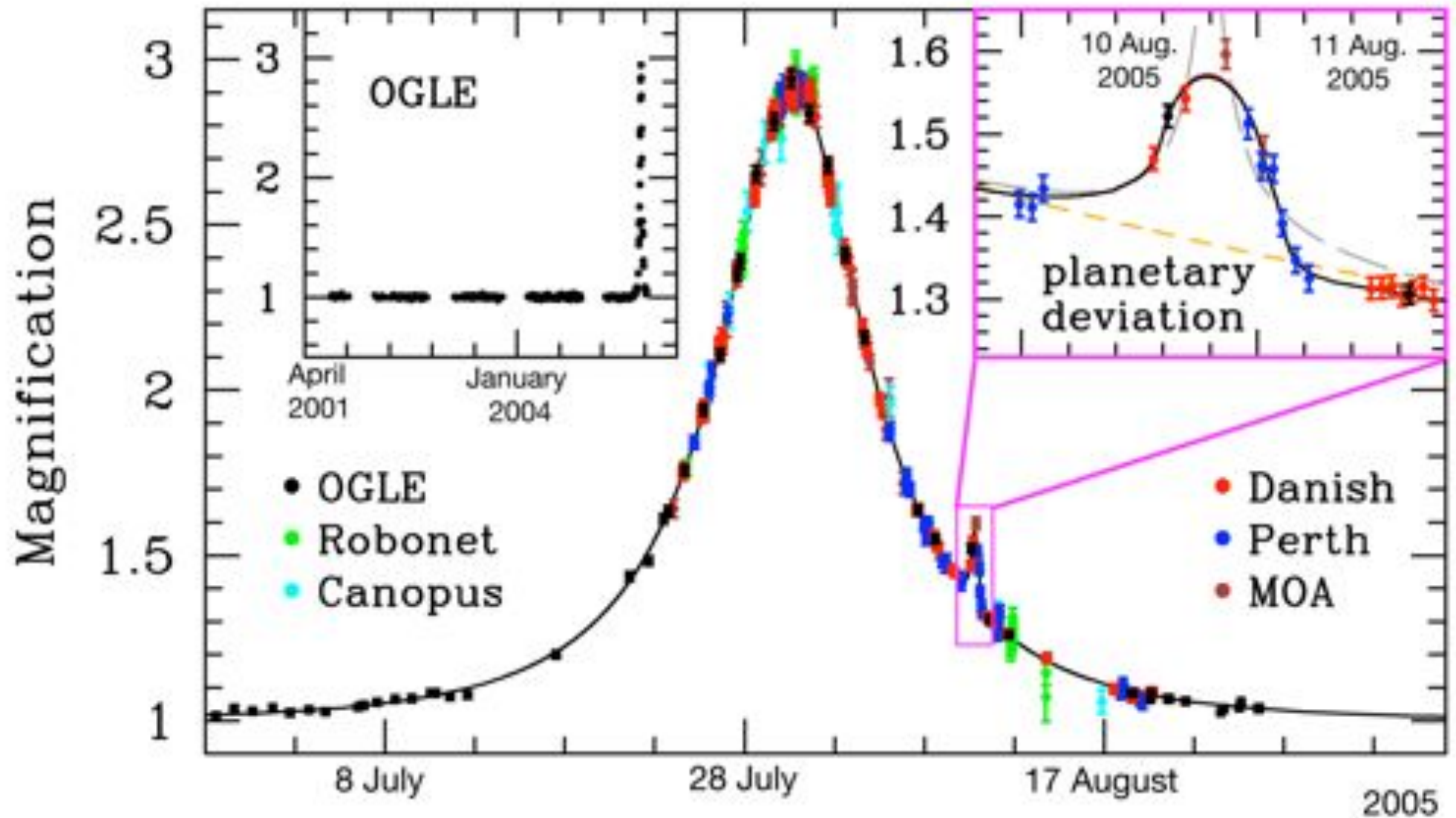


Bond et al. 2004, Ap.J., 606, L155



From S. Gaudi

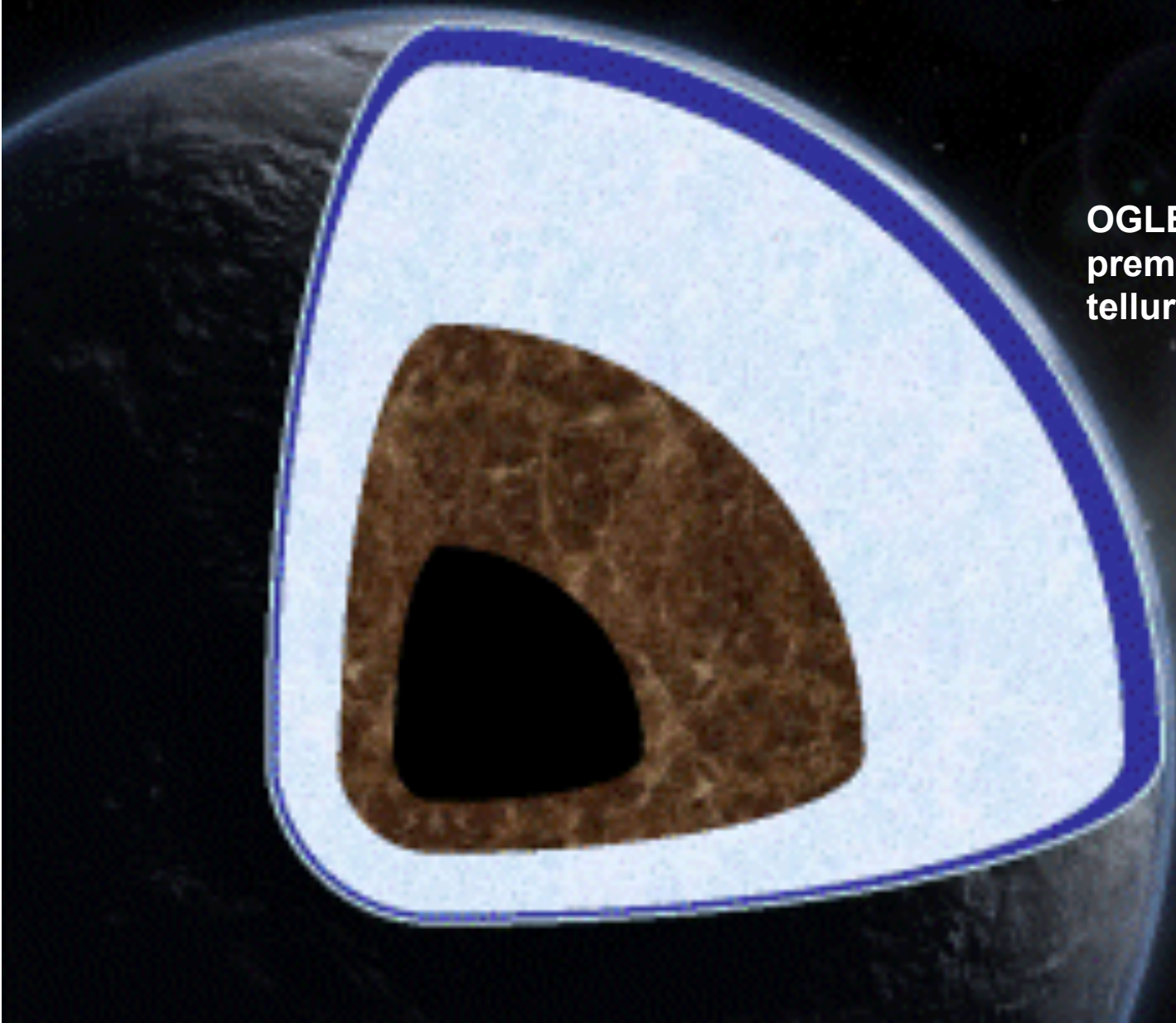
Une planète tellurique



Light Curve of OGLE-2005-BLG-390

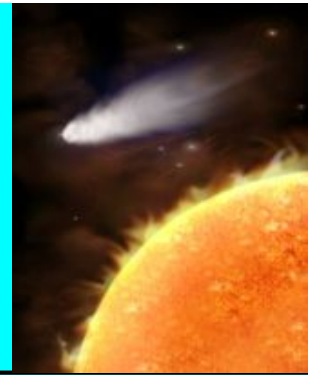
$m_p = 5.5$ masses terrestres ; $a = 2.6$ AU ; période = 10.4 années ;
 $d = 6.4$ kpc

OGLE-2005-BLG-390 est-elle la
première planète extrasolaire
tellurique (rocheuse/glacée) ?





15 janvier 2014



1060 planètes

542 par vitesses radiales [431 transitent]

26 par microlentilles

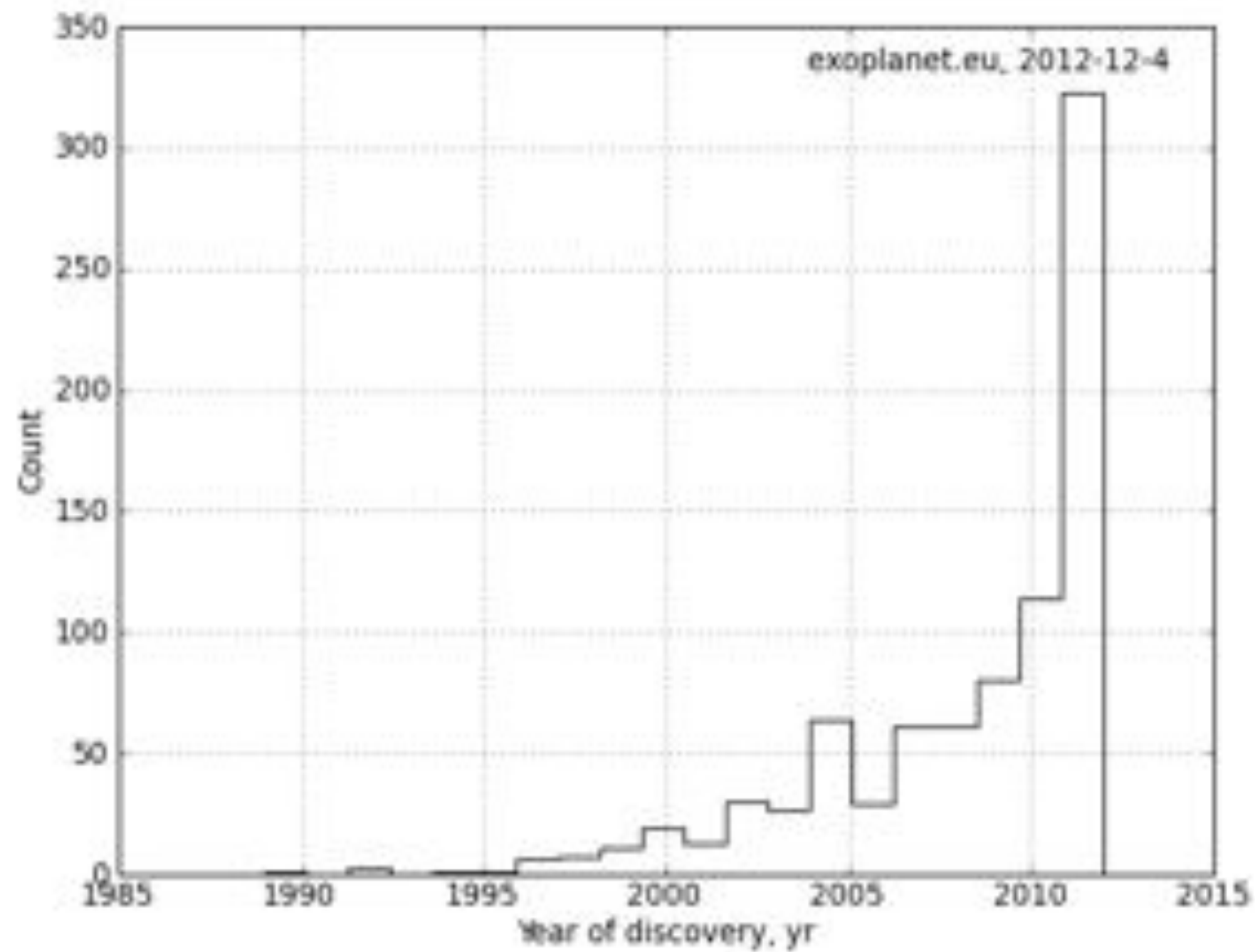
46 par imagerie directe

15 par chronométrage

802 systèmes planétaires

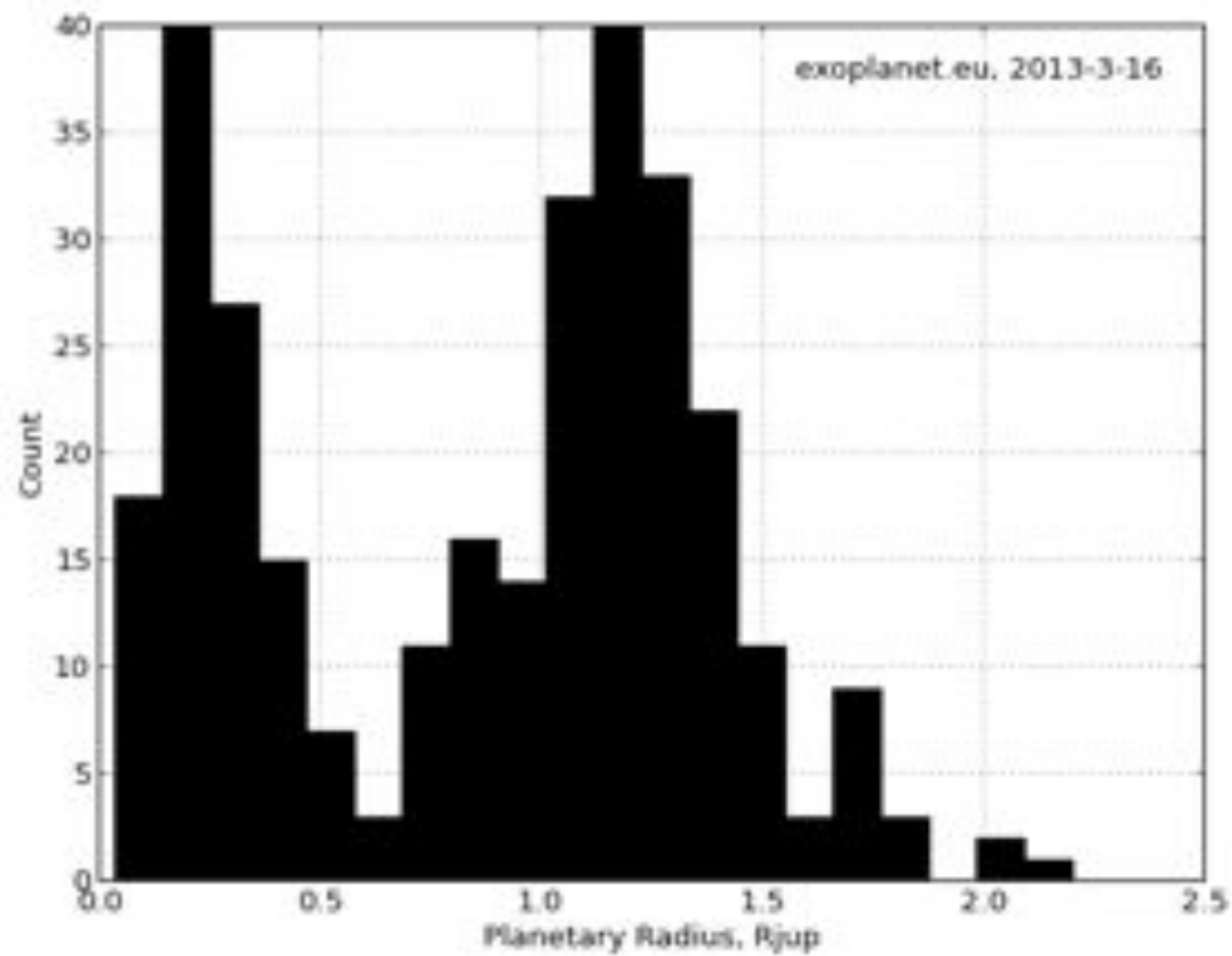
176 systèmes multiples

Extrapolation: centaines de millions de planètes extrasolaires de type jovien
dans la Voie lactée avec des périodes de 5 jours ou moins !



Histogramme des masses

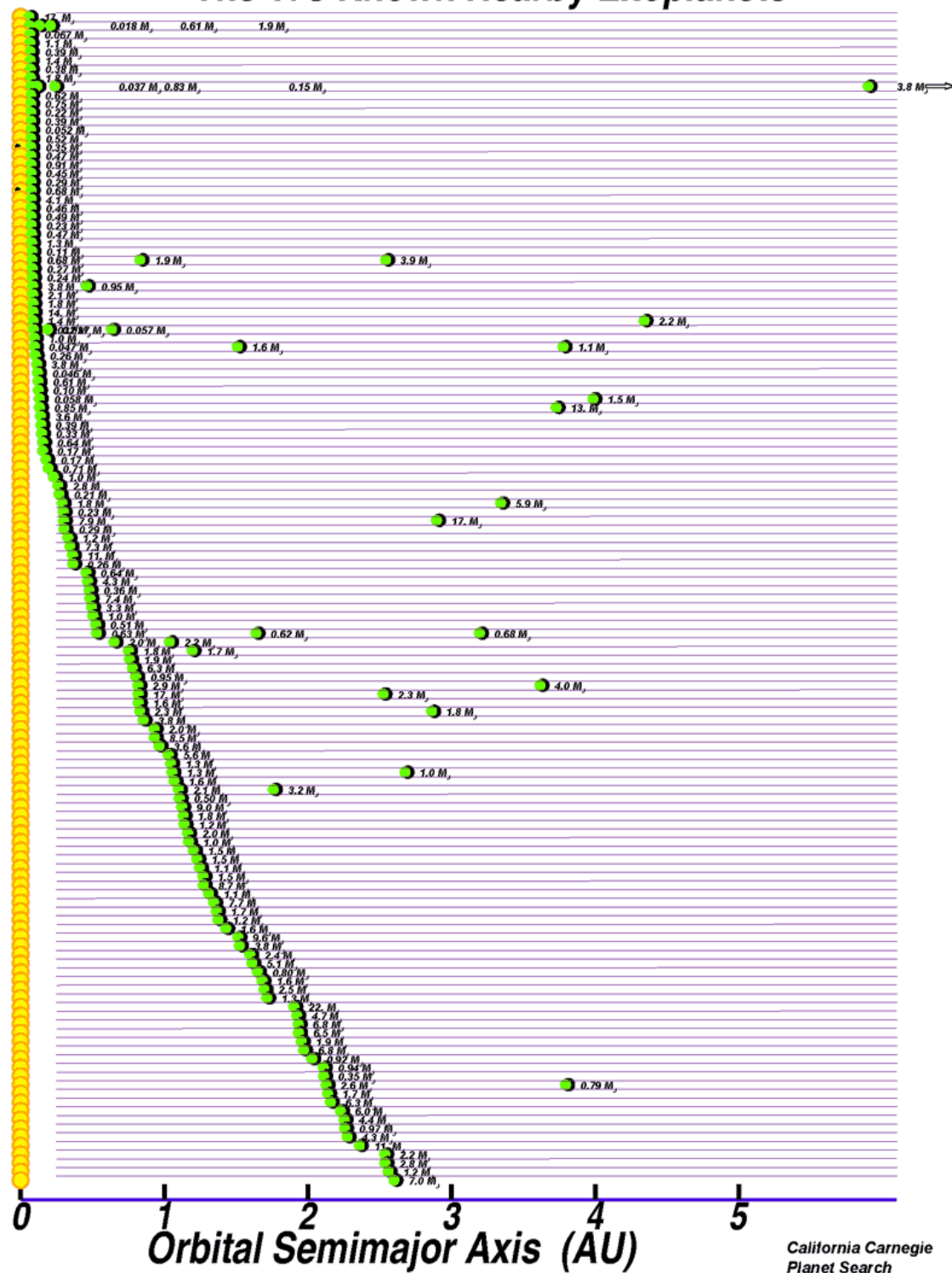


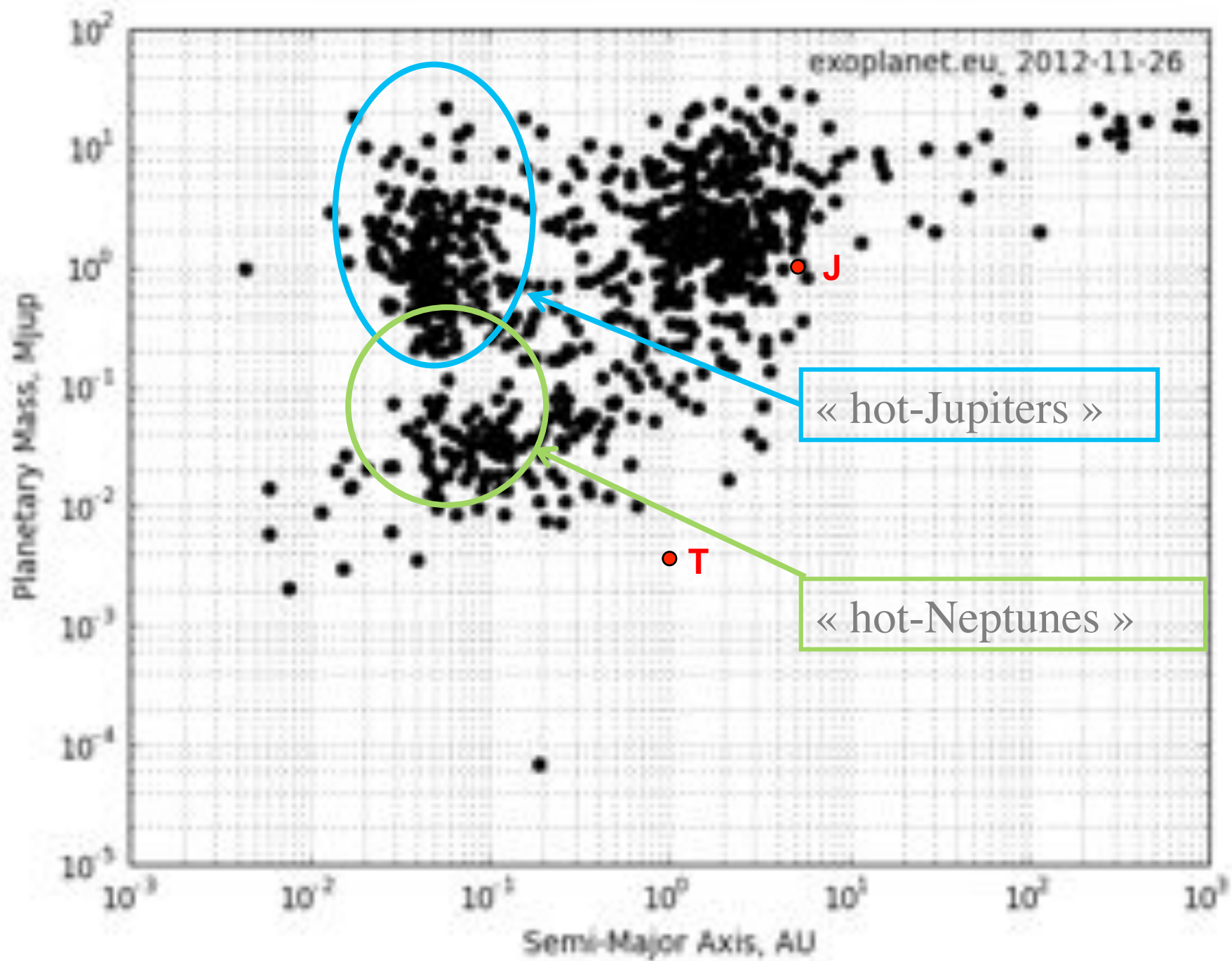


The 178 Known Nearby Exoplanets

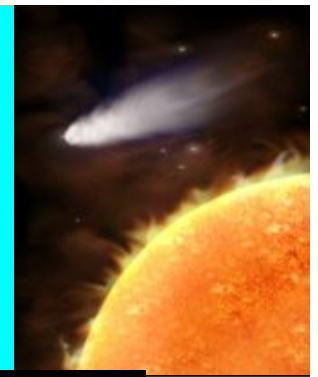


HD 41004 B
 GJ 436
 HD 189733
 HD 212301
 HD 80601
 HD 63454
 HD 73256
 55 Cnc
 HD 330075
 TrES-1
 HD 46375
 HD 83443
 GJ 381
 HD 187123
 HD 149026
 HD 2618
 HD 179849
 BD - 10 3166
 HD 88133
 HD 209458
 tau Boo
 HD 75289
 HD 102195
 HD 76700
 51 Peg
 HD 149143
 HD 49674
 Upsilon And
 HD 109749
 HD 186746
 HIP 14810
 HD 118203
 HD 68989
 HD 162020
 HD 217107
 HD 68830
 HD 130322
 mu Ara
 HD 108147
 HD 13445
 HD 4308
 HD 27984
 HD 99492
 HD 190380
 HD 38529
 HD 195019
 HD 6434
 HD 33283
 HD 192263
 HD 102117
 HD 117619
 HD 224893
 rho CrB
 HD 37605
 HD 107148
 HD 74196
 HD 3651
 HD 188443
 HD 101830
 HD 121504
 HD 178911 B
 HD 114762
 HD 16141
 HD 216770
 HD 80606
 HD 93083
 70 Vir
 HD 1237
 HD 52265
 HD 206467
 HD 37124
 HD 13506
 HD 82943
 HD 8574
 HD 104985
 HD 150706
 HD 169830
 HD 202206
 HD 134987
 HD 12681
 HD 46979
 Iota Hor
 HD 89744
 HD 92788
 HD 28185
 HD 142
 HD 108874
 HD 142415
 HD 128311
 HD 99109
 HD 33564
 HD 154852
 HD 210277
 HD 4203
 HD 114783
 HD 188015
 HD 177830
 HD 20367
 epsilon Ret
 Iota Dra
 HD 147513
 HD 222282
 HD 20782
 HD 65216
 HD 19994
 HD 141937
 HD 183263
 HD 23079
 HD 47536
 HD 4208
 18 Cyn B
 HD 41004 A
 HD 114386
 HD 137910
 HD 213240
 HD 81040
 HD 11577
 HD 45350
 HD 111232
 HD 10647
 HD 114729
 HD 164922
 47 UMa
 gamma Cap
 HD 10697
 HD 2039
 HD 190228
 HD 187085
 HD 56554
 HD 136118
 HD 216437
 HD 196050
 HD 216435
 HD 196252

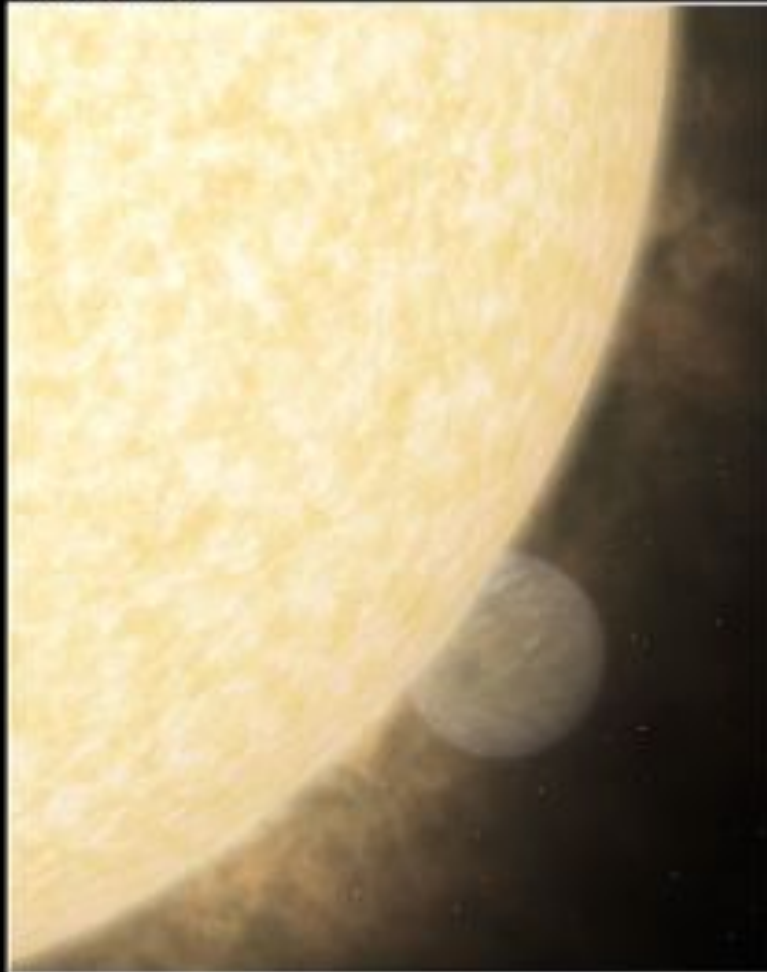




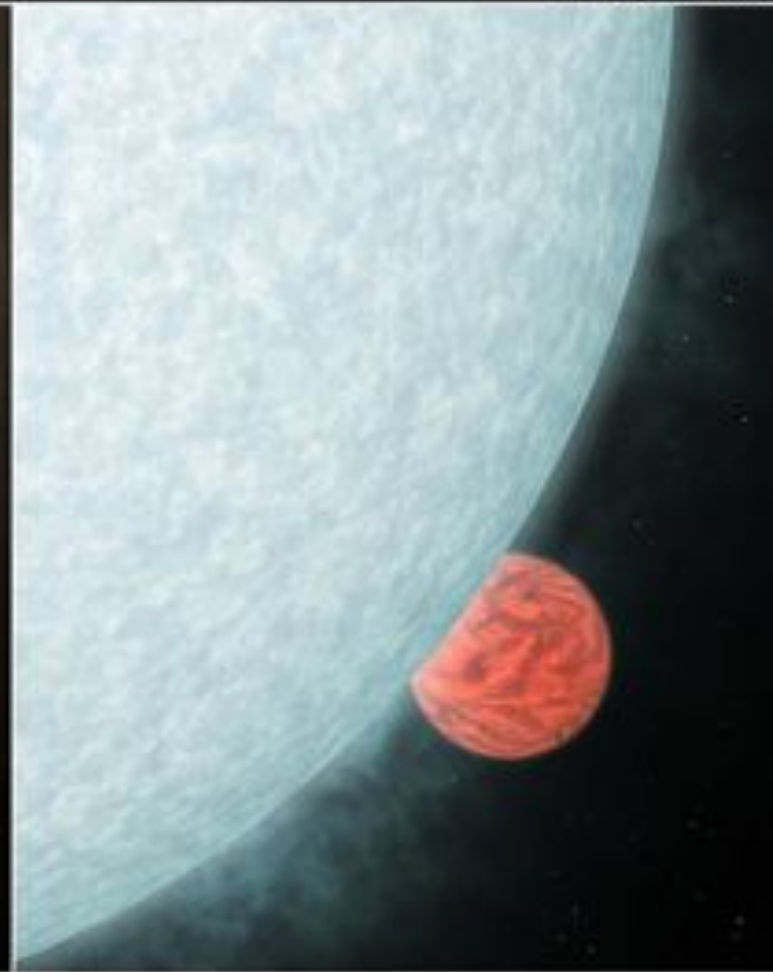
Transit secondaire



Visible Light



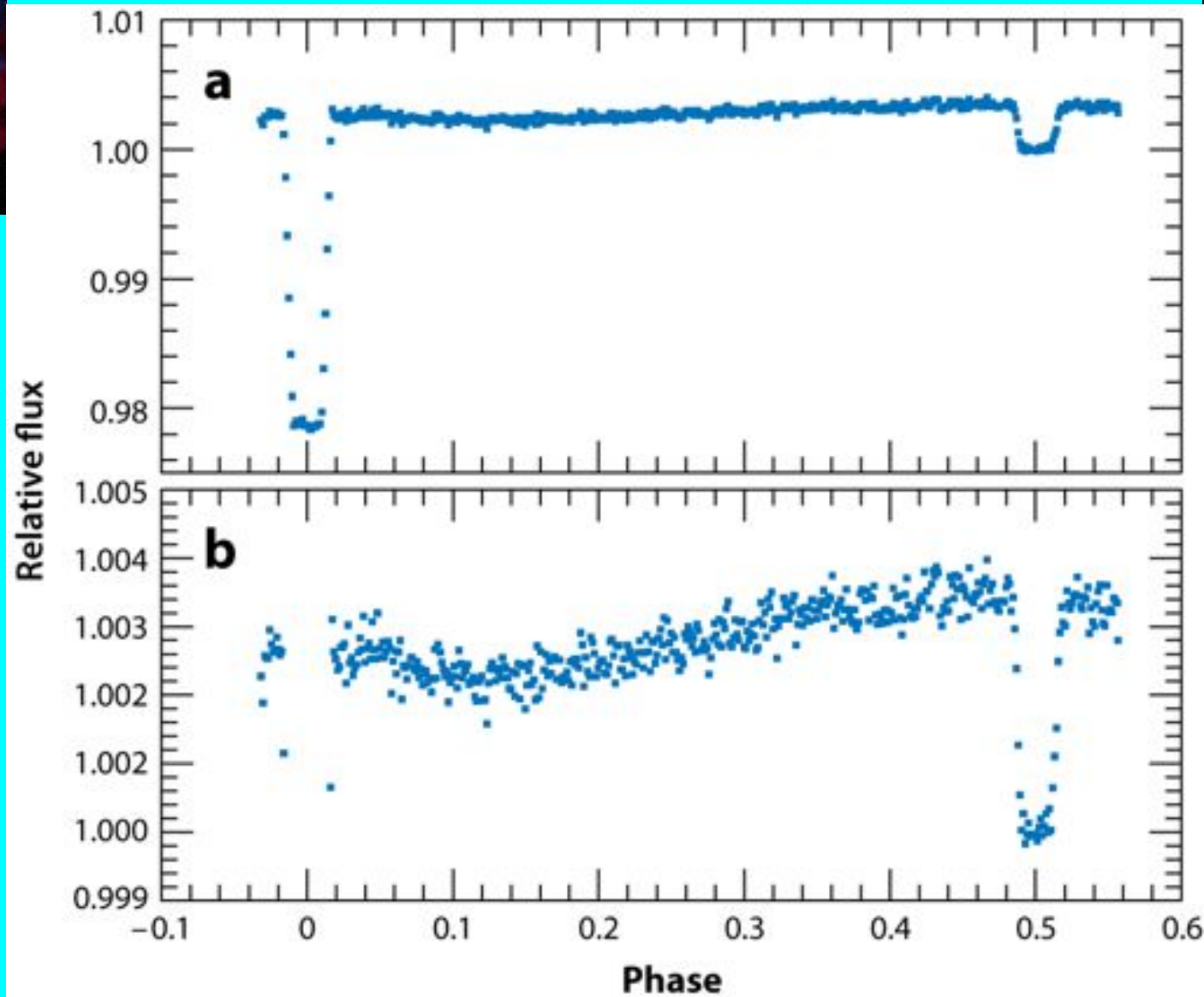
Infrared Light



Extrasolar Planet Eclipse (artist's rendition)

ssc2005-09b

Courbe de lumière infrarouge de HD189733A+b



AR

Seager S, Deming D. 2010.

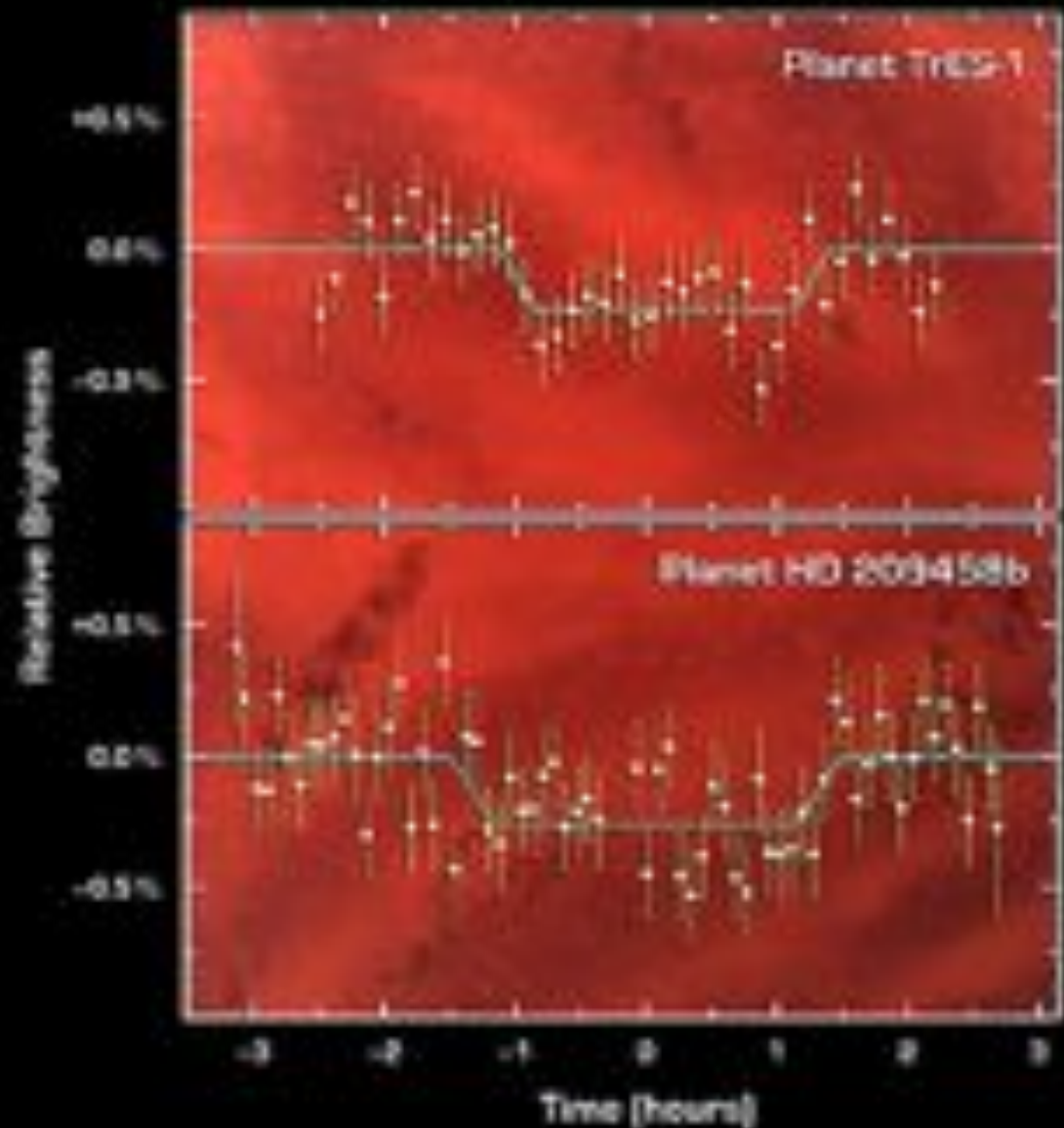
Annu. Rev. Astron. Astrophys. 48:631–72



Satellite IR SPITZER
4.5, 8 et 24 microns

température, albédo

HD209458b et TrES-1
Température ~ 800/900 °C

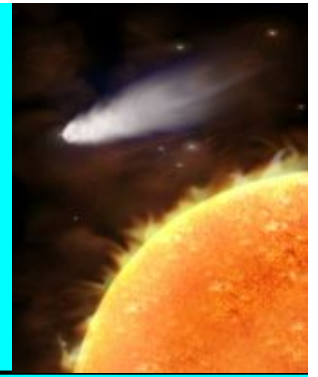


Planetary Eclipses Spitzer Space Telescope • IRAC • MIPS

Model: JPL/Caltech / © Charles/James (Harvard-Smithsonian CfA)

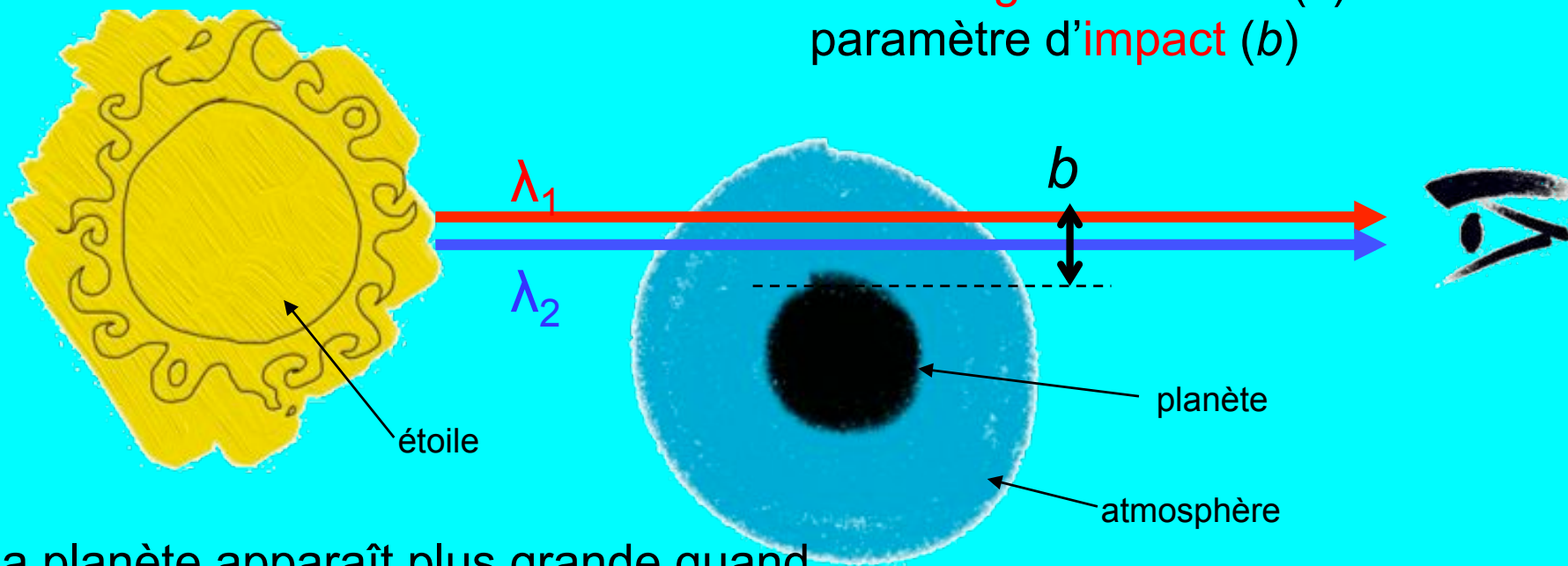
see 00000000

© 2000 (Spitzer Space Telescope)

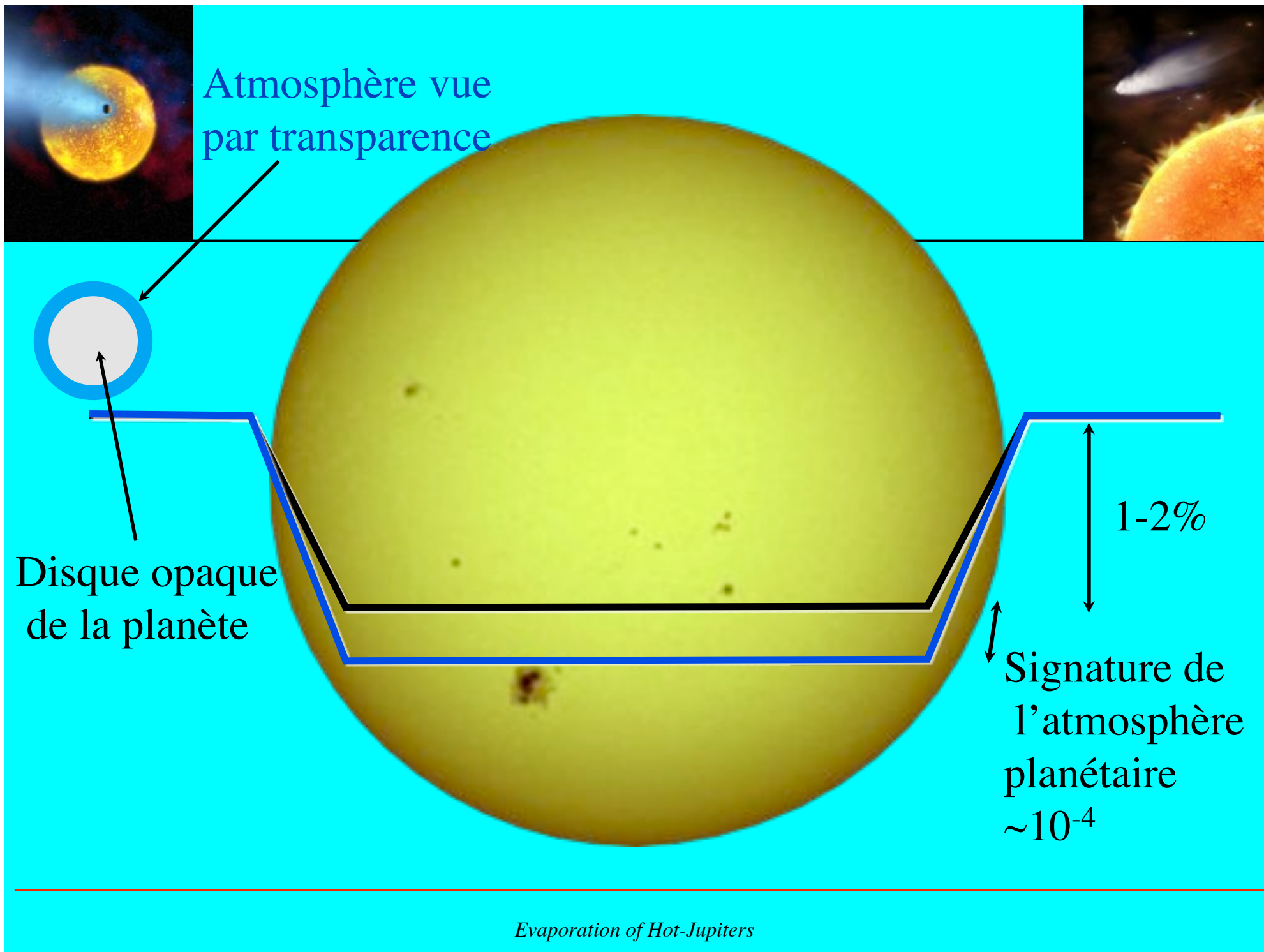


Atmosphère, atmosphère...

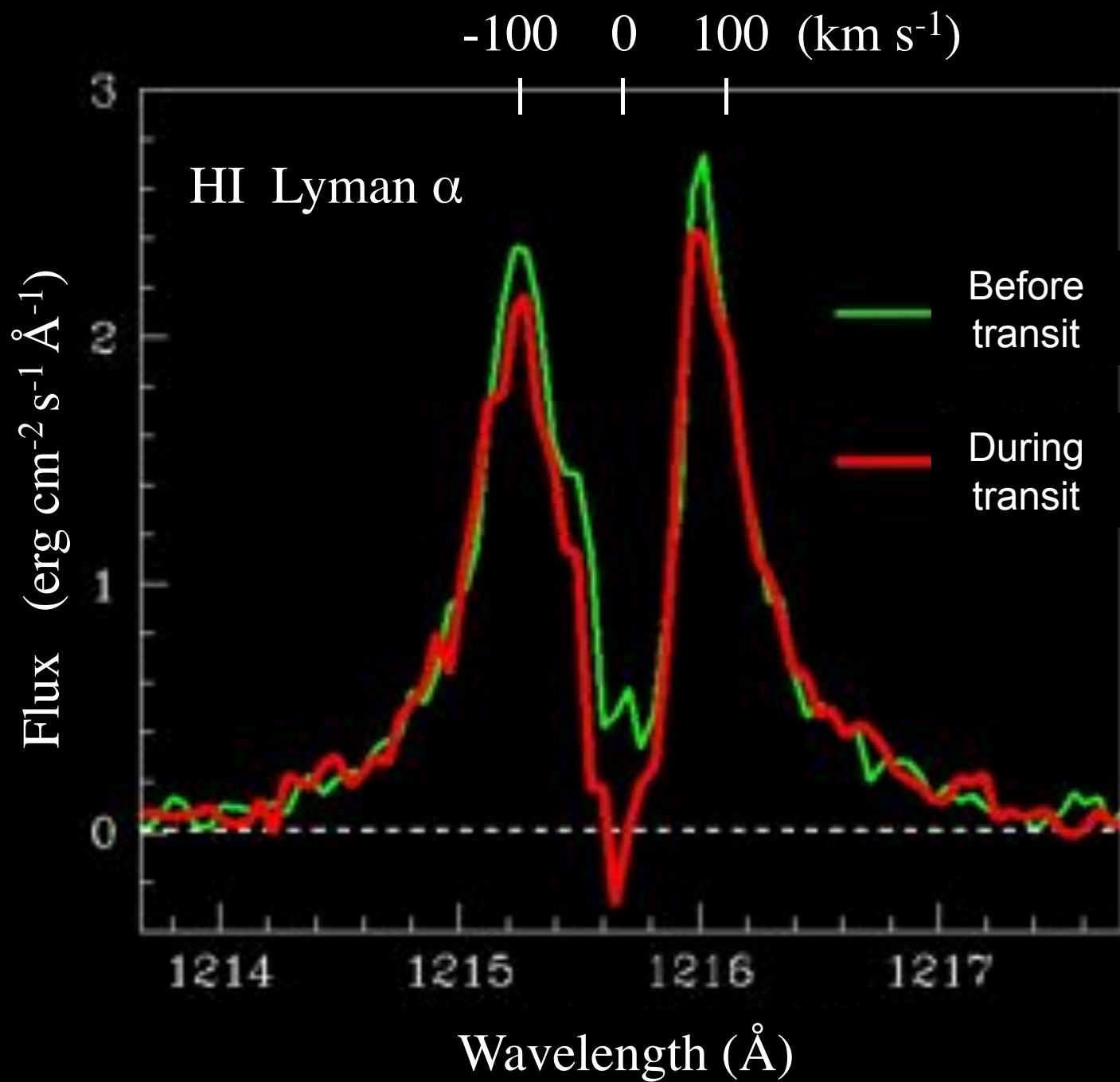
Spectroscopie des transits d'atmosphères

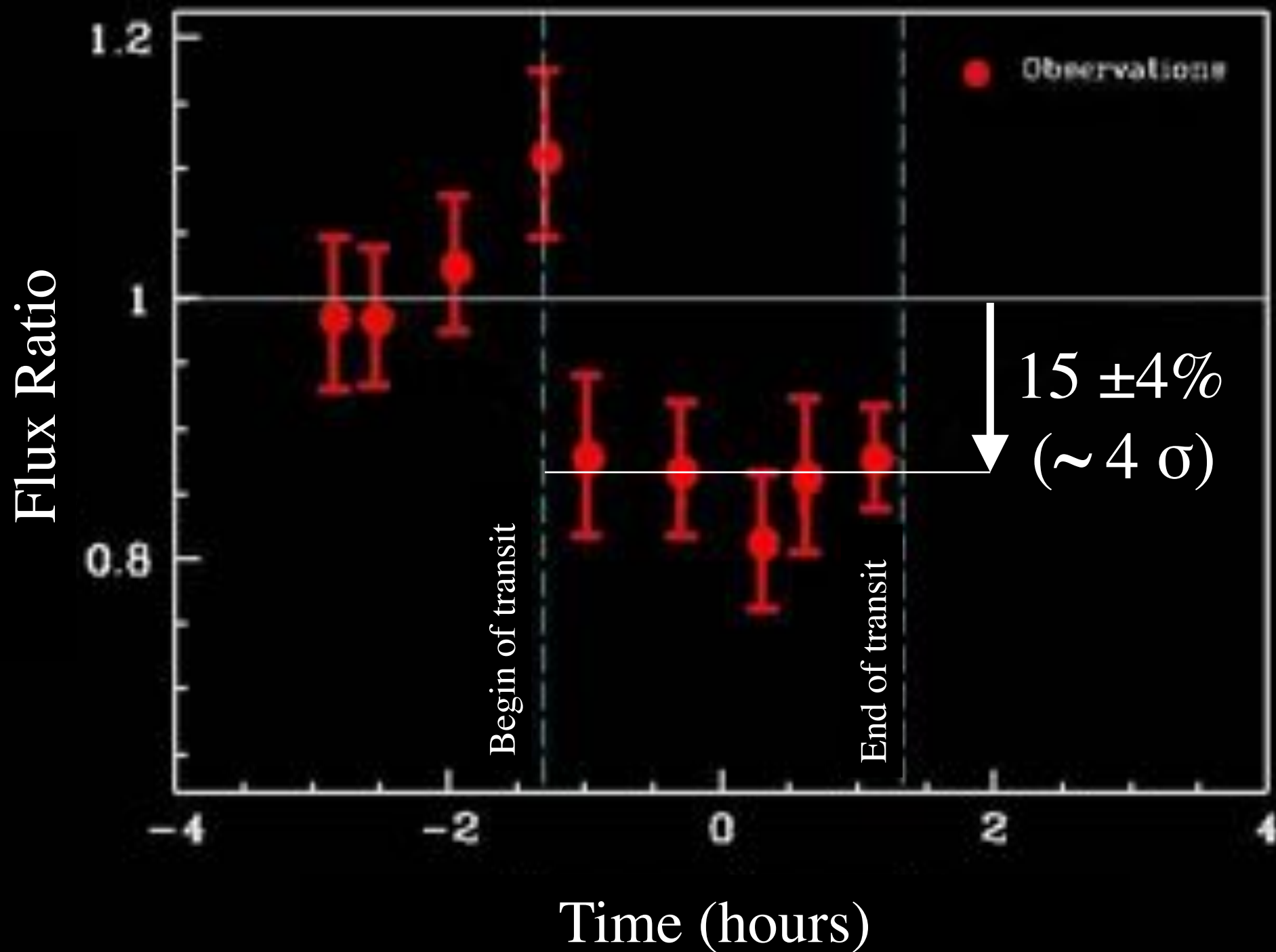


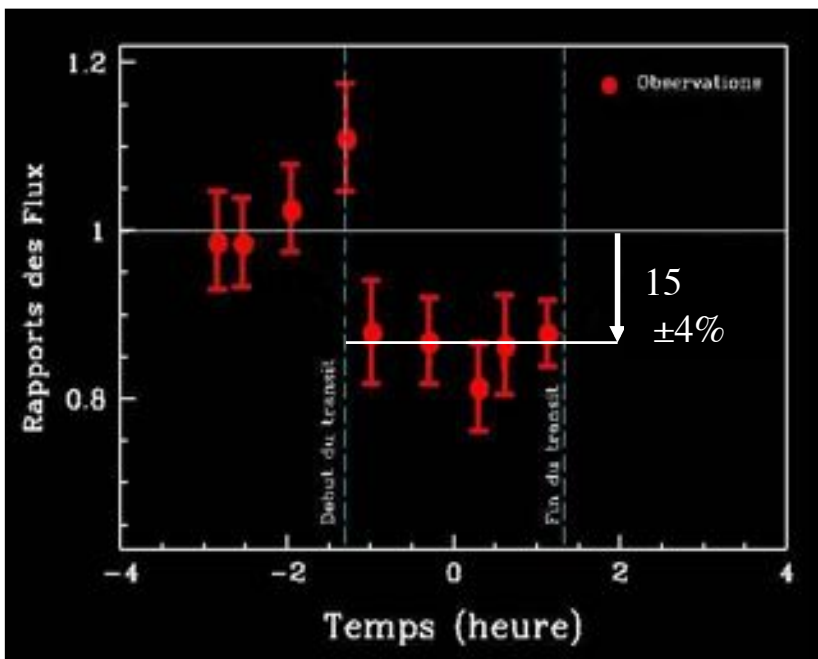
La planète apparaît plus grande quand elle est observée à une longueur d'onde fortement absorbée par l'atmosphère



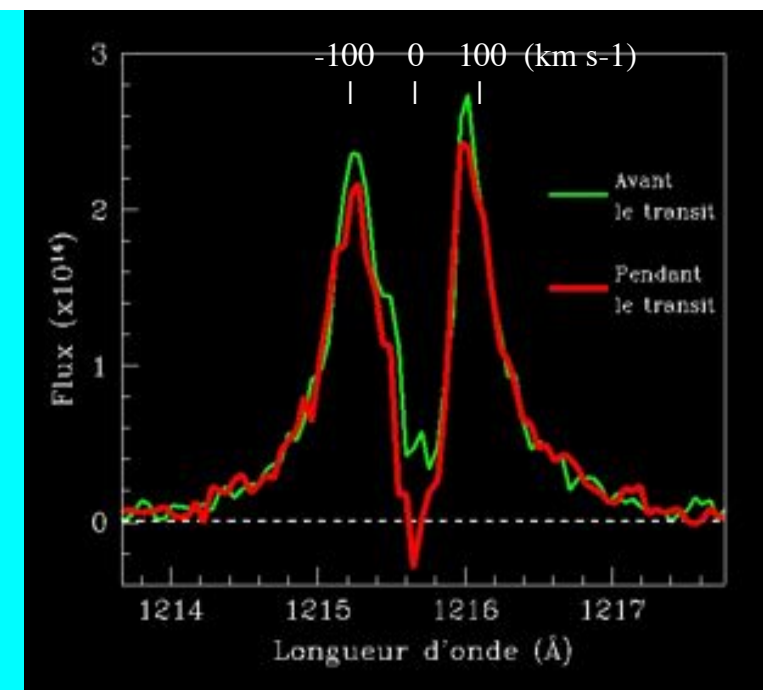
HD209458
OSIRIS







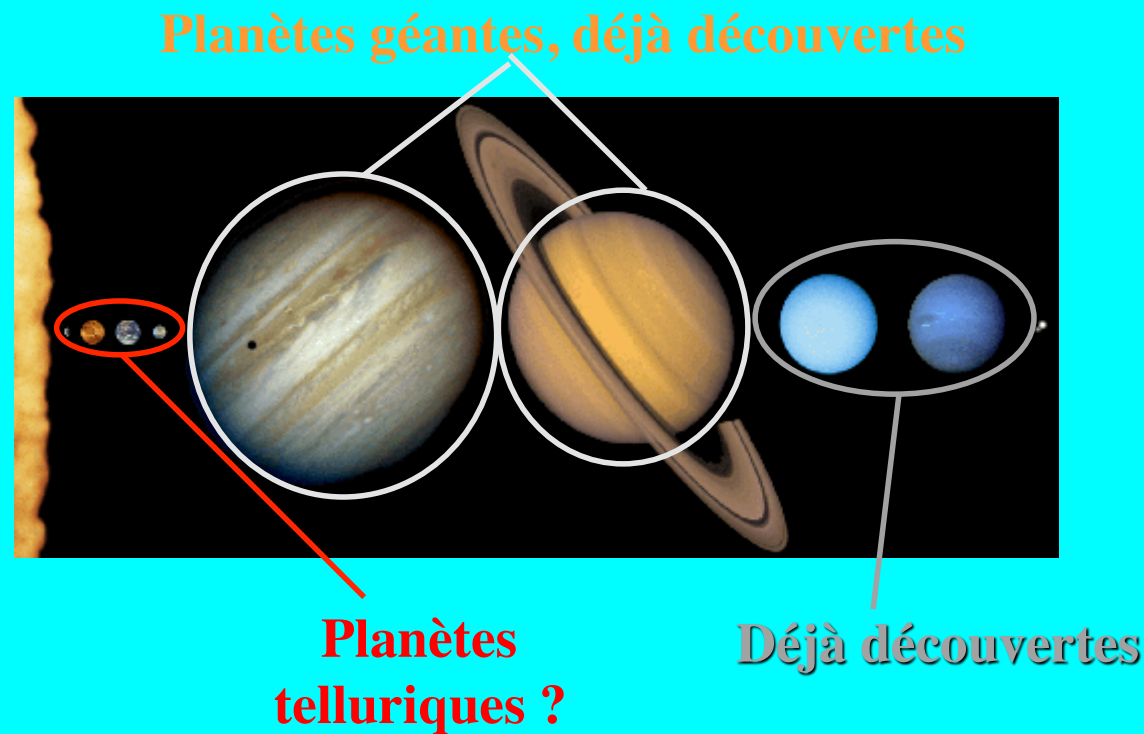
2 contraintes

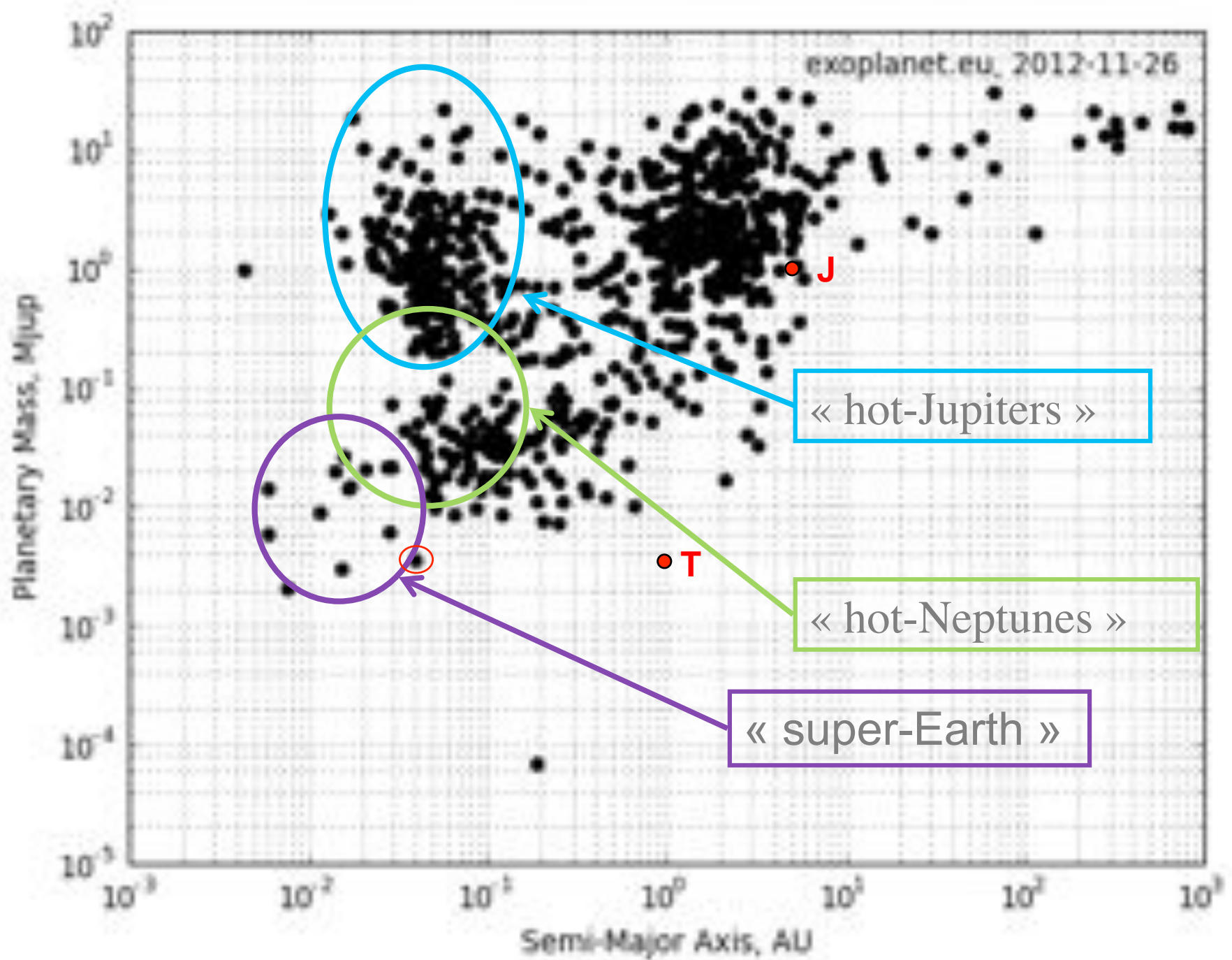


- HD209458b seule ($1.35 R_{\text{Jupiter}} = 96,500 \text{ km}$)
 Lobe de Roche rempli ($2.7 R_{\text{Osiris}} = 3.6 R_{\text{Jupiter}}$)
 Hydrogène: 15 % absorption → $3.2 R_{\text{Osiris}} = 4.3 R_{\text{Jupiter}} = 300\,000 \text{ km}$
 → Au-delà de la sphère d'influence ⇒ **l'hydrogène s'échappe**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

La planète s'évapore

La course aux planètes

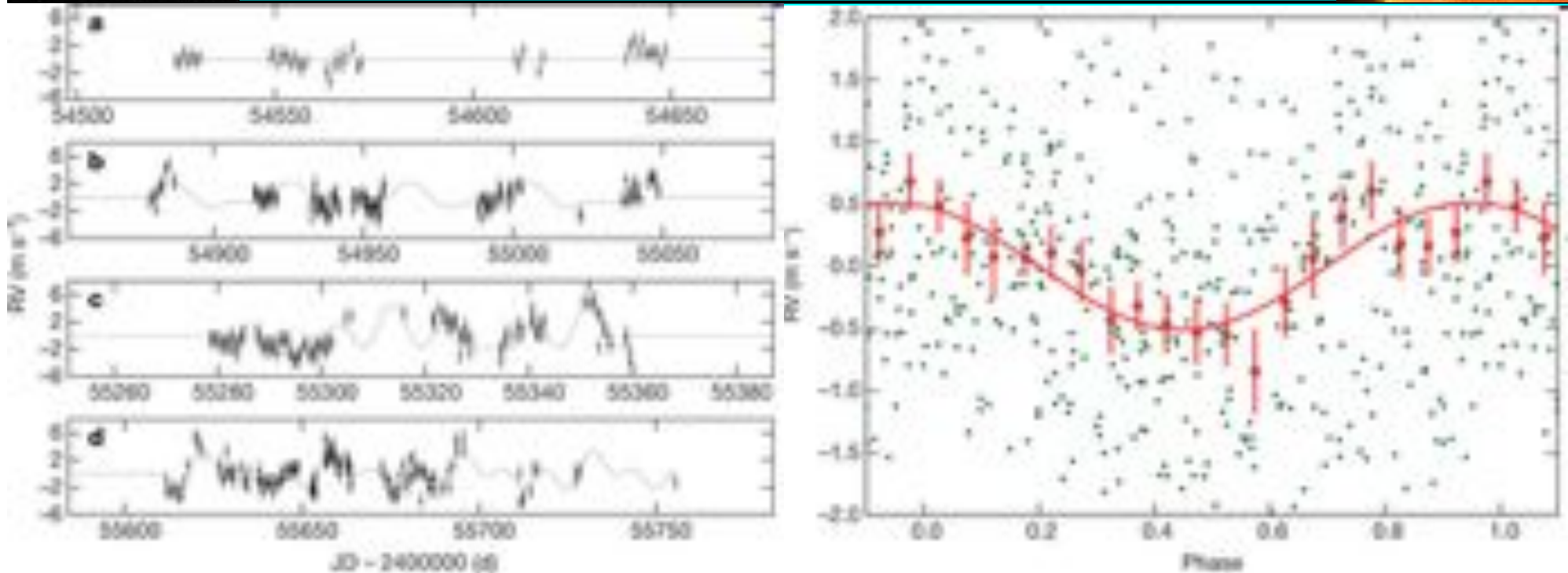
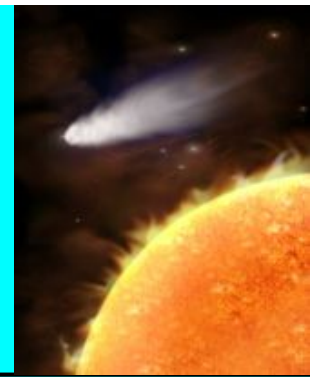






α Centauri B - b

An Earth-mass planet at ~ 4 ly



Radial velocities of α Centauri B after correction of the binary's signature (of α Centauri B orbiting α Centauri A), magnetic-cycle and coordinates effects, for the years 2008 (a), 2009 (b), 2010 (c) and 2011 (d).

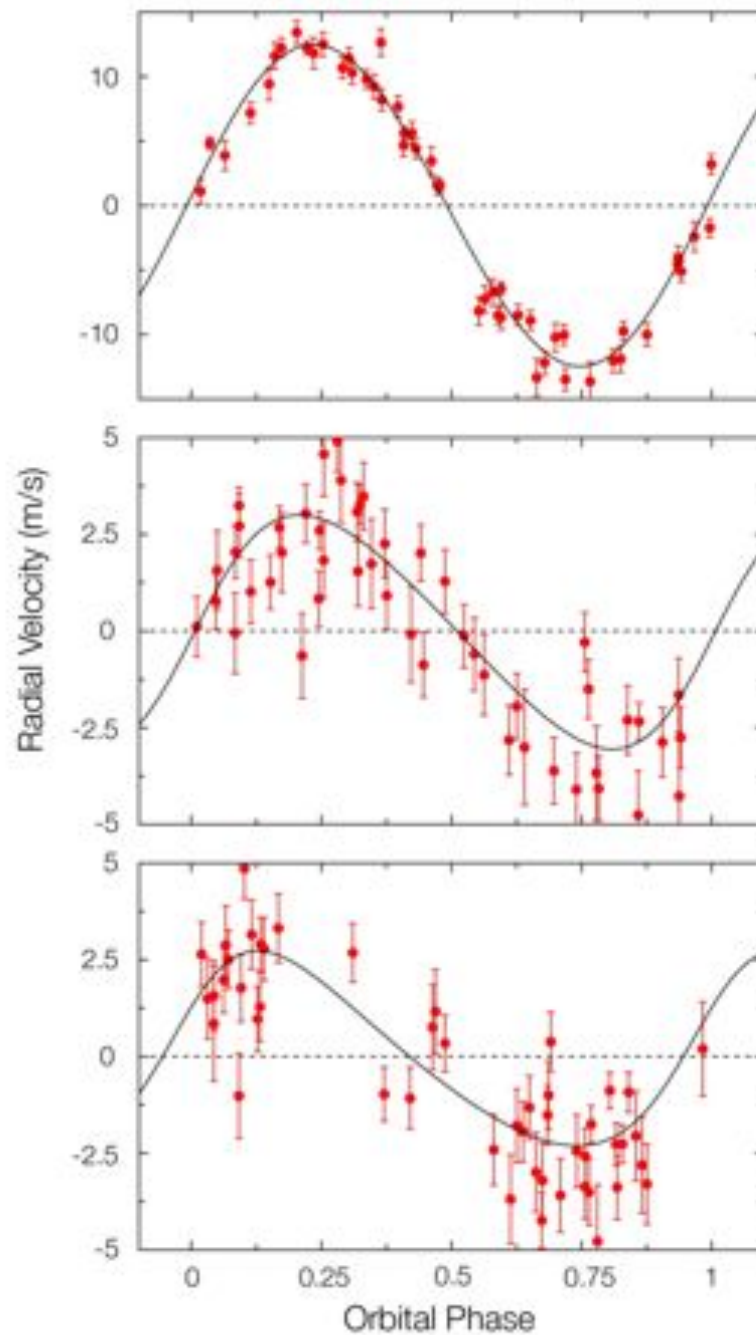
Green dots, radial velocities after correction of the stellar, binary and coordinates effects. Red dots, the same radial velocities binned in phase, with a bin size of 0.05. The error bar of a given bin is estimated using the weighted r.m.s...

$M \cdot \sin i \sim 1,1 M_{\text{Terre}}$

$a = 0,04 \text{ AU}$

$T = 3,2357 \text{ days}$

KEPLER 78b



Observed Velocity Variation of Gliese 581

ESO Press Photo 22d/07 (25 April 2007)

15.7 masses terrestres
période 5.368 jours

5.03 masses terrestres
période 12.932 jours

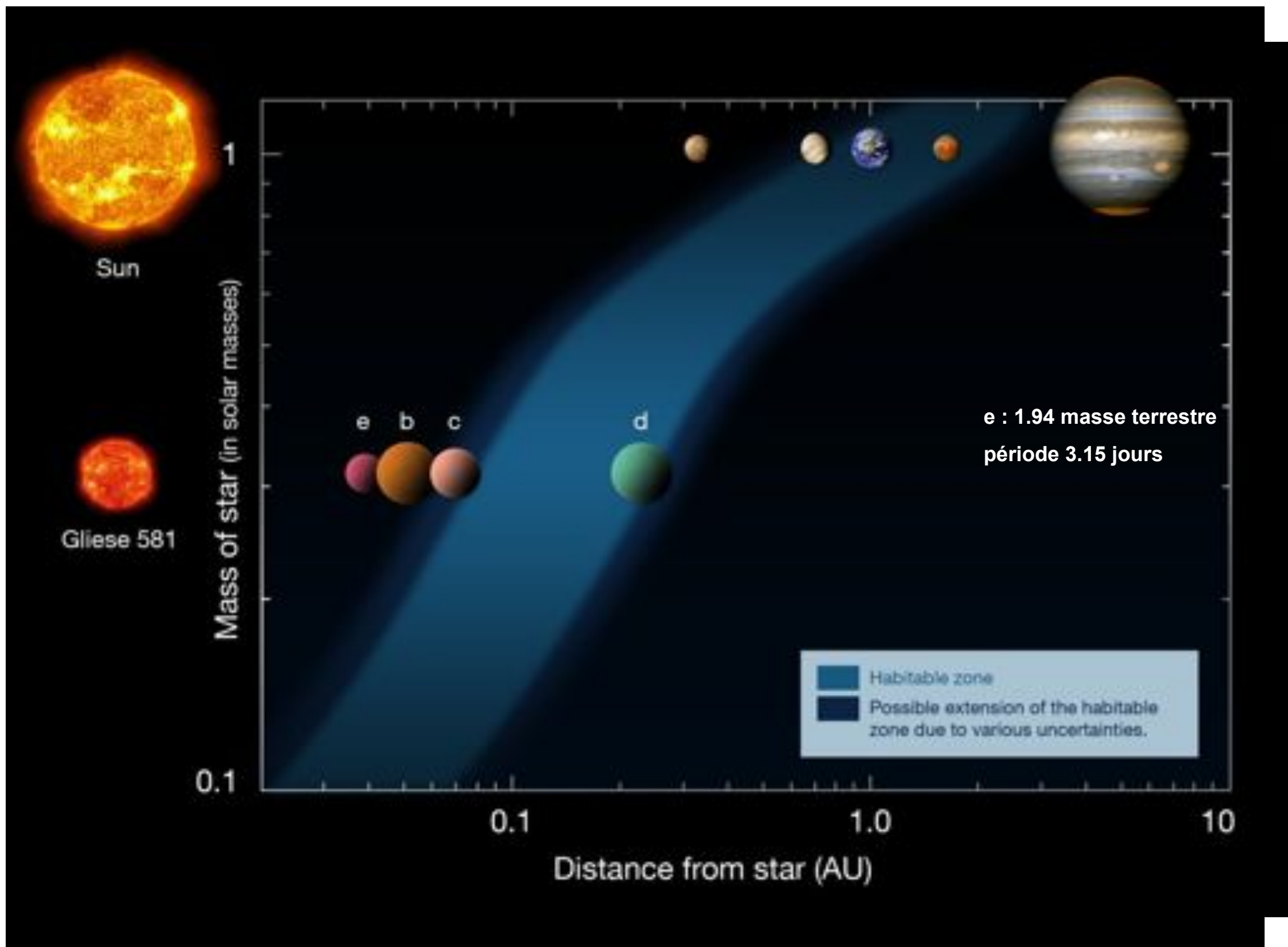
dans la zone habitable

7.7 masses terrestres
période 83.6 jours



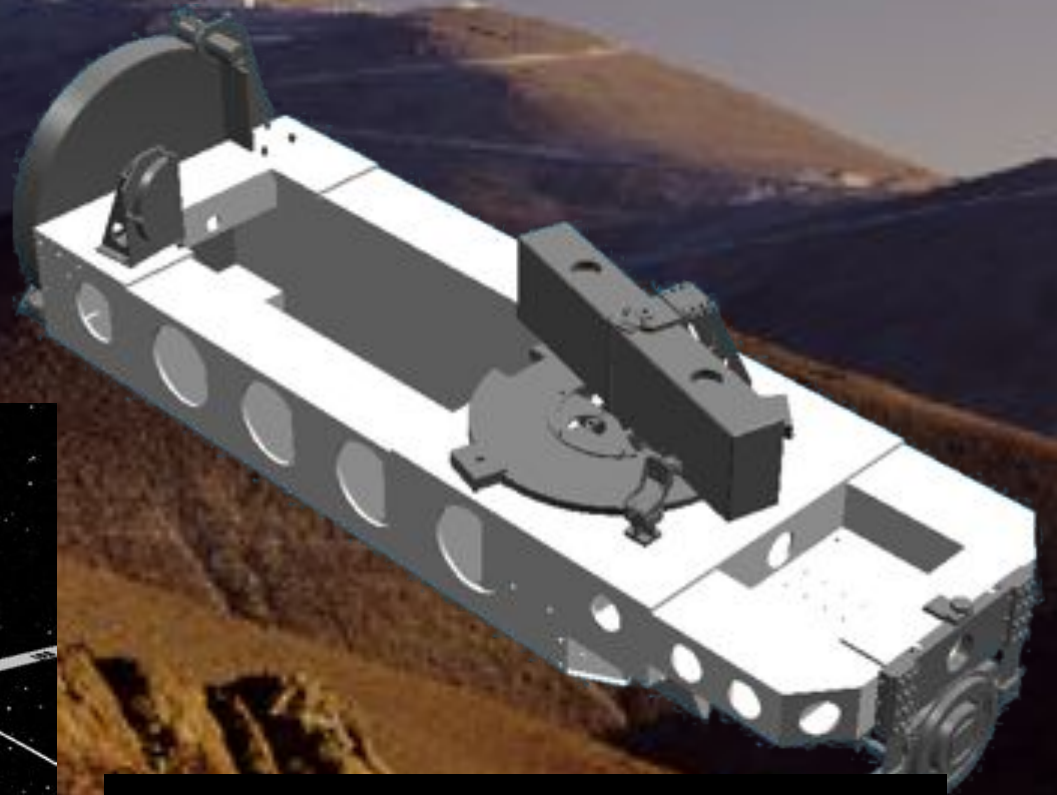
Planètes telluriques dans la zone habitable



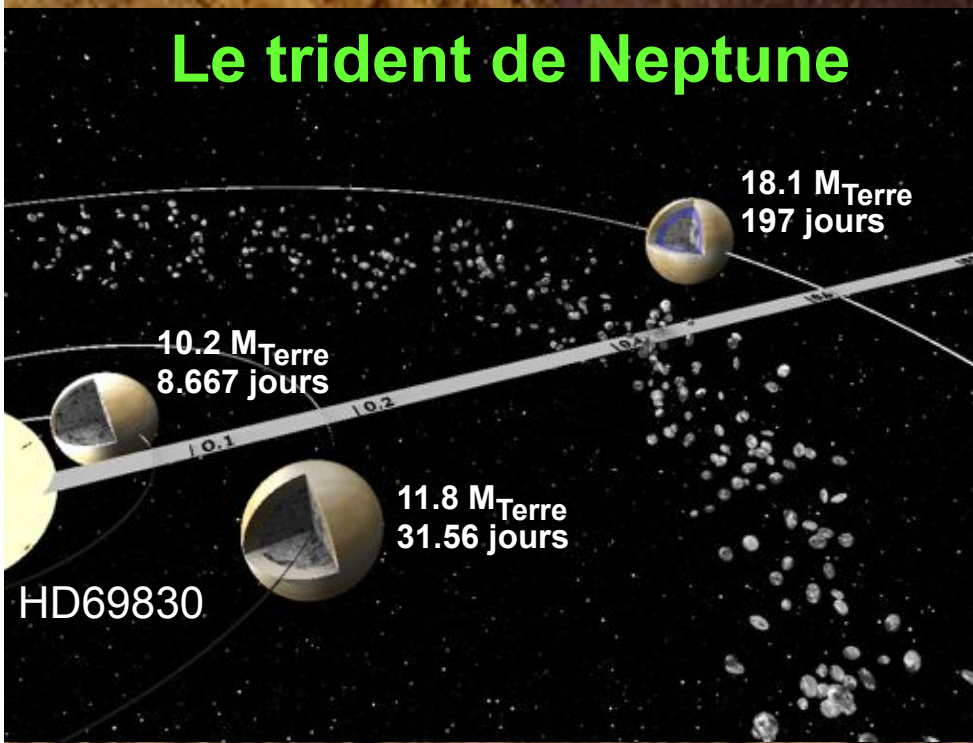




**le spectrographe le plus précis
au monde**



Le trident de Neptune



**Depuis 2004,
qqz centaines nouvelles
exoplanètes dont
plusieurs “super-Terres”.**



Le spectrographe du 193-cm de l'OHP

Des performances proches de HARPS;
qqs dizaines d'exoplanètes détectées depuis
mise en service en 2007.



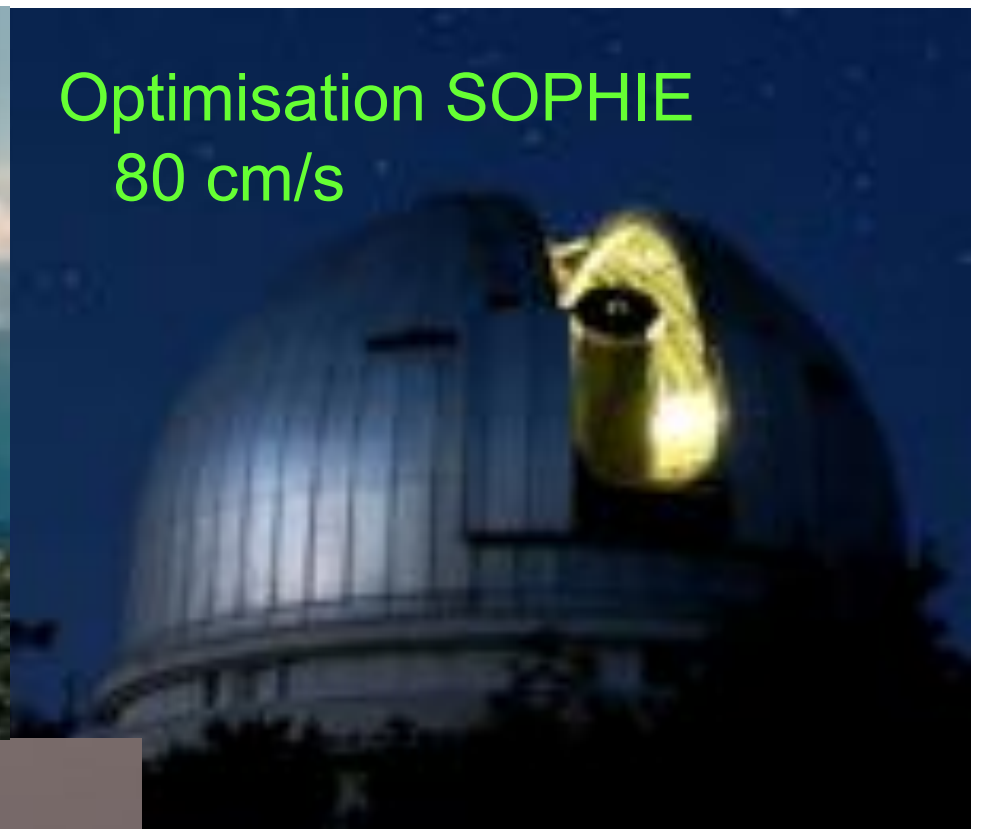
200 nuits par an pour la recherche et
la caractérisation des exoplanètes.



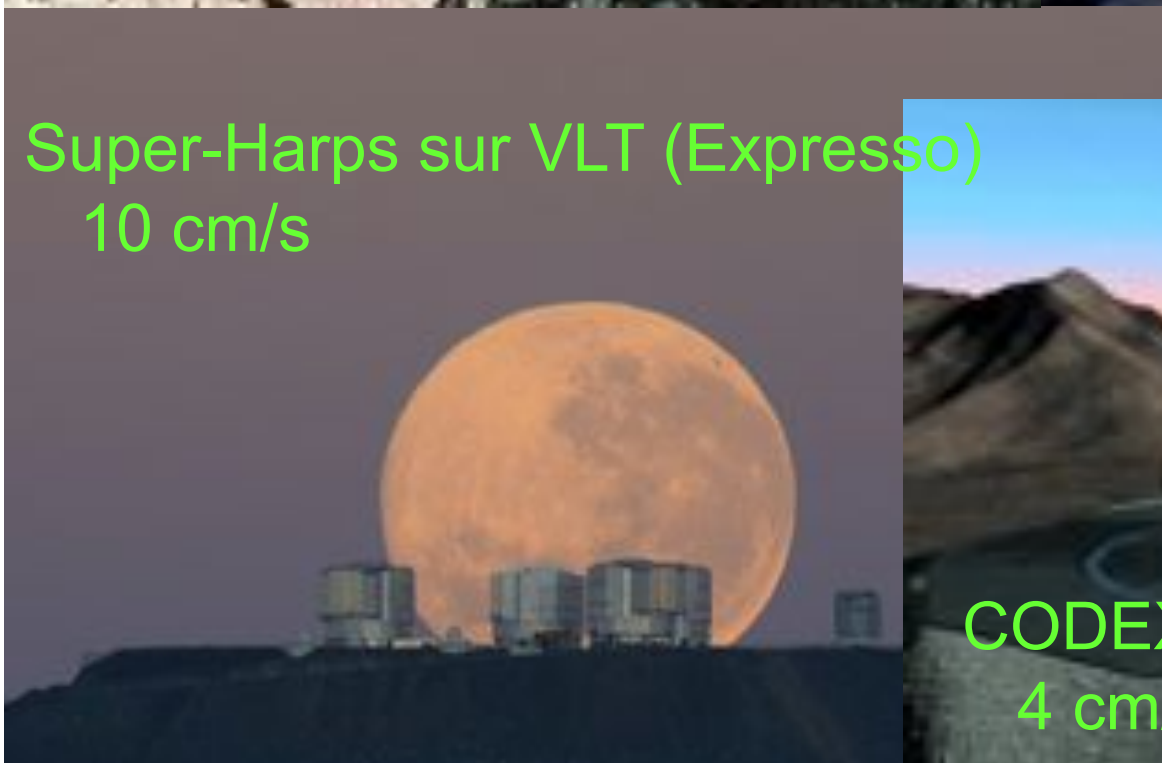
HARPS Nord (suivi Kepler)
50 cm/s



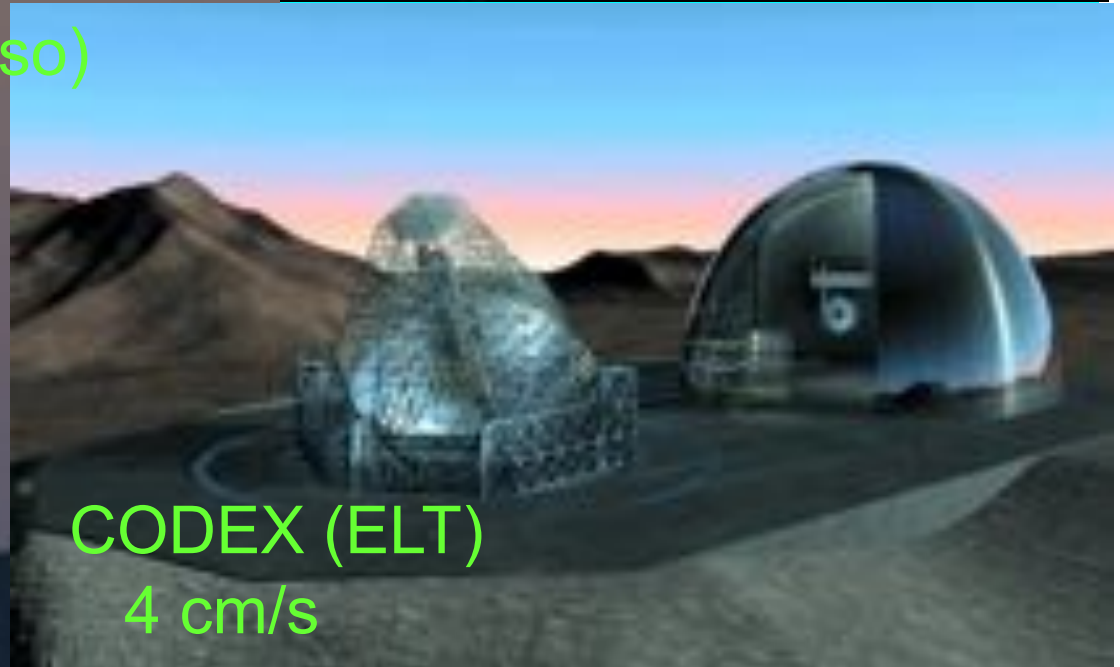
Optimisation SOPHIE
80 cm/s



Super-Harps sur VLT (Expresso)
10 cm/s



CODEX (ELT)
4 cm/s



Antarctique : un site prometteur pour la recherche d'exoplanètes en transit

But : atteindre précision sub-mmag et longue couverture



A STEP :

Antarctica Search for
Transiting Extrasolar
Planets

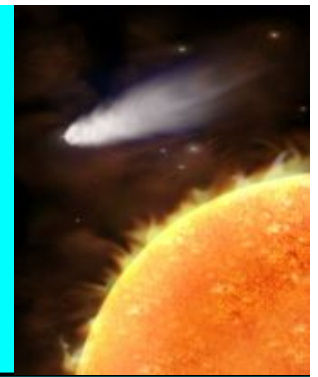
40-cm telescope



GAIA

ESA “pierre-angulaire”

2013



Physique stellaire

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

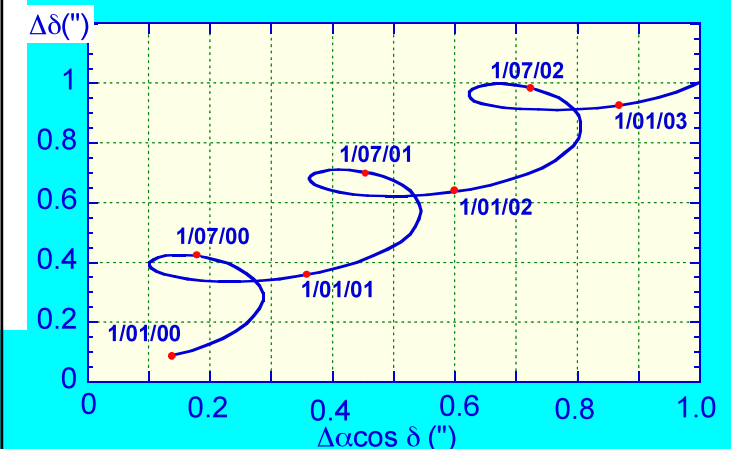
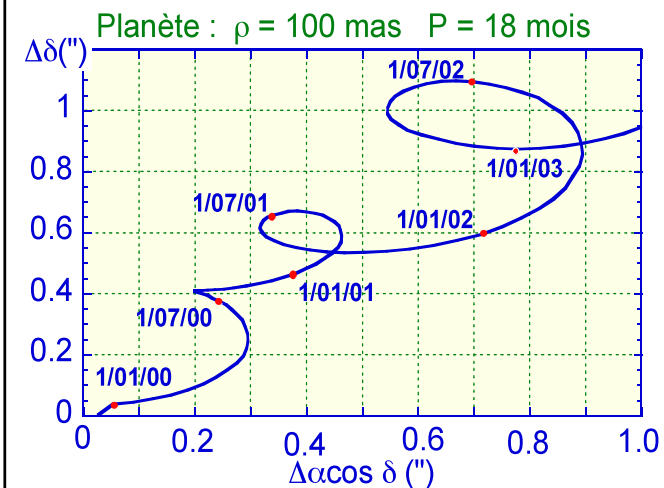
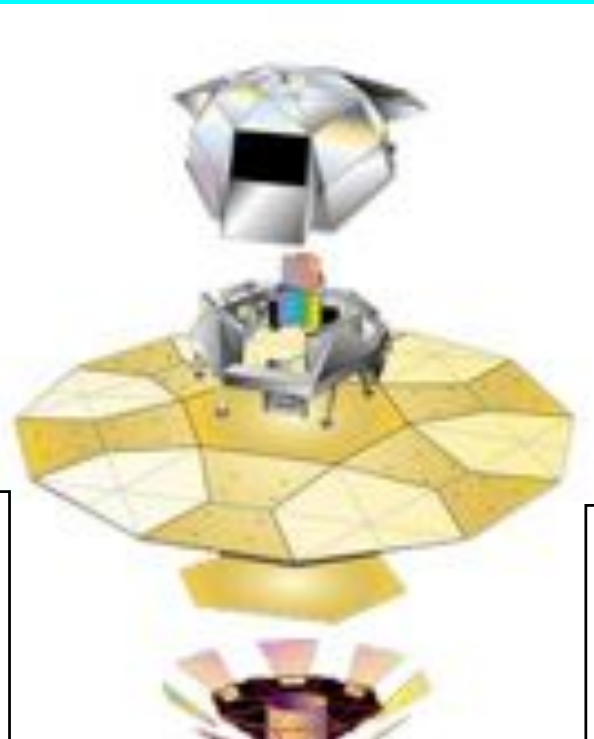
Recherche de planètes

Astrométrie > 10 000

P ~ ans

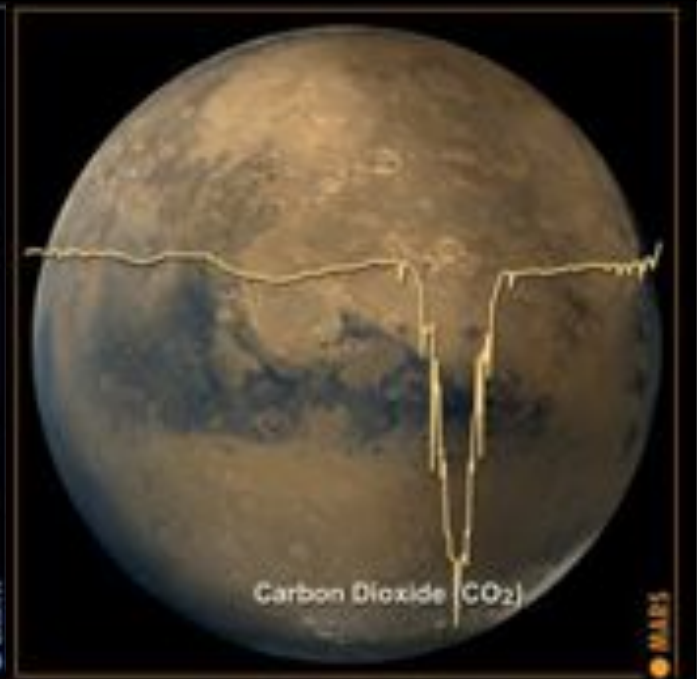
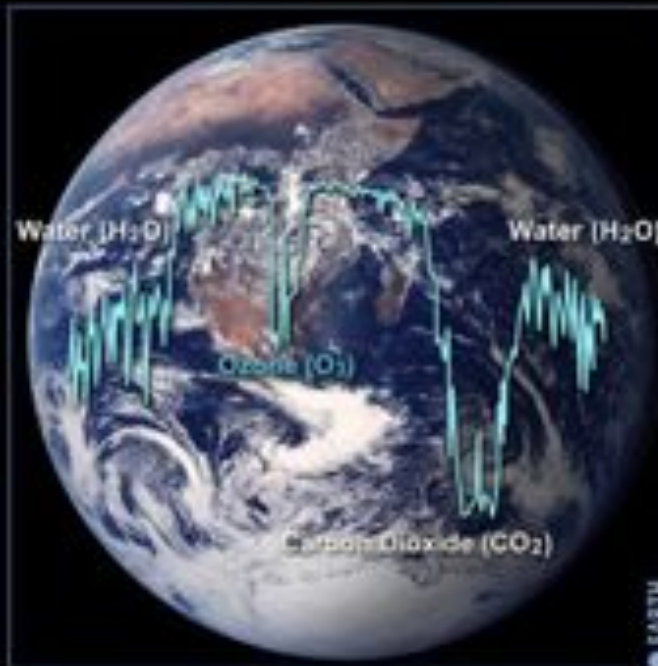
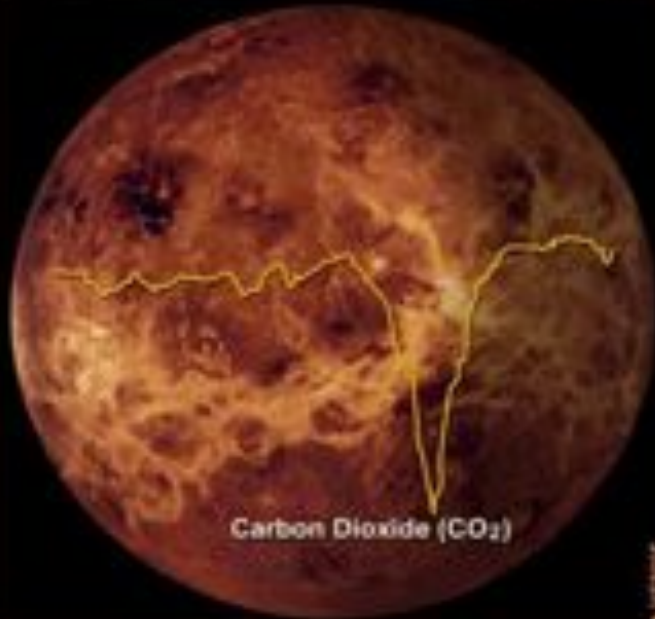
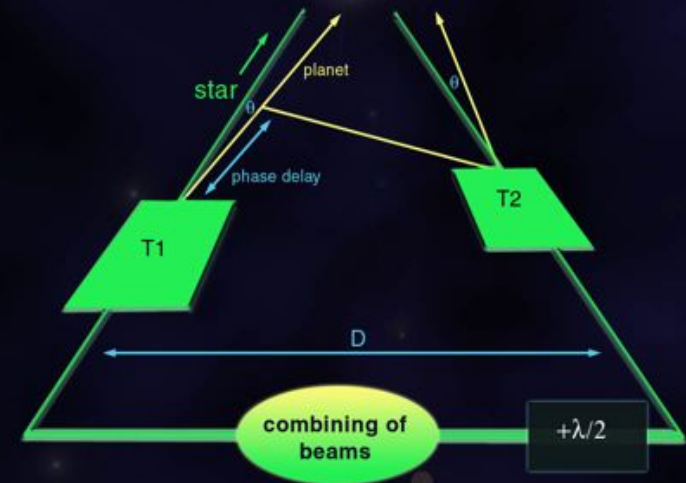
Photométrie > 5000

P ~ jours



DARWIN
2035 ?

Images et spectres
de planètes telluriques



MERCI