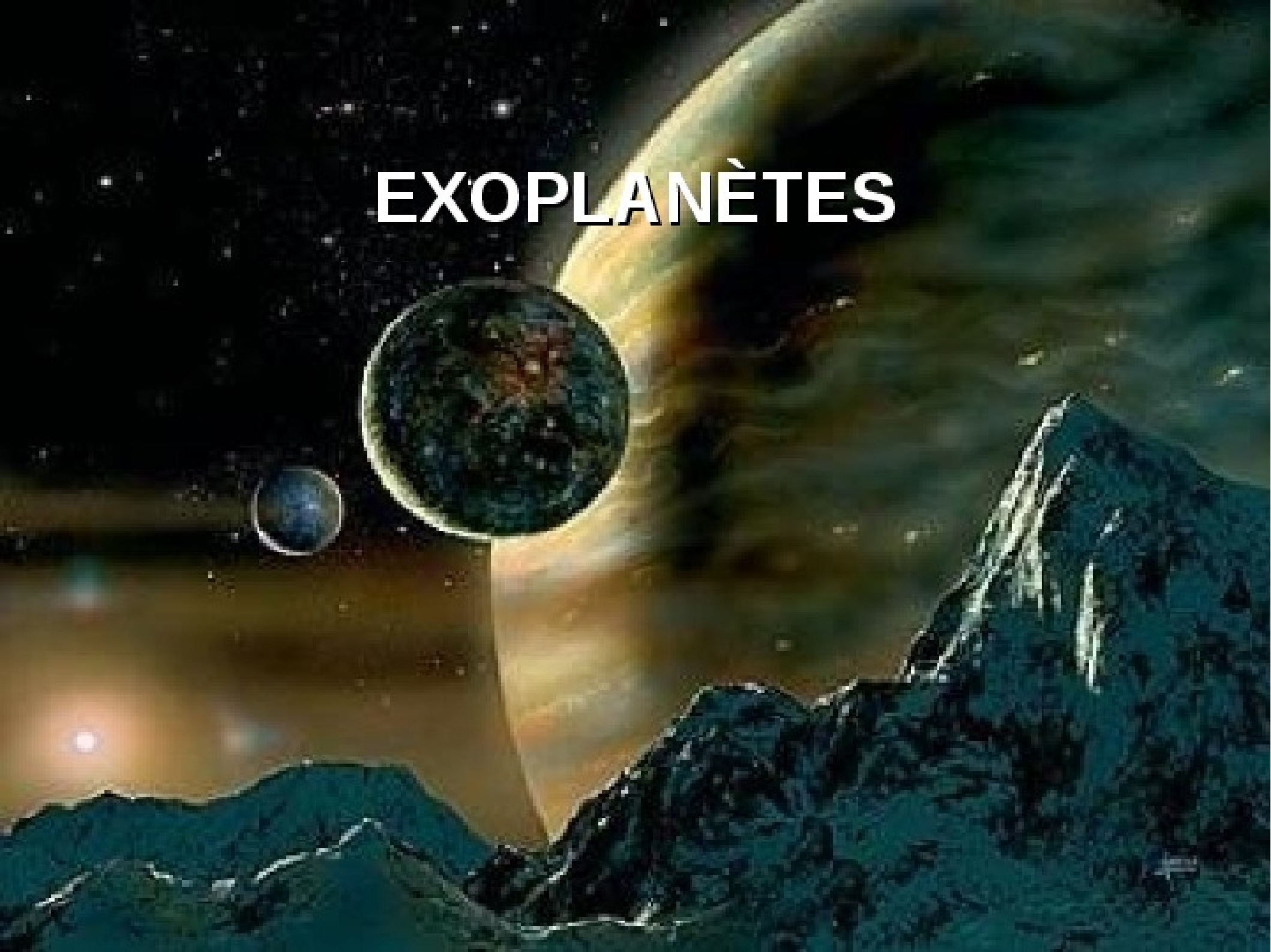

EXOPLANÈTES

EXOPLANÈTES

INTRODUCTION

Existence
Équation de Drake

I Méthodes de détection indirectes

Vitesse radiale (vélocimétrie)
Transit (photométrie)

II Propriétés et statistiques

Masse, demi-grand axe, période, excentricité, rayon, métallicité de l'étoile hôte, densité, spectre...

Synthèse de Population de Planètes

EXOPLANÈTES

La naissance d'une étoile donne lieu à la formation d'un disque protoplanétaire,

dans lequel des planetes peuvent se former.

On s'attend donc à ce que de nombreuses étoiles aient des planetes.

Pourtant, j'ai appris à l'école primaire qu'il y avait 8 (9) planetes dans le Systeme Solaire, et que c'était tout...

EXOPLANÈTES

« Il y a d'innombrables soleils et d'innombrables terres, toutes tournant autour de leur soleil comme le font les sept planètes de notre système.

Nous n'en voyons que les soleils parce qu'ils sont les plus grands et les plus lumineux, mais leurs planètes nous restent invisibles parce qu'elles sont petites et peu lumineuses.

Les innombrables mondes de l'univers ne sont pas pires et moins habités que notre Terre. »

EXOPLANÈTES

« Il y a d'innombrables soleils et d'innombrables terres, toutes tournant autour de leur soleil comme le font les sept planètes de notre système.

Nous n'en voyons que les soleils parce qu'ils sont les plus grands et les plus lumineux, mais leurs planètes nous restent invisibles parce qu'elles sont petites et peu lumineuses.

Les innombrables mondes de l'univers ne sont pas pires et moins habités que notre Terre. »

Giordano Bruno, *de l'infinito universo e mondi* (1574)

EXOPLANÈTES

« Il y a d'innombrables soleils et d'innombrables terres, toutes tournant autour de leur soleil comme le font les sept planètes de notre système.

*Nous n'en voyons que les soleils parce qu'ils sont les plus grands et les plus lumineux, mais l**eurs planètes nous restent invisibles parce qu'elles sont petites et peu lumineuses**.*

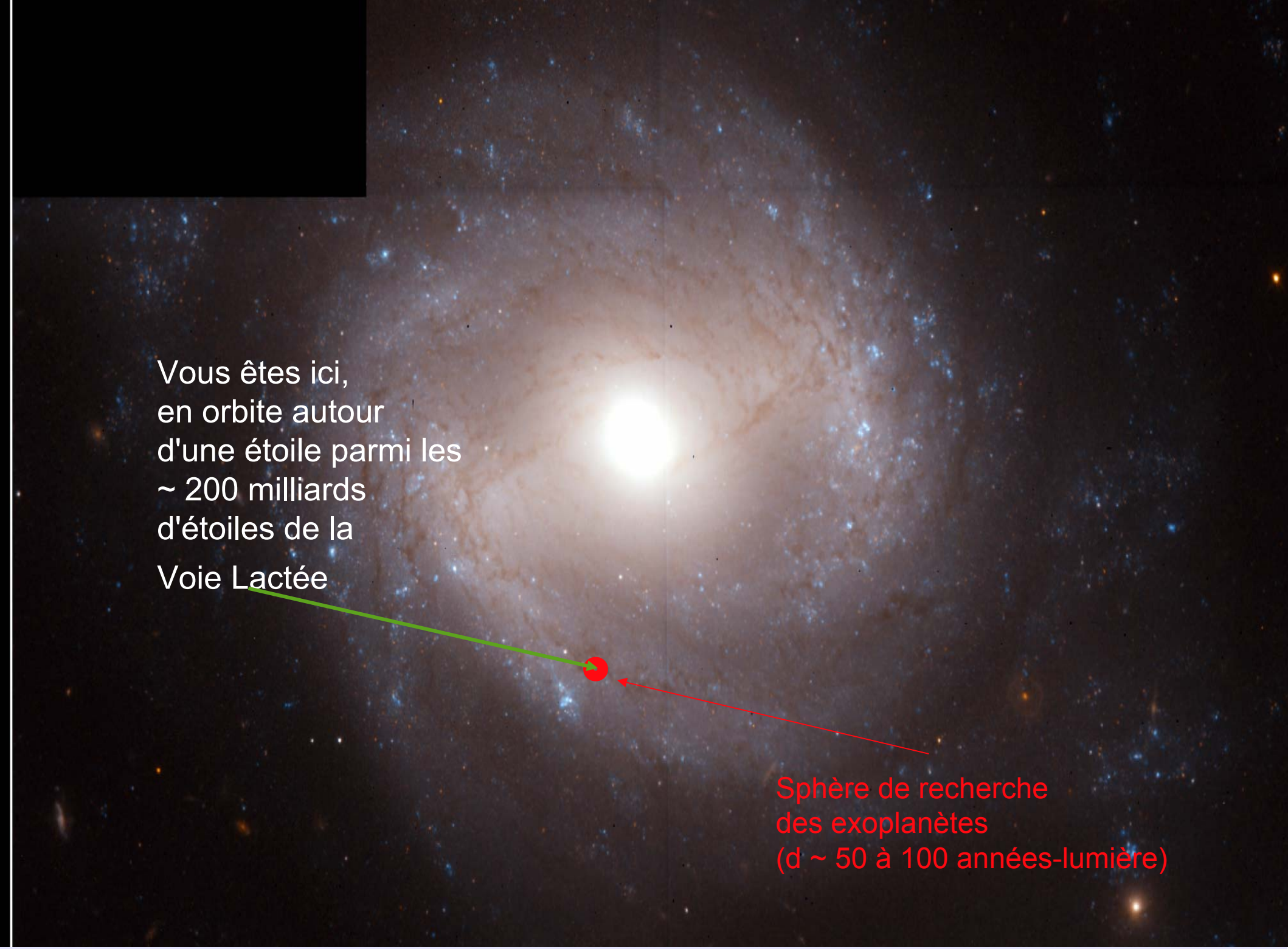
Les innombrables mondes de l'univers ne sont pas pires et moins habités que notre Terre. »

Giordano Bruno, *de l'infinito universo e mondi* (1574)

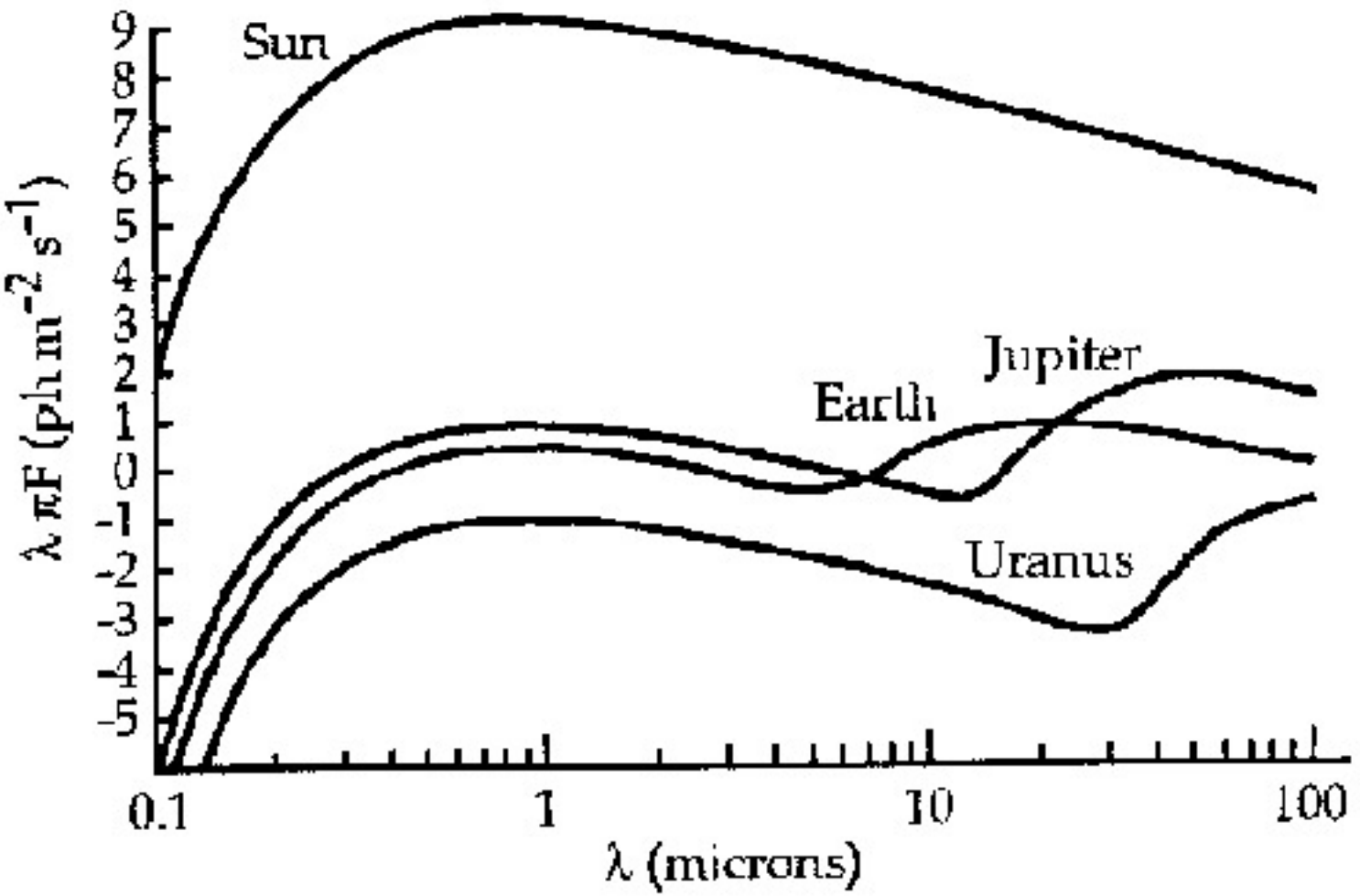



...que une planete
...cacheé ici




Vous êtes ici,
en orbite autour
d'une étoile parmi les
~ 200 milliards
d'étoiles de la
Voie Lactée
Sphère de recherche
des exoplanètes
(d ~ 50 à 100 années-lumière)

EXOPLANÈTES



EXOPLANÈTES

Les étoiles sont un milliard de fois plus brillantes que les planetes.
Comme un ver luisant à côté d'un phare !

Et le tout très loin, comme un ver luisant à côté d'un phare... à New York !

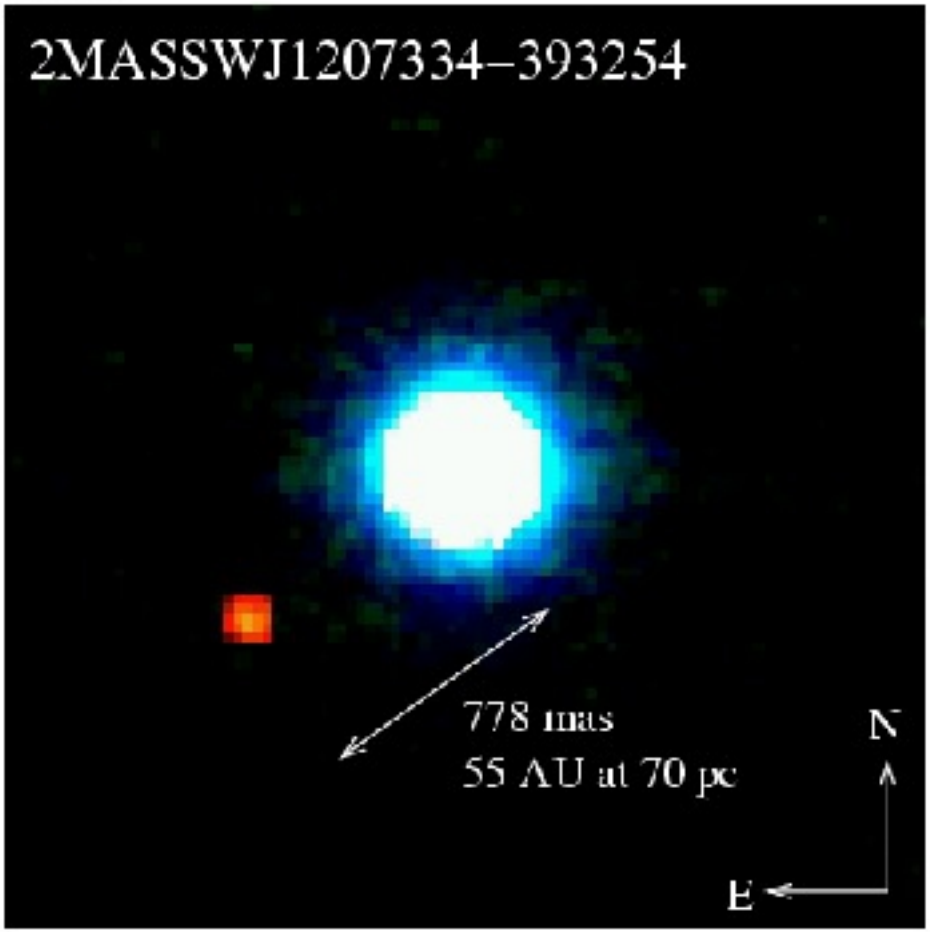


EXOPLANÈTES

Parfois, ça marche !

On observe directement la planète autour de son étoile, si celle-ci est très peu brillante (naine brune).

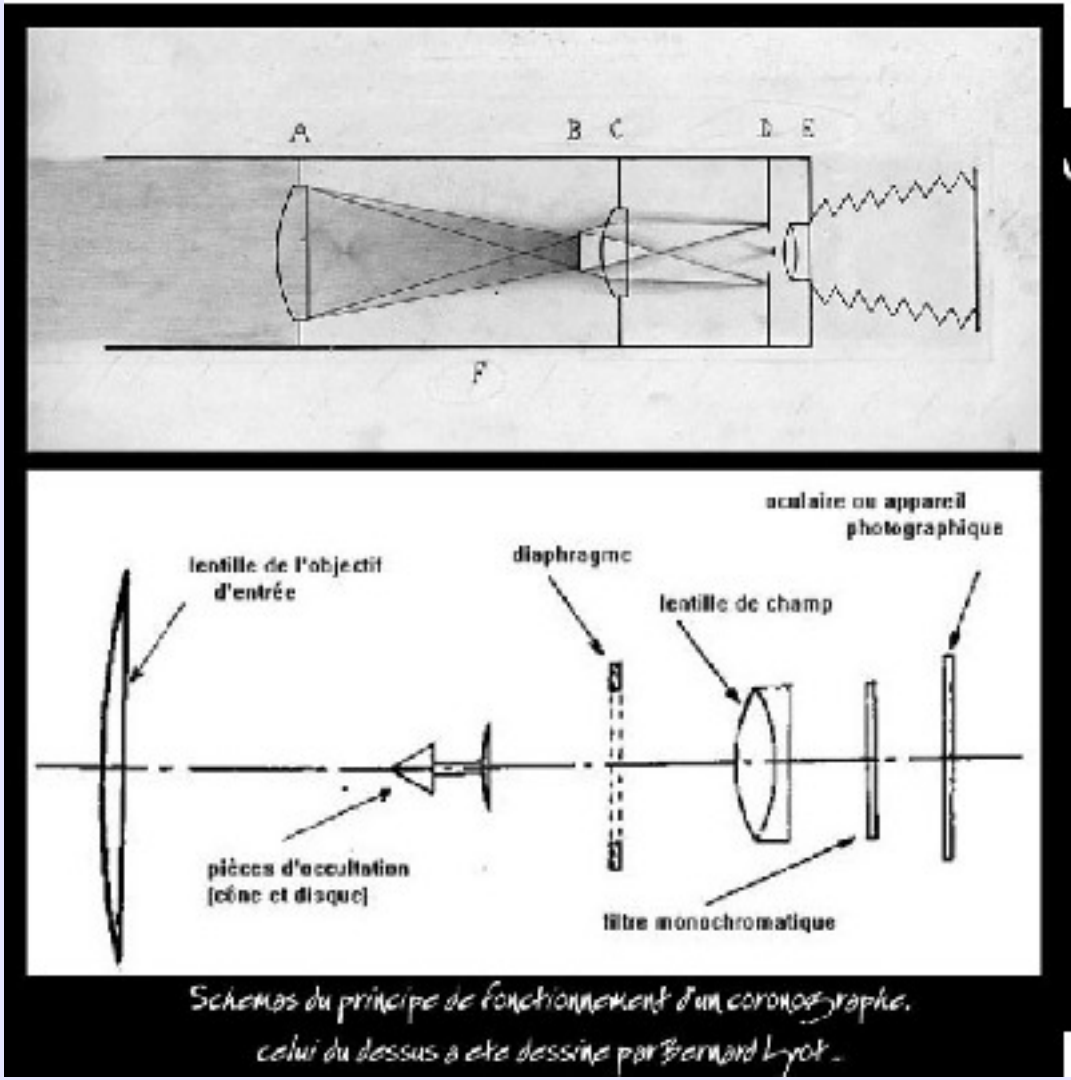
Première image d'une exoplanète :
Chauvin et al. (2004)



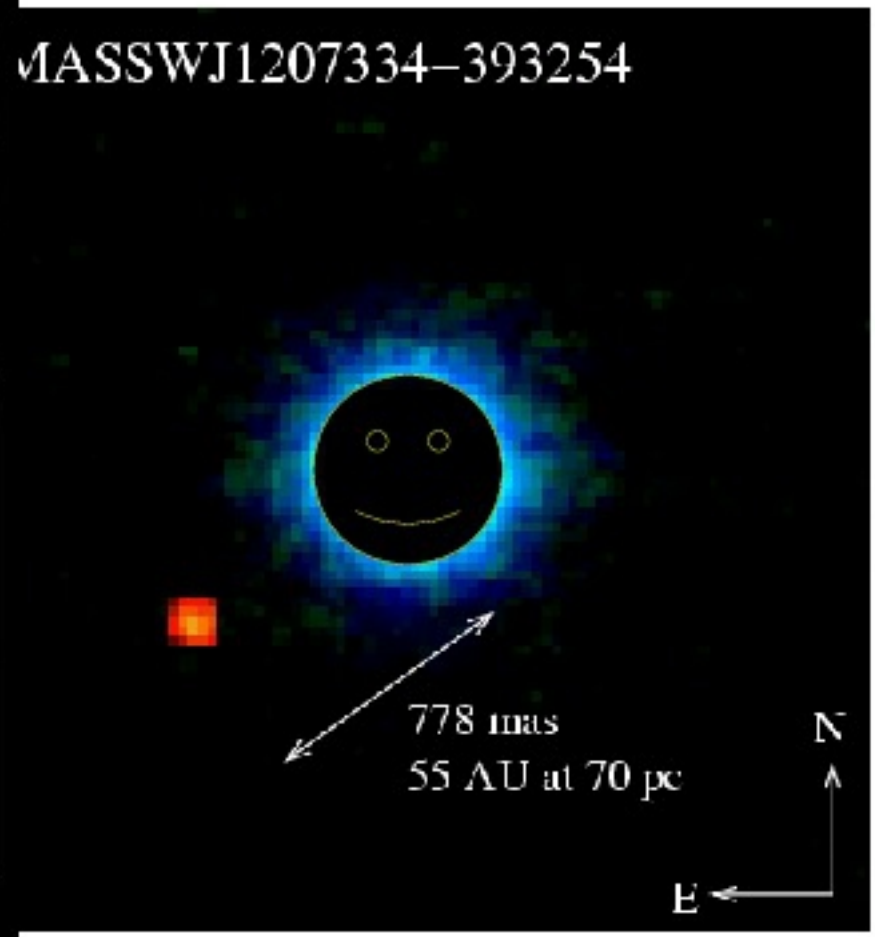
Plutôt une naine brune double...

EXOPLANÈTES

Si besoin, on cache l'étoile avec un **coronographe**.

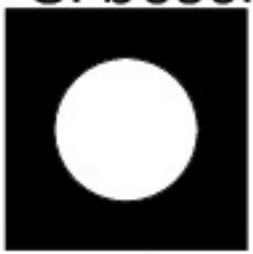


Schemas du principe de fonctionnement d'un coronographe. celui du dessus a ete dessine par Bernard Lyot.



EXOPLANÈTES

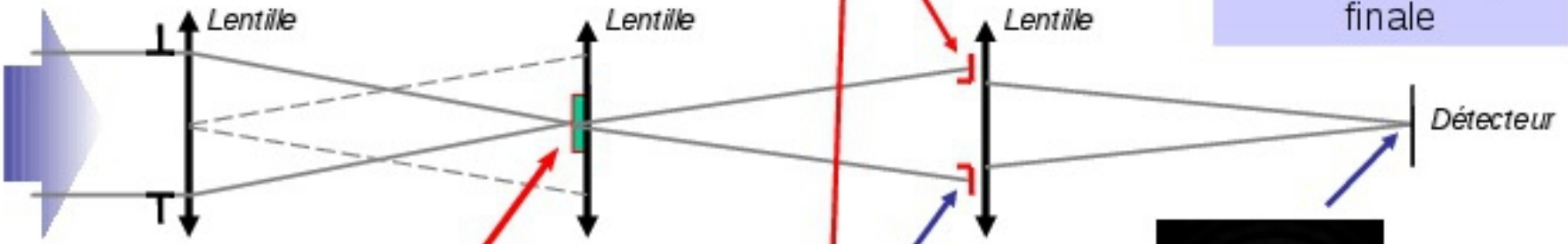
Si besoin, on cache l'étoile avec un **coronographe**.



Pupille d'entrée

Diaphragme de Lyot

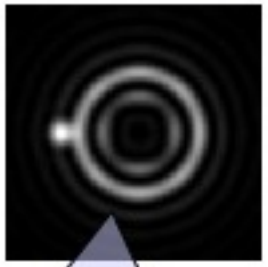
Image coronographique finale

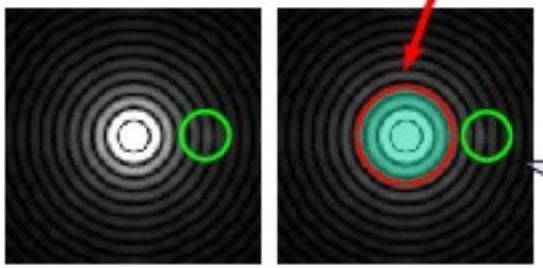


cache



« Pupille coronographique »

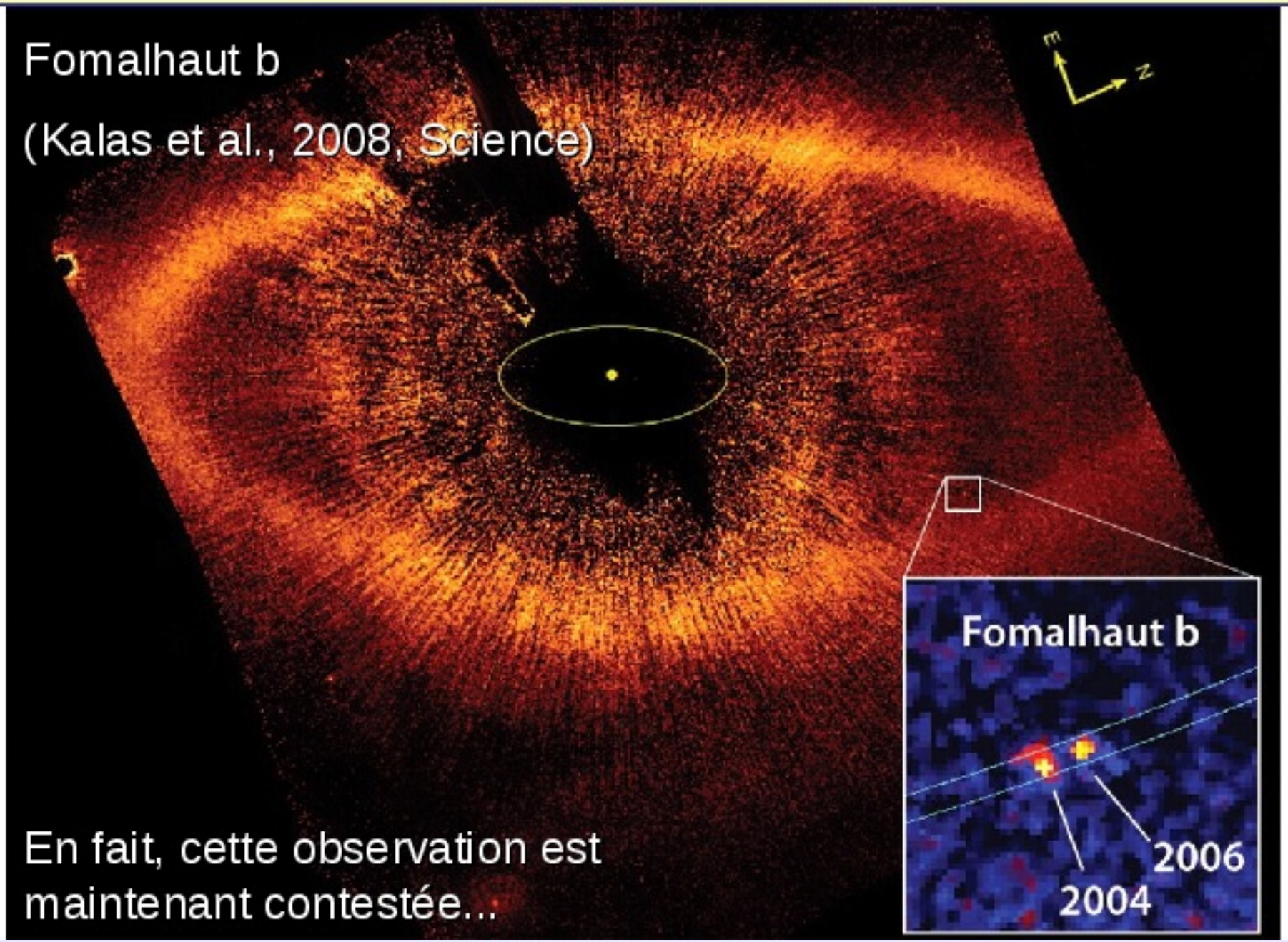




Là il y a un objet, mais il est trop faible pour être détecté…

On a très fortement atténué l'intensité lumineuse de l'étoile sur l'axe… On parle du pouvoir d'extinction du coronographe

EXOPLANÈTES

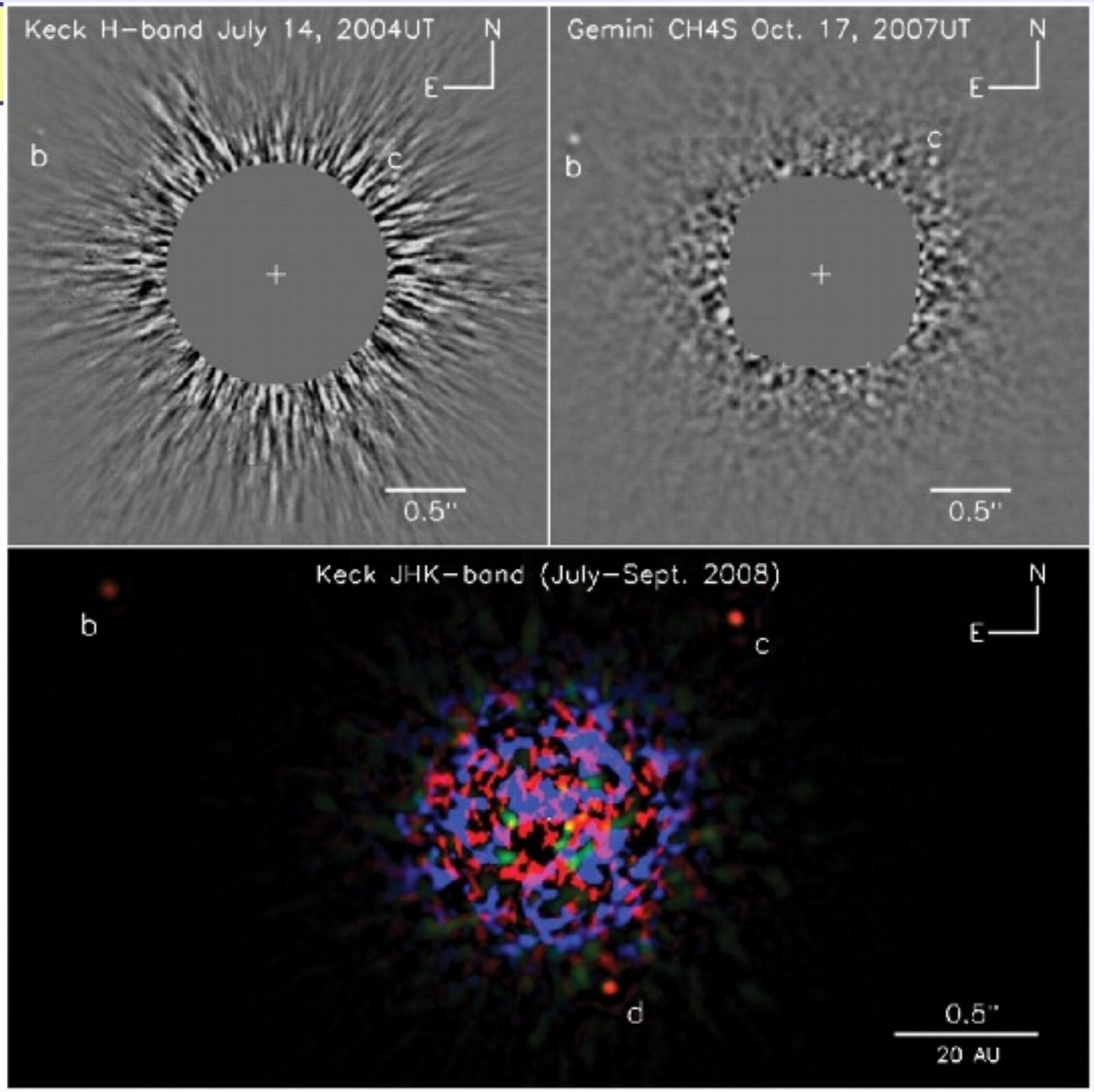


HR8799 :

3 planètes géantes à 24, 38, et 68 UA de l'étoile.

(Marois et al., 2008, Science)

+ 1 quatrième confirmée fin novembre 2010



EXOPLANÈTES

Il y en a ! Giordano Bruno avait raison.

C'est une révolution dans notre conception de l'Univers.

1) héliocentrisme (Copernic, 1543)

2) univers îles, galaxies différentes (Hubble, 1925)

3) exoplanètes (Mayor & Queloz, 1995)

4) vie extraterrestre ?

EXOPLANÈTES

Formule de Drake (1971)

ou comment fractionner notre ignorance à propos du Nombre de civilisations, ayant développé une technologie électromagnétique, actuellement présentes dans notre Galaxie:

$$N = R\ f\ L$$

R = rythme annuel moyen de formation d'étoiles de type solaire dans la Galaxie (de l'ordre de 1 par an)

f = fraction des étoiles de type solaire de la Galaxie abritant un système planétaire, abritant une vie intelligente, ayant développé des moyens de télécommunications électromagnétiques

L = durée durant laquelle ces civilisations restent détectables

(L > 100 ans, à en juger par l'Humanité)

EXOPLANÈTES

La formule de Drake, c'est un peu multiplier l'infini par zéro...

f = fraction des étoiles de type solaire de la Galaxie abritant un système planétaire, abritant une vie intelligente ayant développé des moyens de télécommunications électromagnétiques.

$$f = f_{planètes} * n_{habitables} * f_{vie} * f_{intel} * f_{com}$$

R, f_p, n_{hab} = facteurs astronomiques, mieux connus.

f_{vie}, f_{intel} = facteurs biologiques.

f_{com}, L = facteurs sociologiques...

Méthodes de détection des exoplanètes
RESULTATS

Octobre 1995:

Annonce de la découverte de la première exoplanète orbitant autour de l'étoile 51 Peg par Mayor et Queloz (Observatoire de Genève), à l'Observatoire de Haute Provence, sur le télescope de 1.93 m au moyen de la spectroscopie Doppler

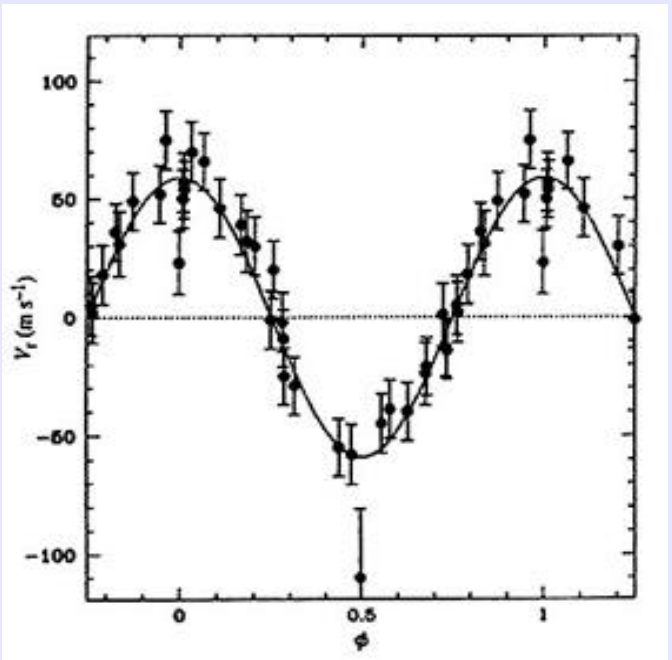




Méthodes de détection des exoplanètes
RESULTATS

Octobre 1995:
Annonce de la découverte de la première exoplanète orbitant autour de l'étoile 51 Peg par Mayor et Queloz (Observatoire de Genève), à l'Observatoire de Haute Provence, sur le télescope de 1.93 m au moyen de la spectroscopie Doppler

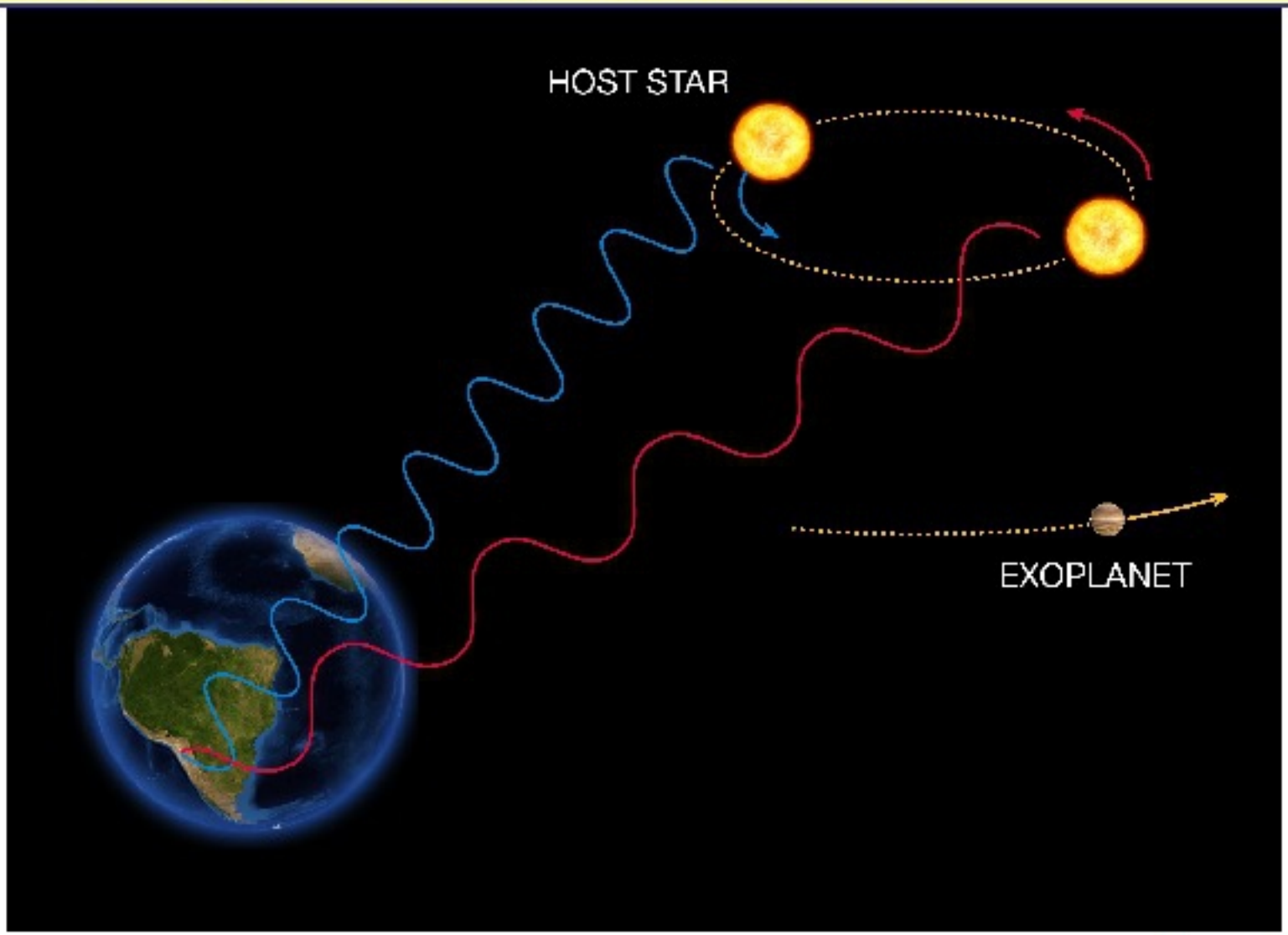




P = 4.23 j !!
M_{pl} > 0.45 M_J !!

→ " Jupiters chauds"

EXOPLANÈTES : I a) Vélocimétrie

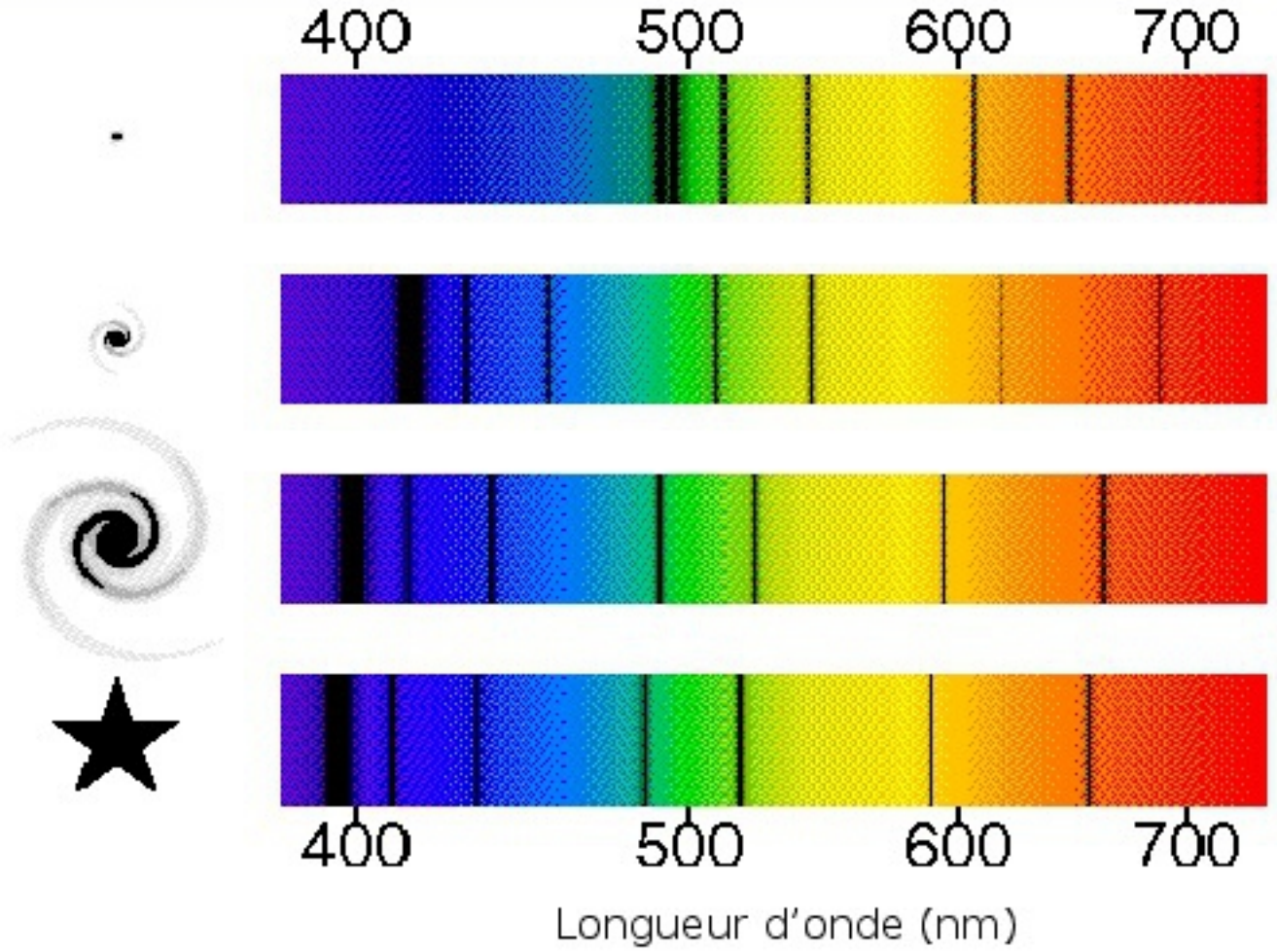


The Radial Velocity Method

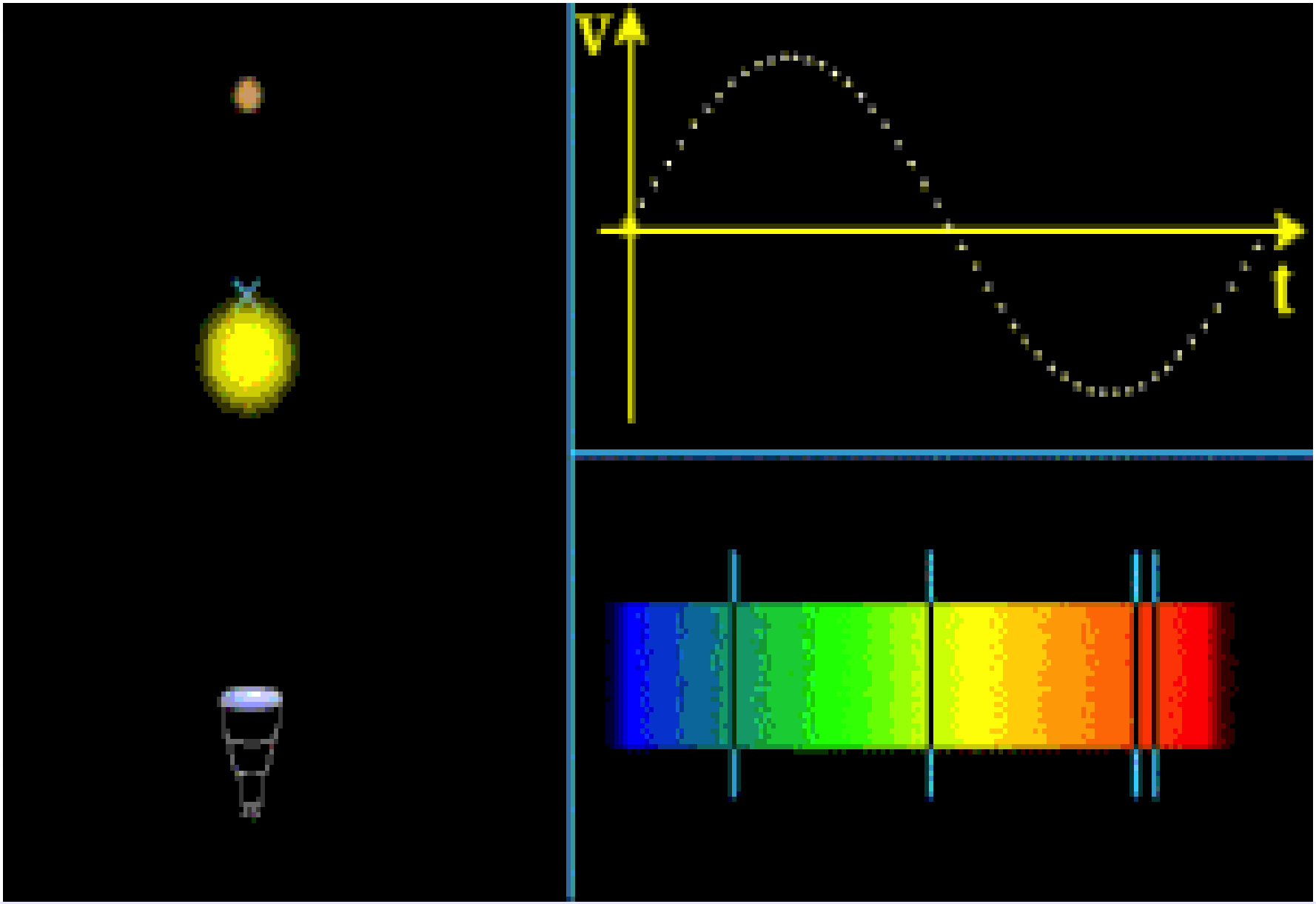
ESO Press Photo 22c/07 (25 April 2007)

EXOPLANÈTES : I a) Vélocimétrie

Effet Doppler :

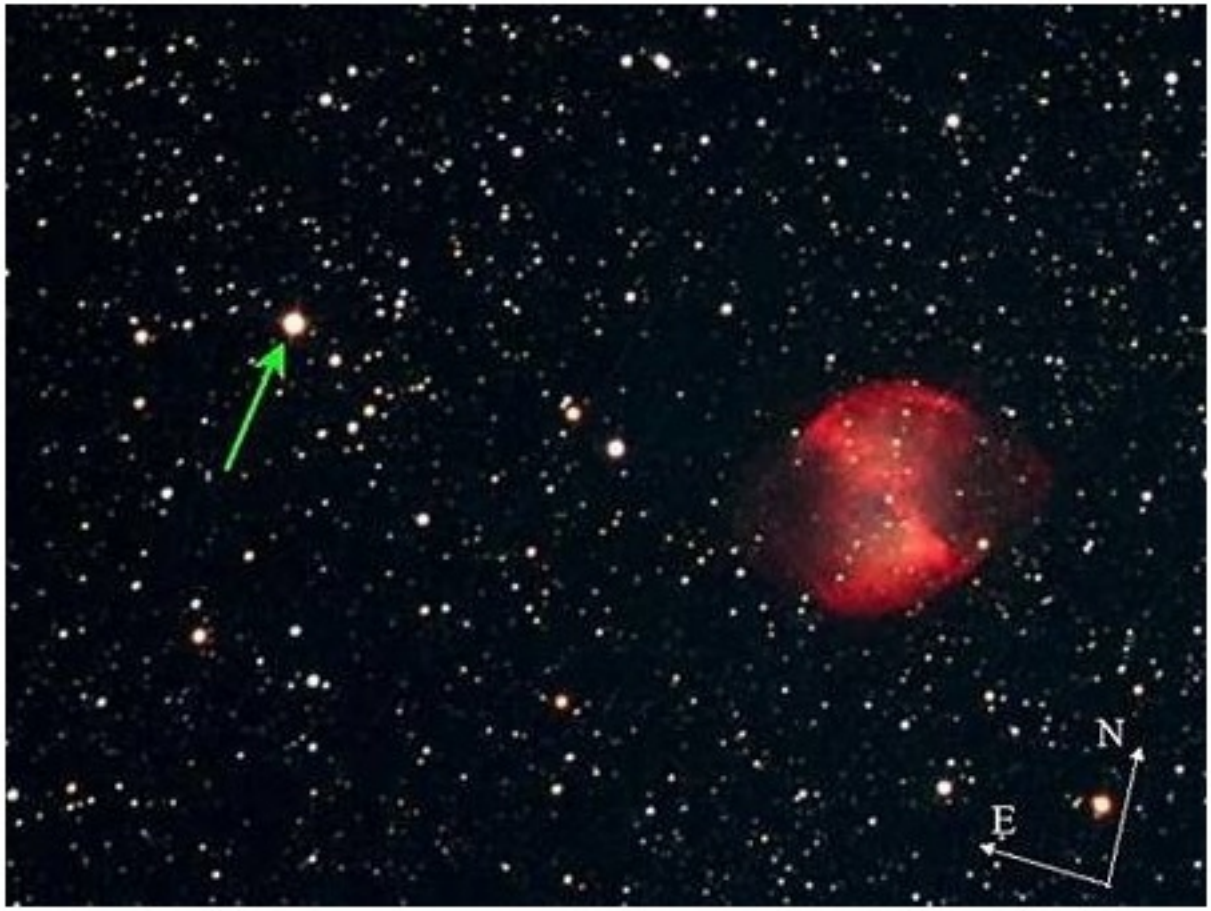


EXOPLANÈTES : I a) Vélocimétrie



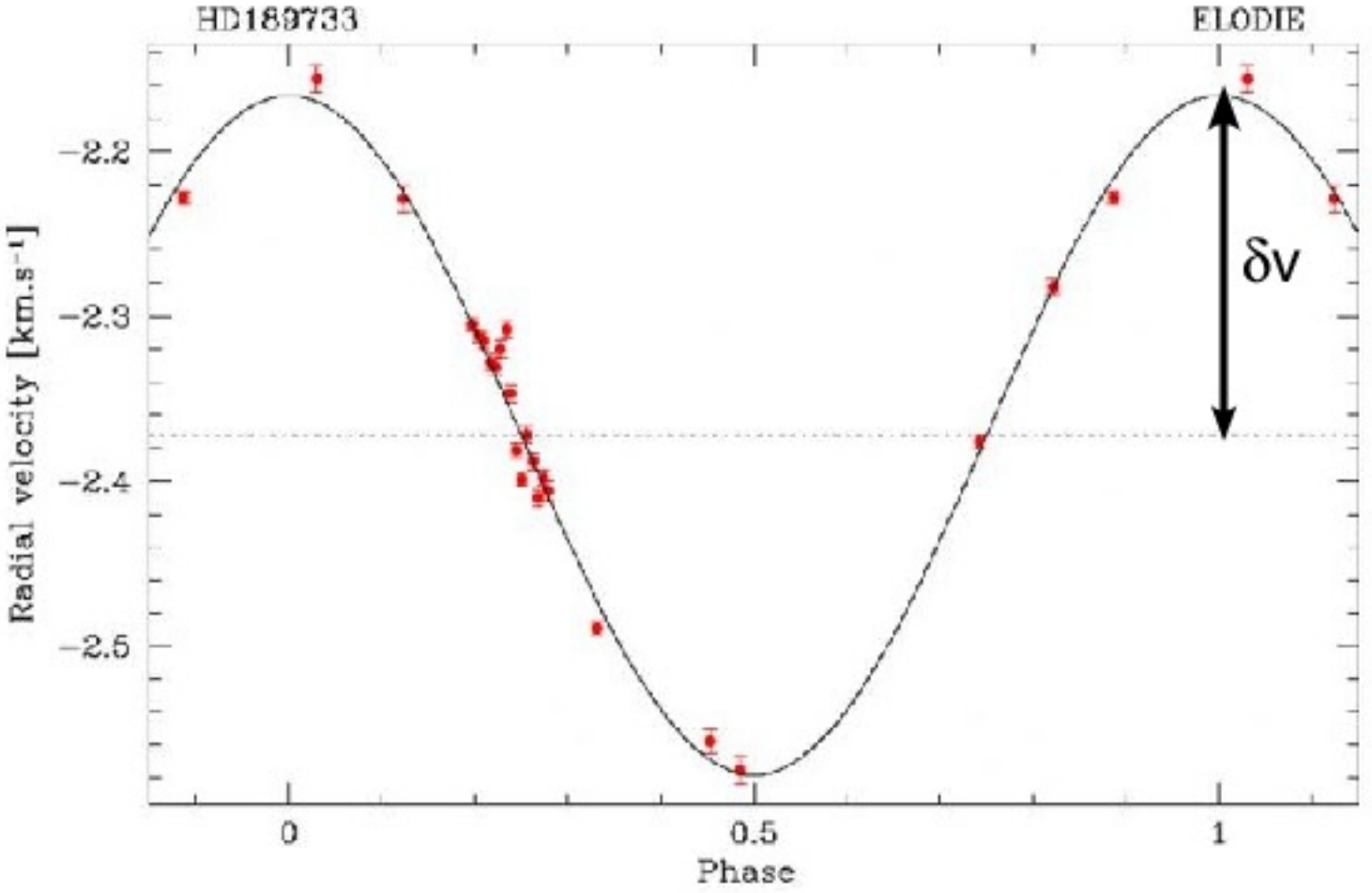
EXOPLANÈTES : I a) Vélocimétrie

Exemple : L'étoile HD189733



EXOPLANÈTES : I a) Vélocimétrie

Exemple : HD189733



EXOPLANÈTES : I a) Vélocimétrie

Le **demi grand axe** a est donné par la période :

$$T^2 = (4\pi^2/GM_*)a^3$$

La **masse $q=M_p/M_*$** est donnée par l'amplitude δv :

La vitesse de la planète est : $v_p = a\Omega = (GM_*/a)^{1/2}$

Donc la vitesse de l'étoile autour du centre de gravité est, par conservation de la quantité de mouvement : $v_* = - q\, v_p$

D'où $q = \delta v\, (a/GM_*)^{1/2}$.

<u>Application numérique :</u> (rappel: $M_{Soleil}=2.10^{30}$ kg)

Pour Jupiter, $q=10^{-3}$, a=5,2 UA, $\delta v = 13$ m.s^{-1}.

Pour la Terre, $q=3.10^{-6}$, a=1UA, $\delta v = 0,09$ m.s^{-1}.

EXOPLANÈTES : I a) Vélocimétrie

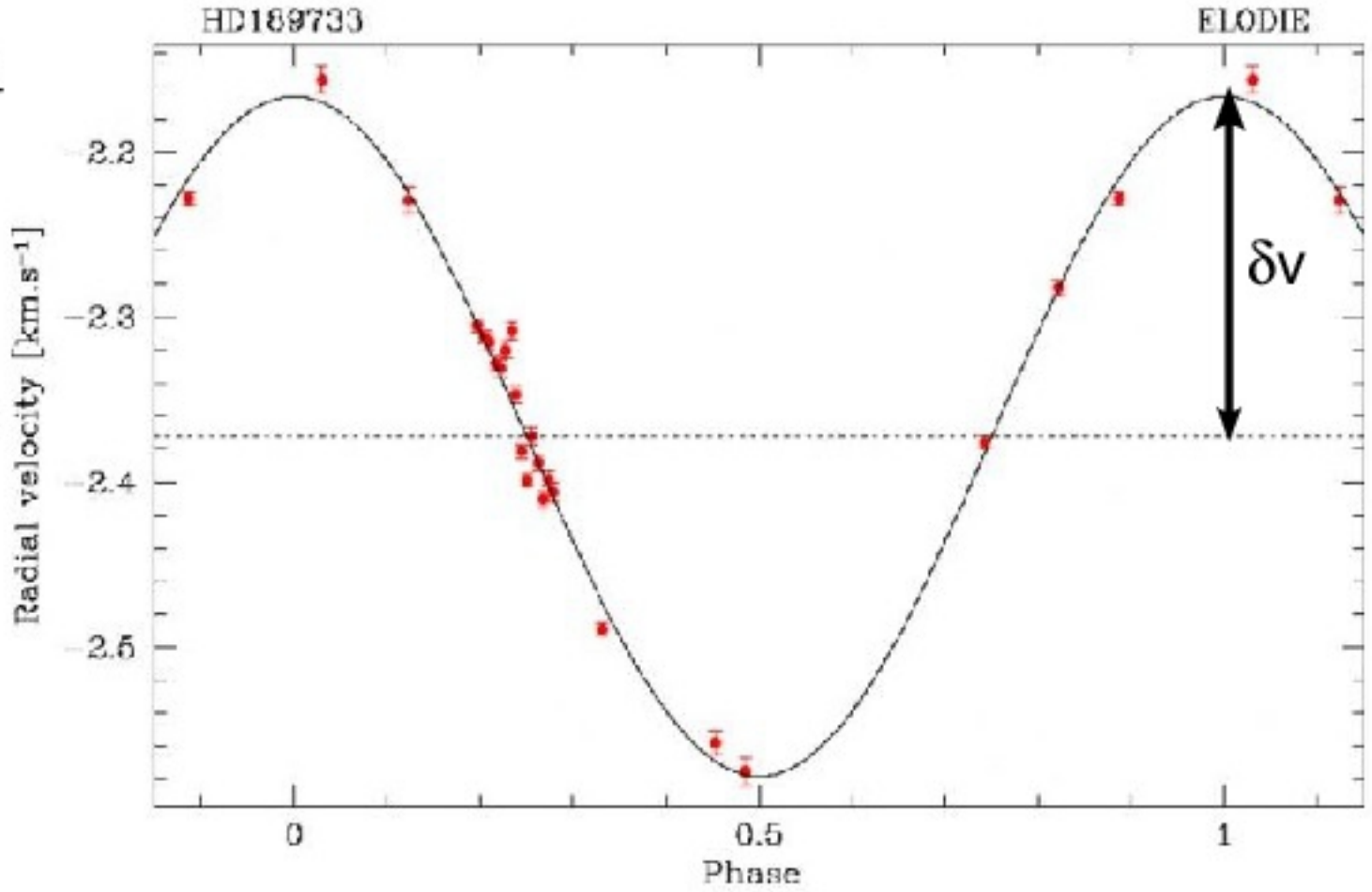
HD189733b :

On donne

T=2,218 jours,

$M_* = 1{,}6 \times 10^{30}$ kg.

Trouvez q, M_p.



EXOPLANÈTES : I a) Vélocimétrie

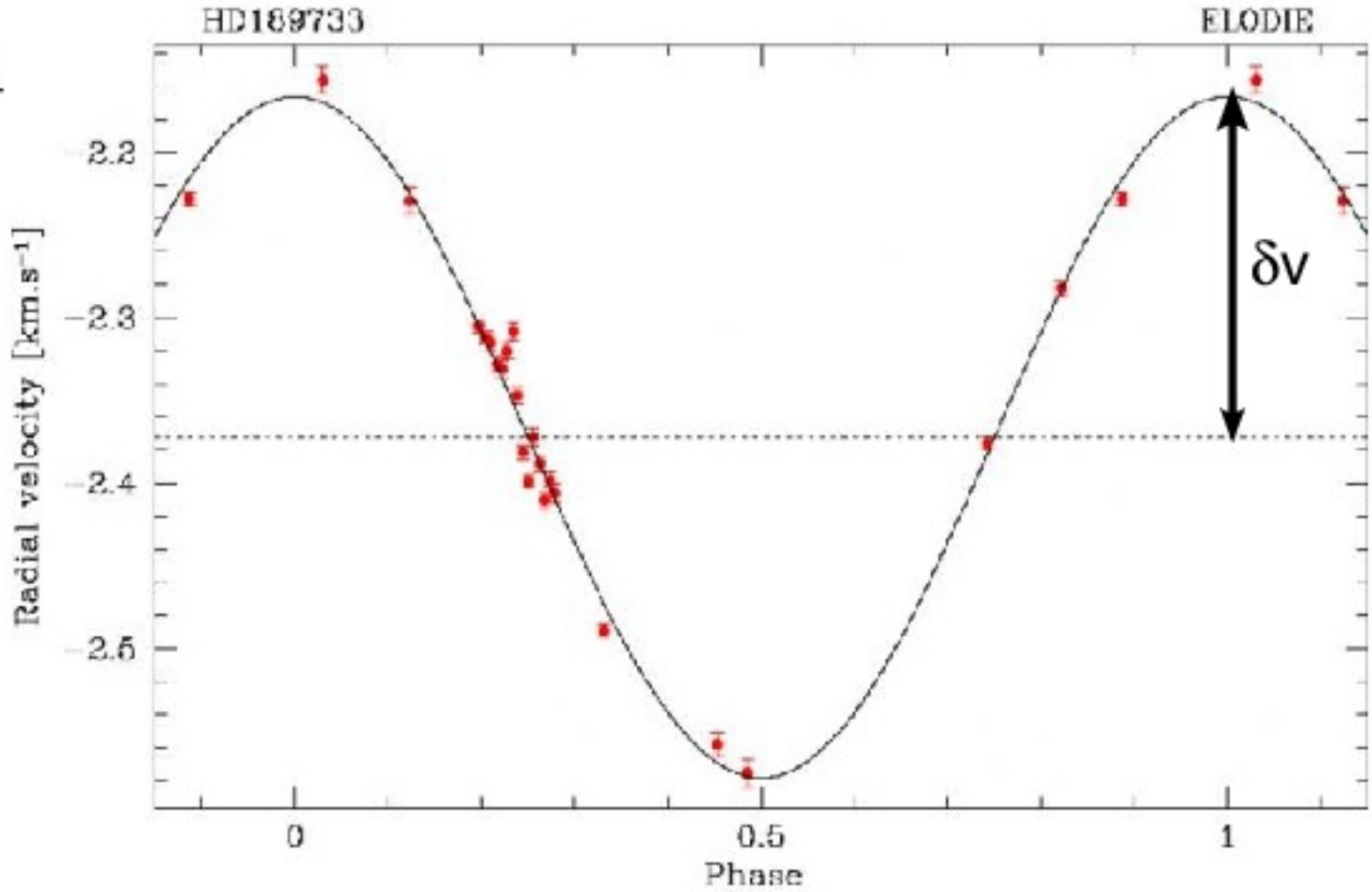
HD189733b :

On donne

T=2,218 jours,

$M_* = 1{,}6 \times 10^{30}$ kg.

Trouvez q, M_p.



Solution:

$a = 4{,}64 \times 10^9$ m = 0.031 AU . $\delta v = \sim 200$ m.s^{-1}.

Donc $q = 1{,}3 \times 10^{-3}$, d'où $M_p = 1{,}1\ M_{Jup}$.

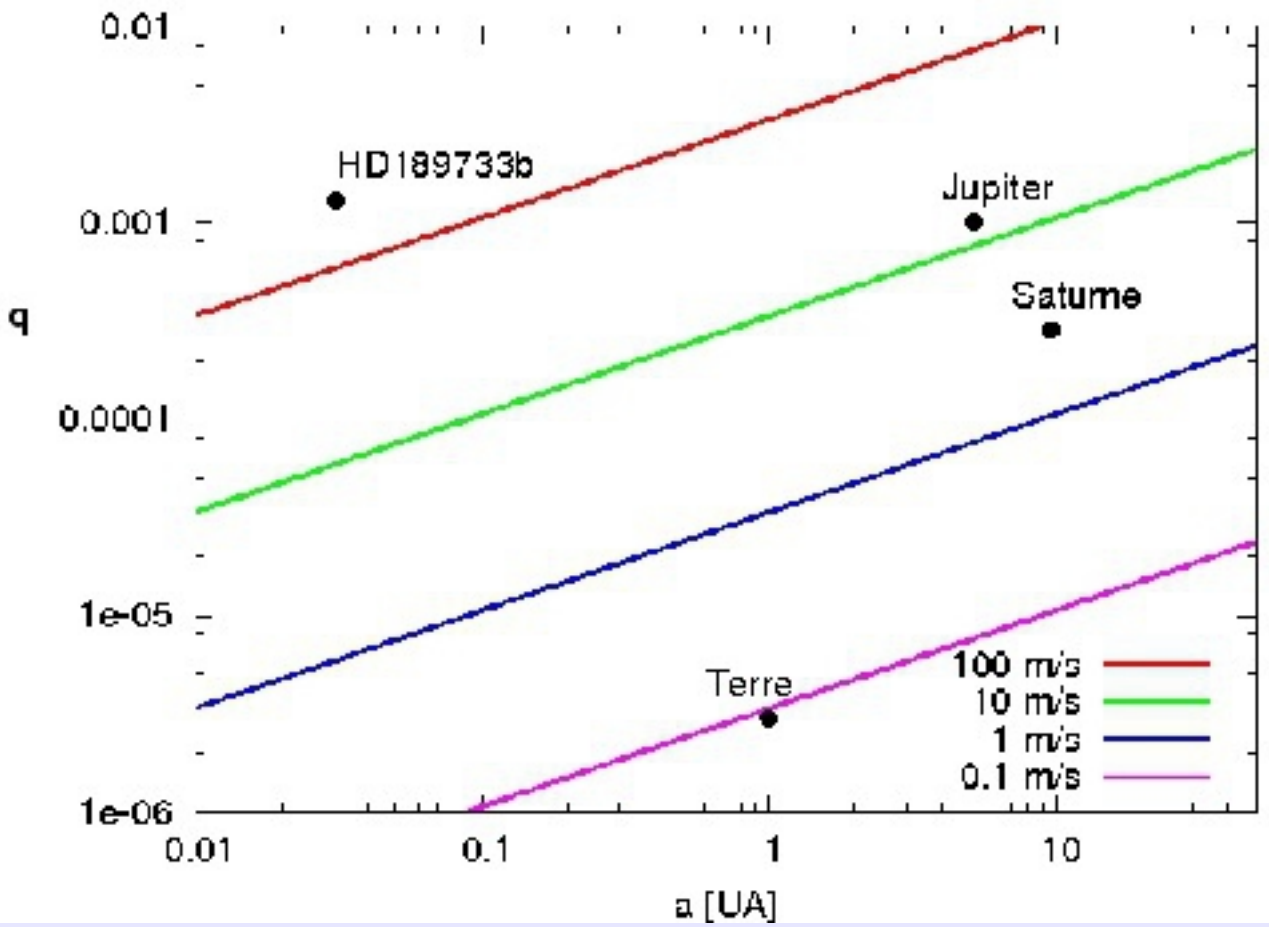
EXOPLANÈTES : I a) Vélocimétrie

On mesure actuellement des différences de vitesse de l'ordre de 1 m/s ! C'est une différence en λ inférieure à la largeur de la raie. On rappelle que $\delta\lambda = \lambda_0 \, v/c$.

<u>Détectabilité :</u>

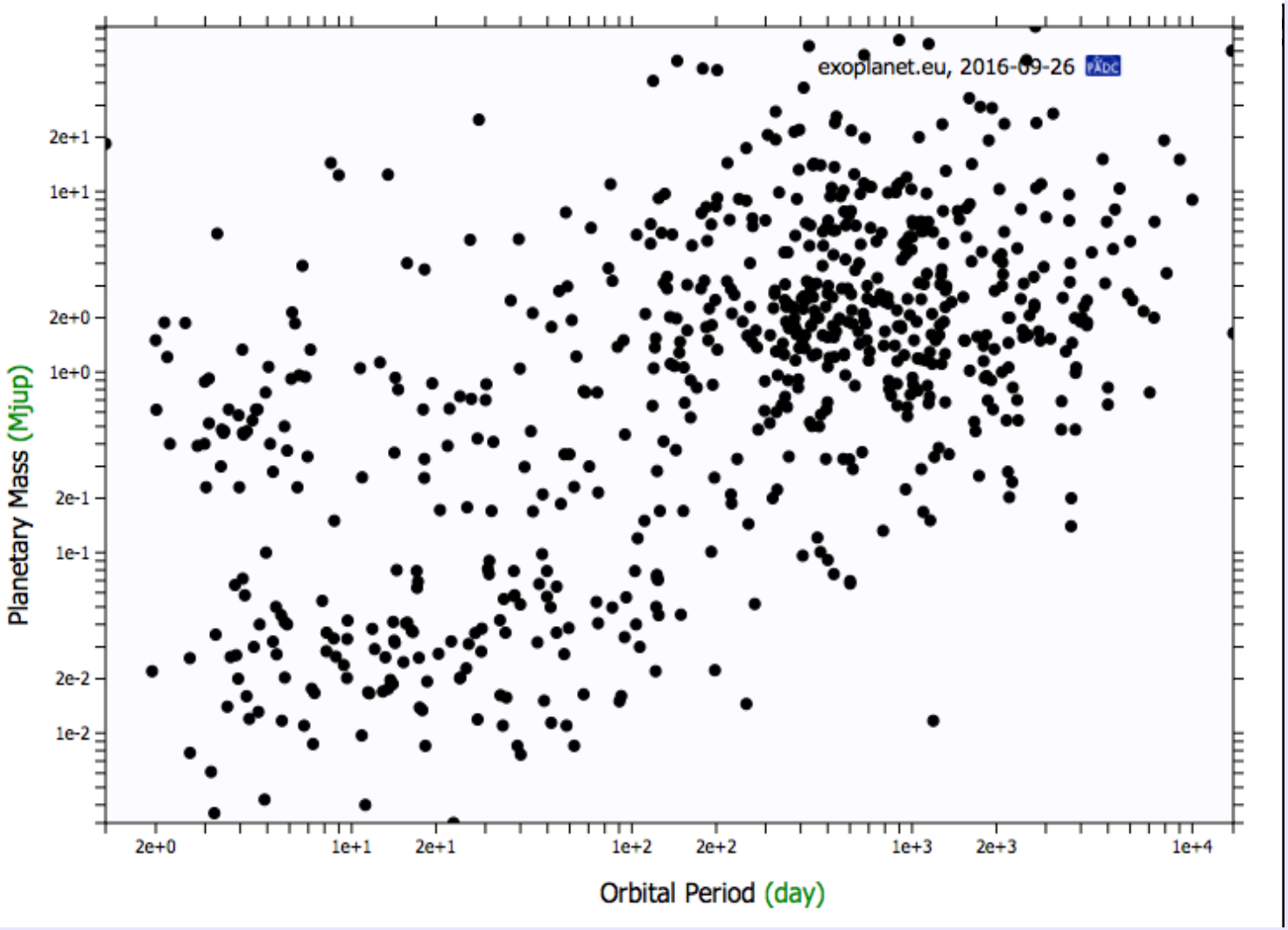
$\delta v = q \, (GM_*/a)^{1/2}$.

Il est bien plus facile de détecter une planète géante proche de son étoile.



EXOPLANÈTES : I a) Vélocimétrie

Détections : **686** planètes au **26/09/2016** ..



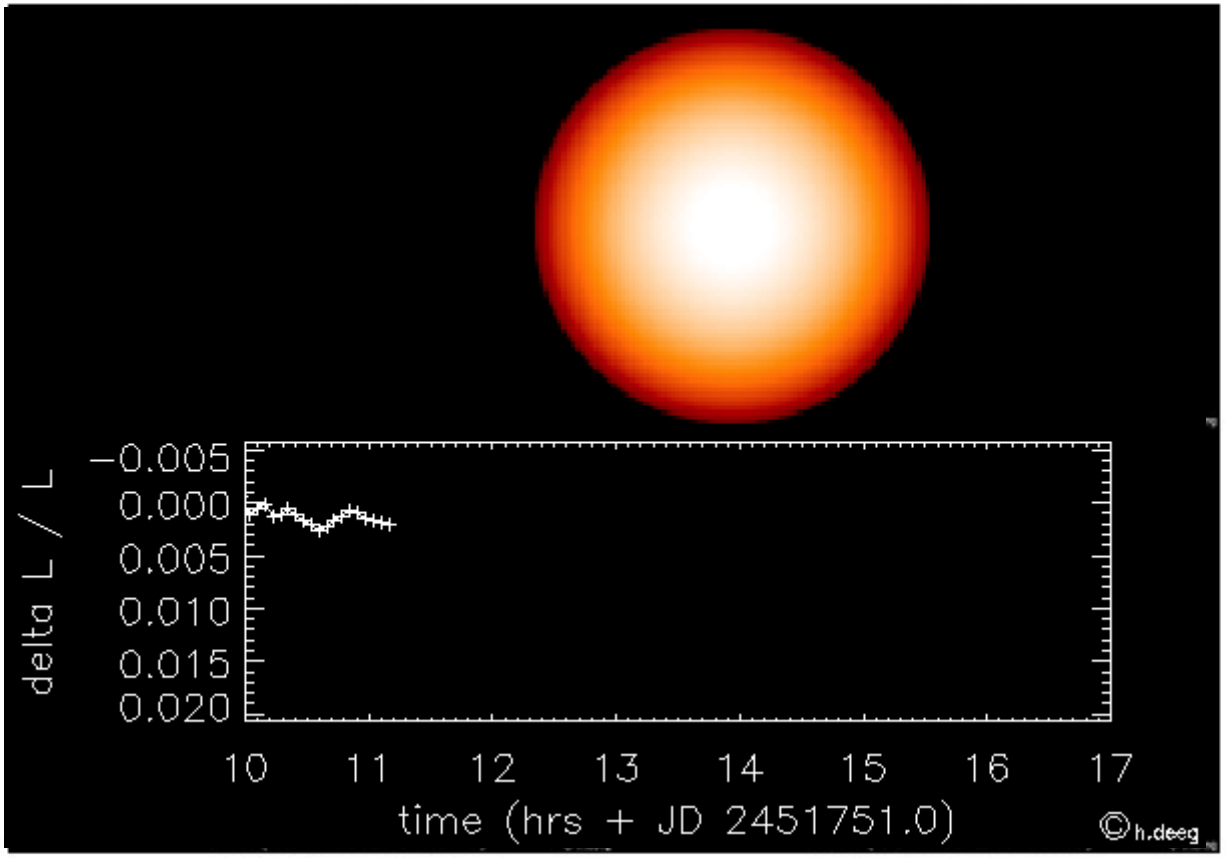
EXOPLANÈTES : I b) Transit



EXOPLANÈTES : I b) Transit

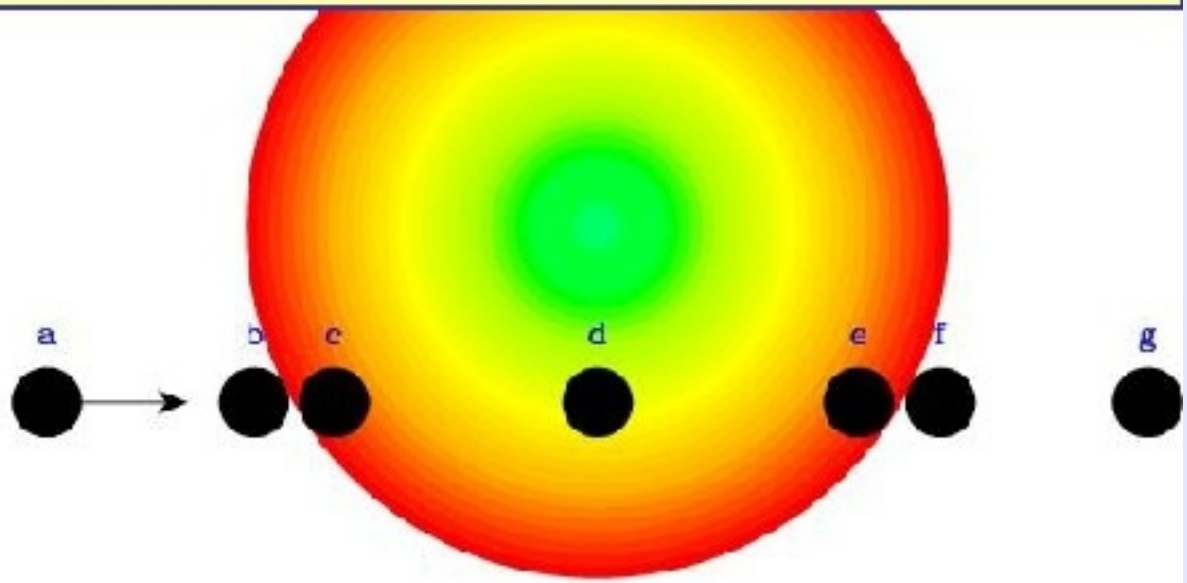
Comme Vénus devant le soleil en 2004, parfois, une exoplanète passe devant son étoile, c'est un **transit**.

On observe alors une baisse de luminosité de l'étoile :

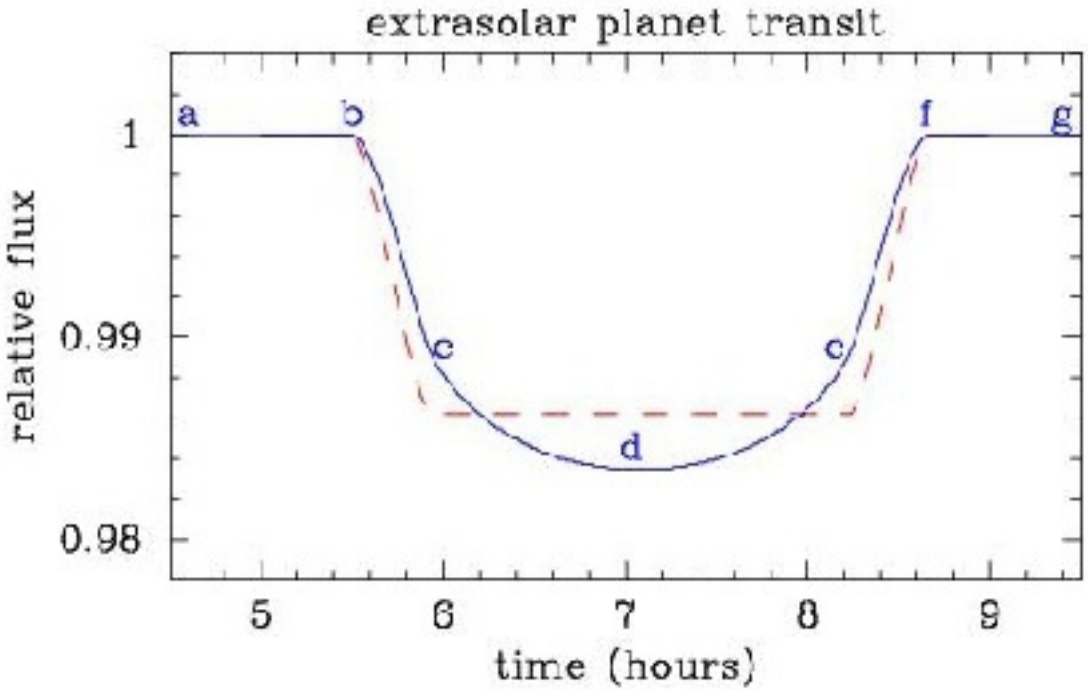


EXOPLANÈTES : I b) Transit

Assombrissement centre-bord : le fond du transit n'est pas plat.

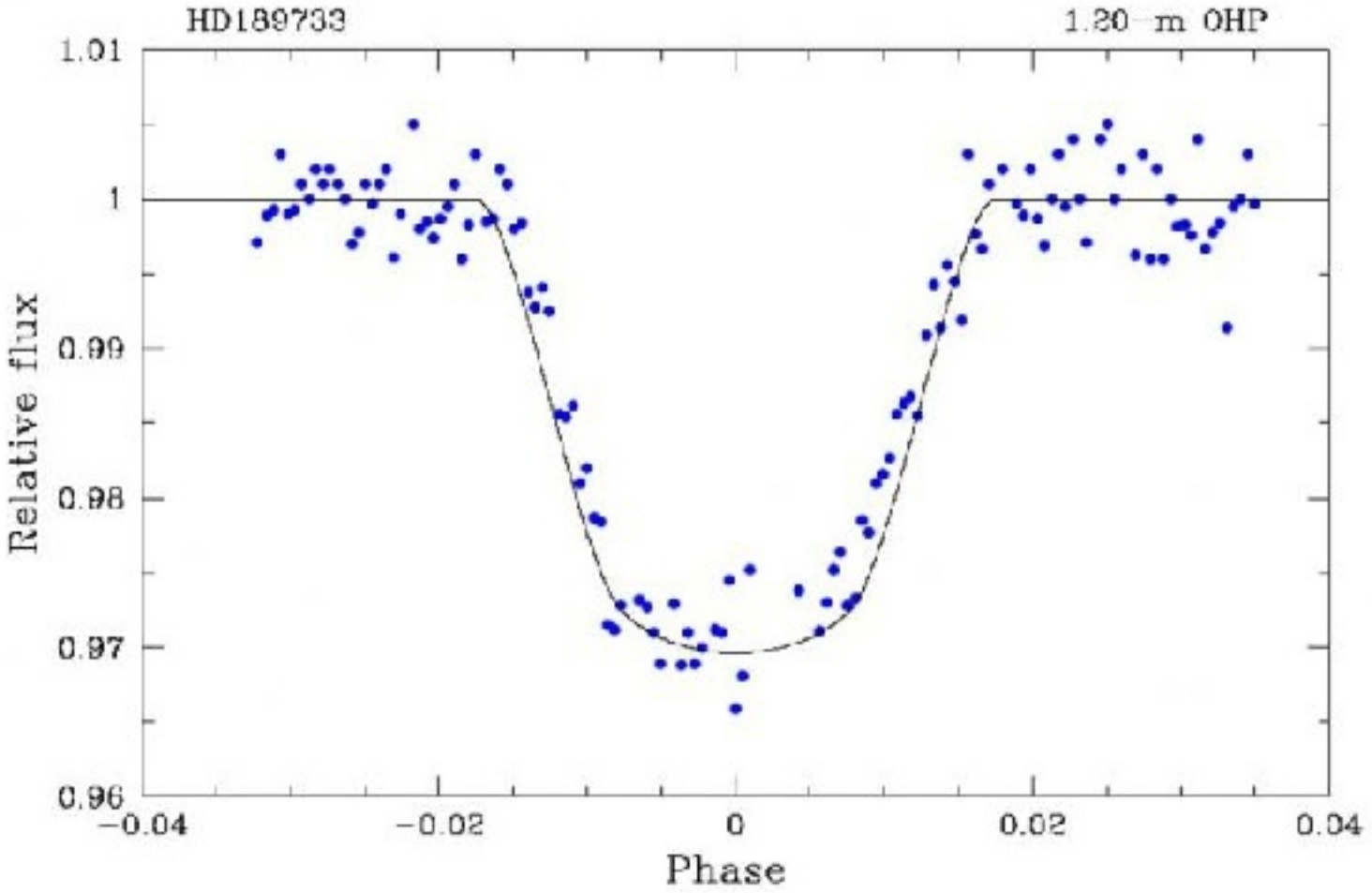


Un transit dure quelques heures.



EXOPLANÈTES : I b) Transit

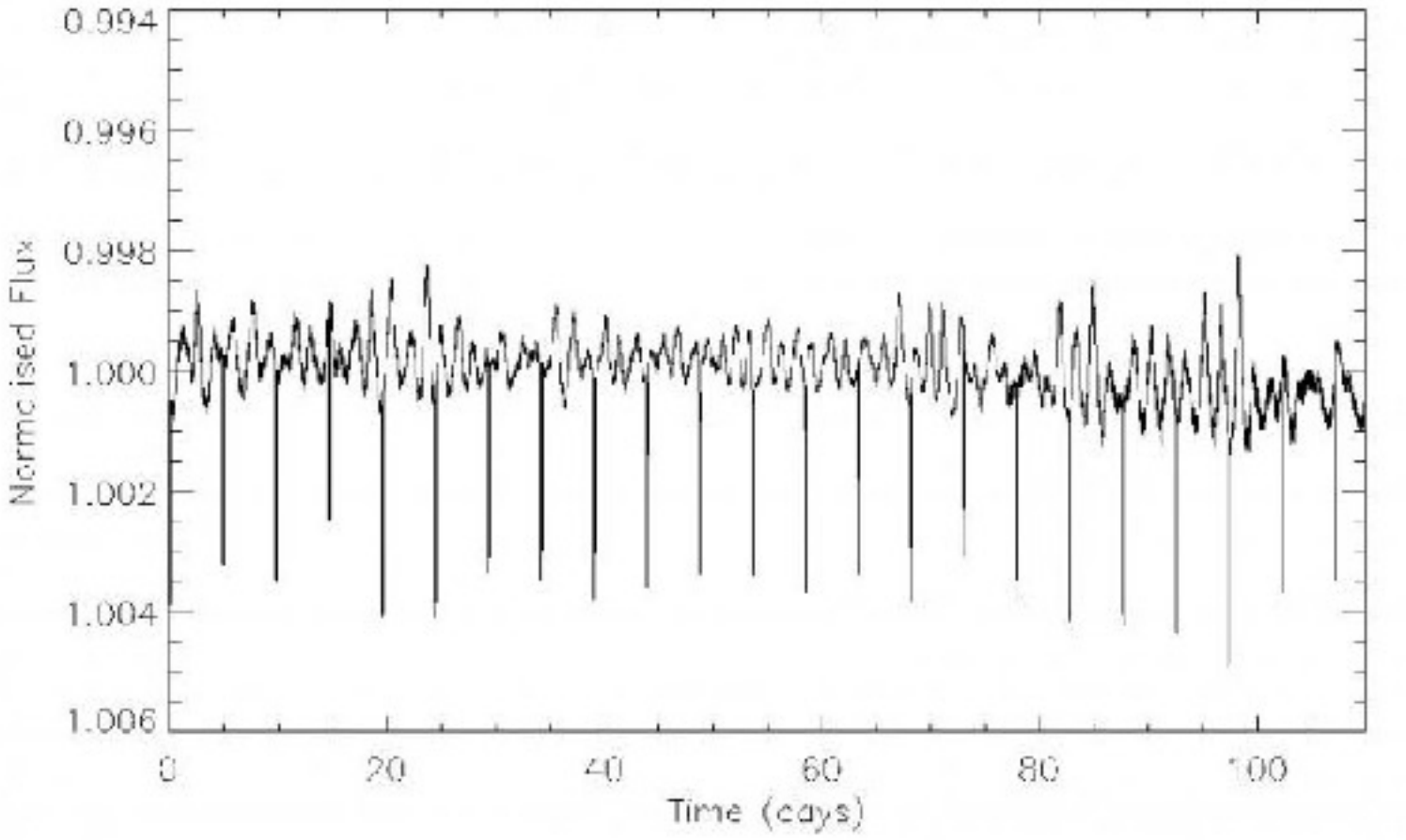
Ex: HD 189733b, vue en vitesse radiale, a aussi un transit :



EXOPLANÈTES : I b) Transit

Un transit planétaire doit être périodique.

Ex: courbe de lumière d'une étoile observée par Corot :

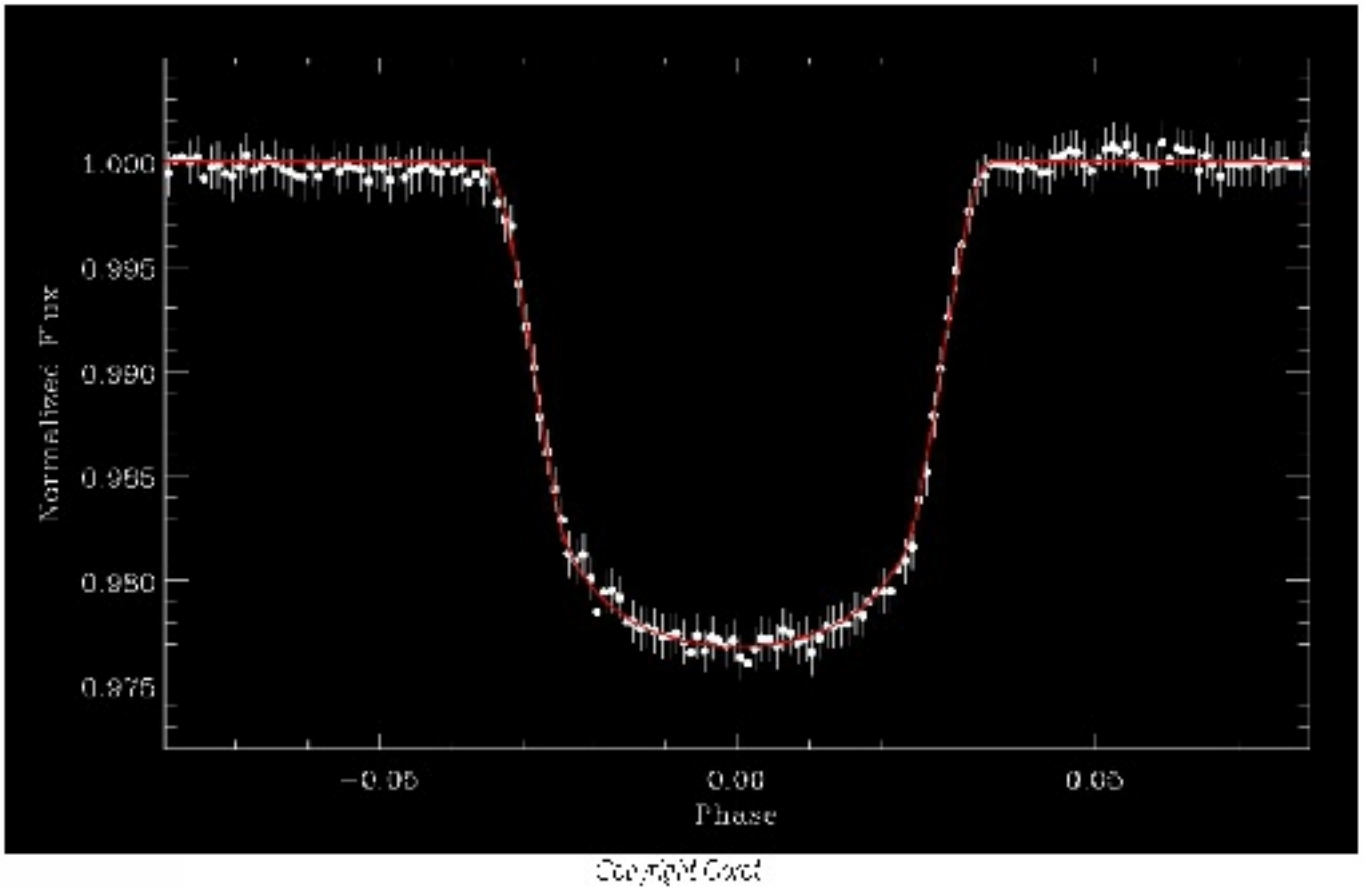


EXOPLANÈTES : I b) Transit

Corot : COnvection ROtation, et Transits planétaires.

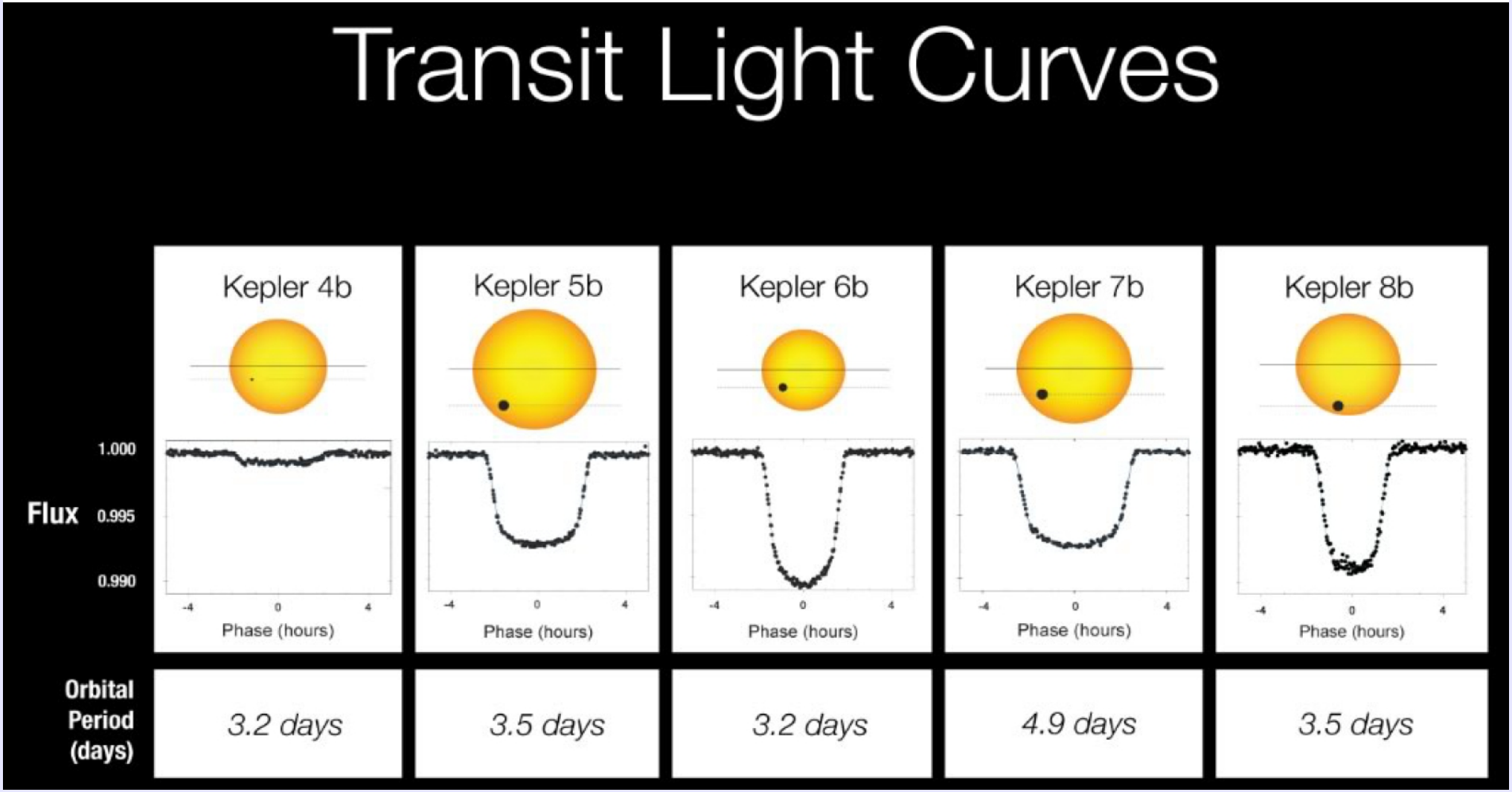
satellite du CNES (70%), lancé le 26/12/06, qui suit les variations de luminosités de milliers d'étoiles pendant plusieurs mois consécutifs.

Ex: la première exoplanète détectée par Corot:



EXOPLANÈTES : I b) Transit

KEPLER (NASA), launched on 7/3/2009, now degraded.
~4000 planet candidates !
But not all confirmed, faint host stars...



EXOPLANÈTES : I b) Transit

Avantages du transit :

L'amplitude du transit donne le rayon de la planète :

$$\delta L/L = \pi r_p^2 / \pi r_*^2 = (r_p/r_*)^2$$

La période du transit donne le demi-grand axe (loi de Képler).

La vitesse radiale donne la masse.

On en déduit donc la densité (moyenne) de la planète !

EXOPLANÈTES : I b) Transit

<u>Avantages du transit :</u>

Surprises possibles...

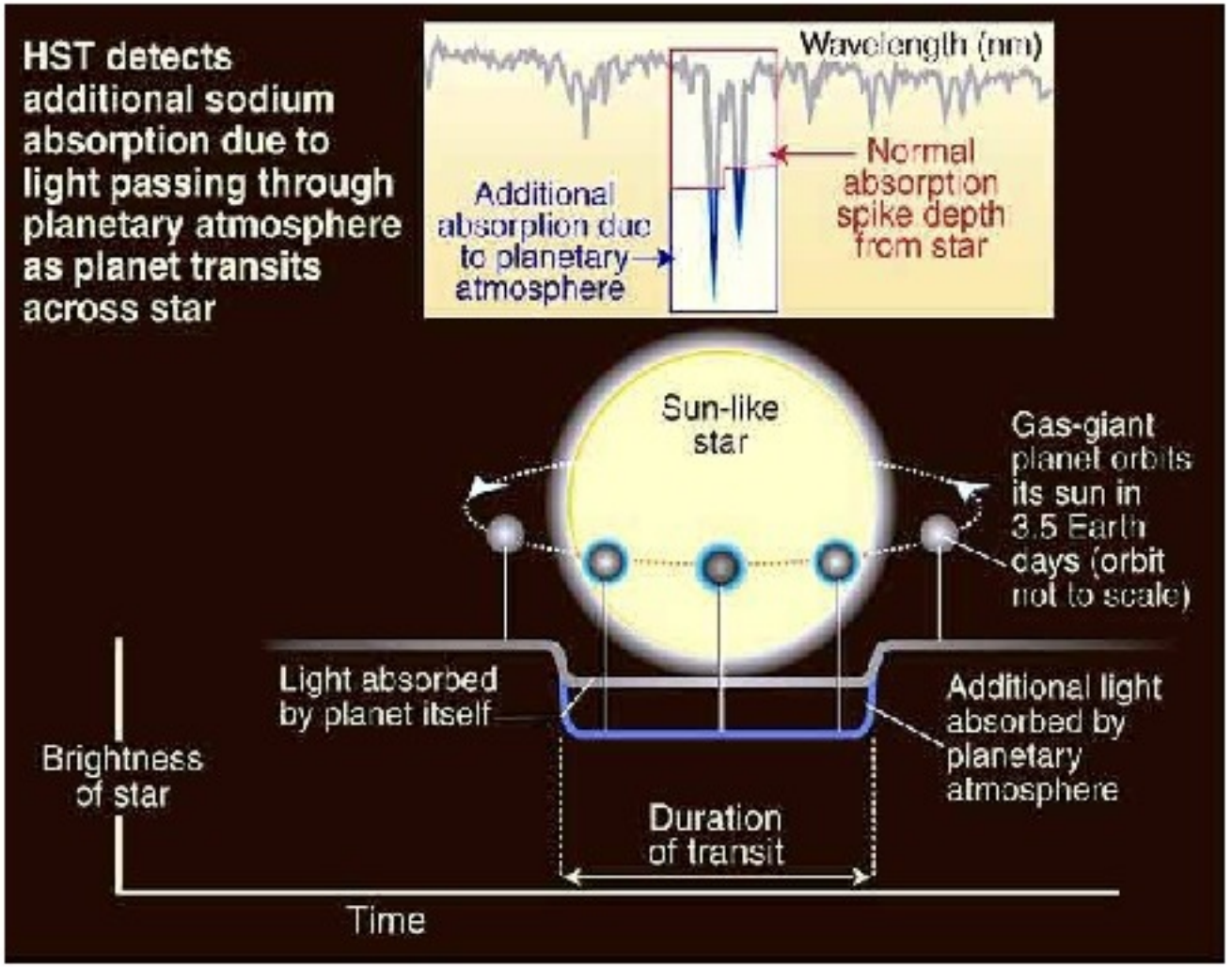
Ex: HD209458b :
grosse absorption en Lyα
lors du transit, comme si
une atmosphère d'H
de ~r_*/3 entourait la planète.



EXOPLANÈTES : I b) Transit

<u>Avantages du transit :</u>

Si l'atmosphère de la planète donne des raies d'absorbption, composition !



EXOPLANÈTES : I b) Transit

Autres projets de détection de transits :

Kepler (satellite de la NASA), lancé le 7/3/09.

A-STEP : Antartica Search for Transiting Extrasolar Planets, télescope automatique de 40cm au Dôme C, à Concordia.

PLATO : PLAnetary Transits and Oscillations of stars

Future M3 mission of ESA (launch 2024).
Aims at bright stars.

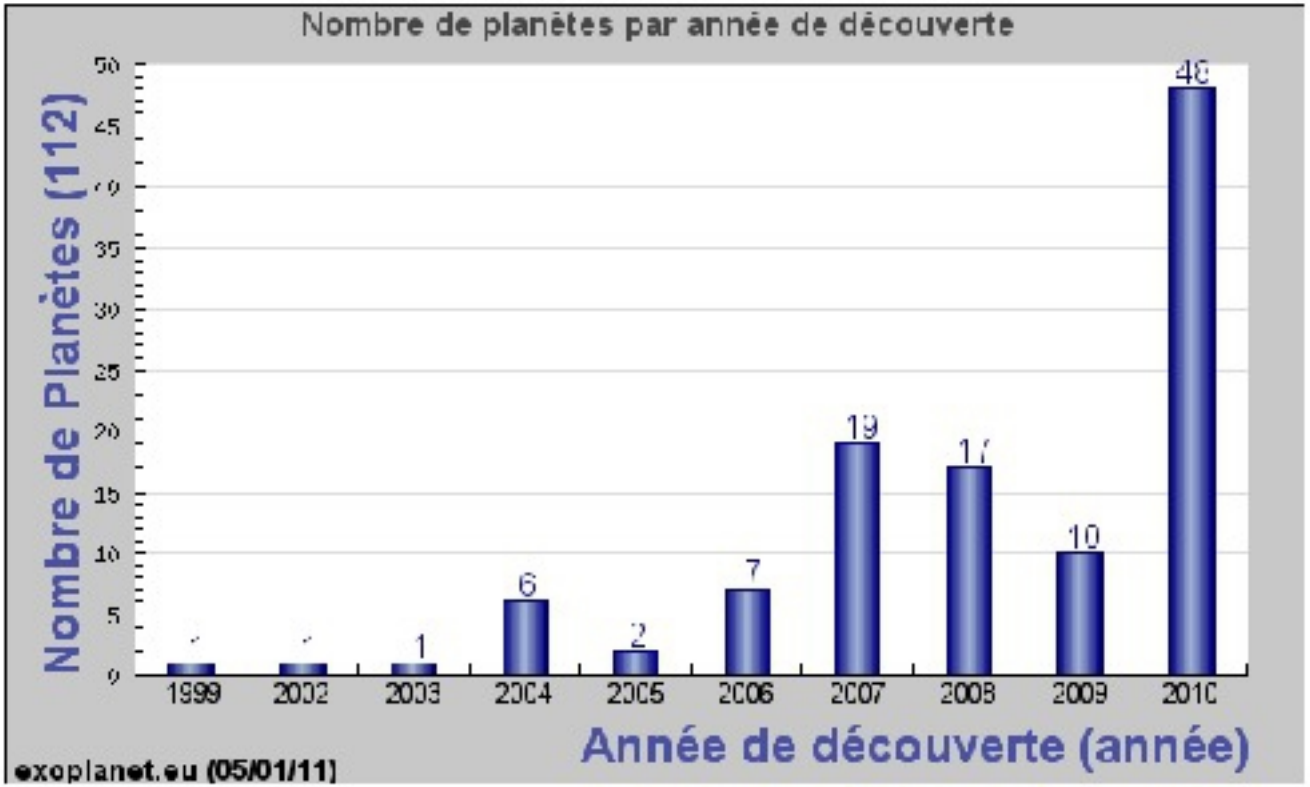
esa
European Space Agency
Agence spatiale européenne

EXOPLANÈTES : I b) Transit

Détections :

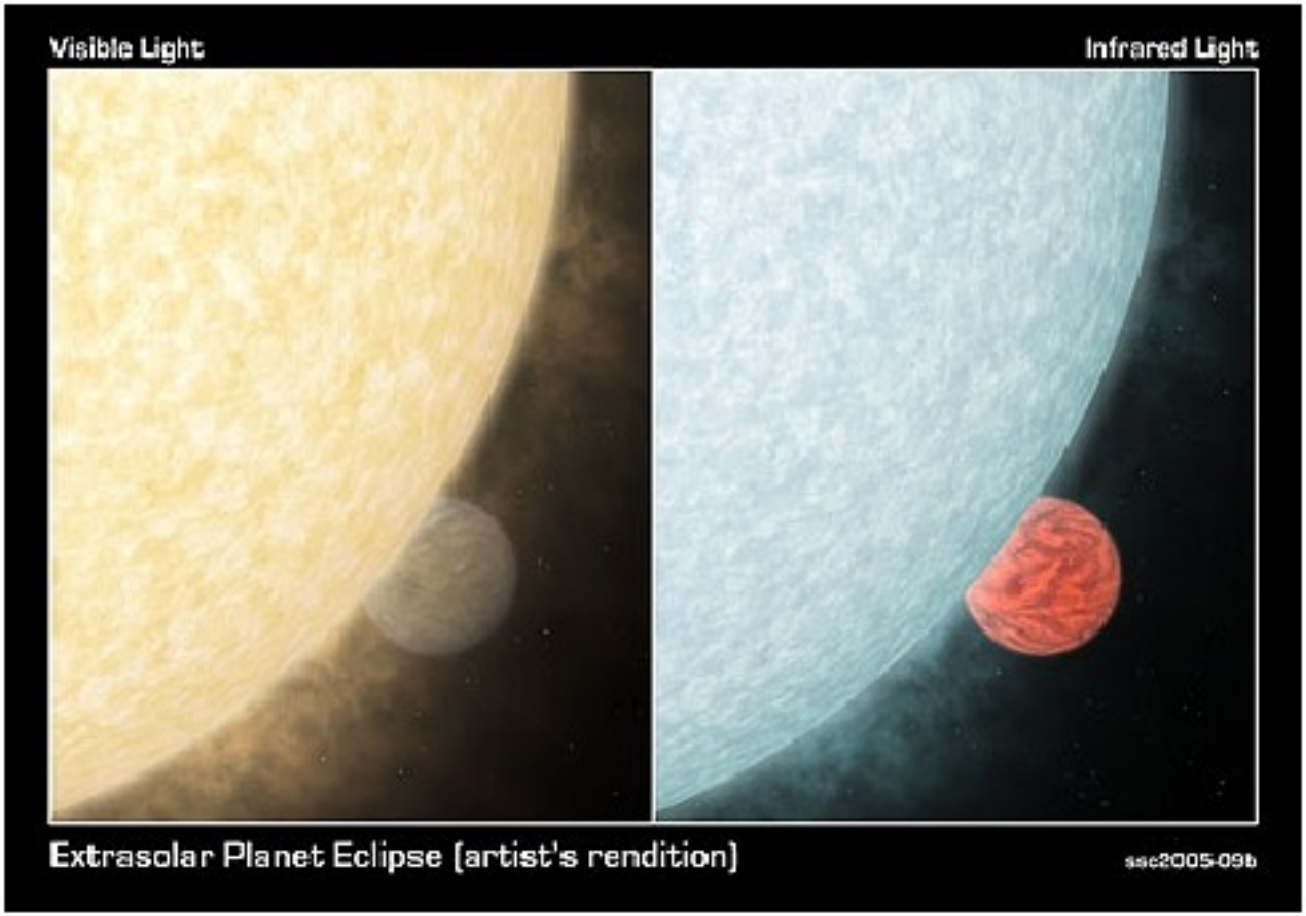
112 planètes au 1/1/11 détectées par transit, et confirmées par vélocimétrie. 288 planètes au 30 Septembre 2013

Encore des centaines à venir...

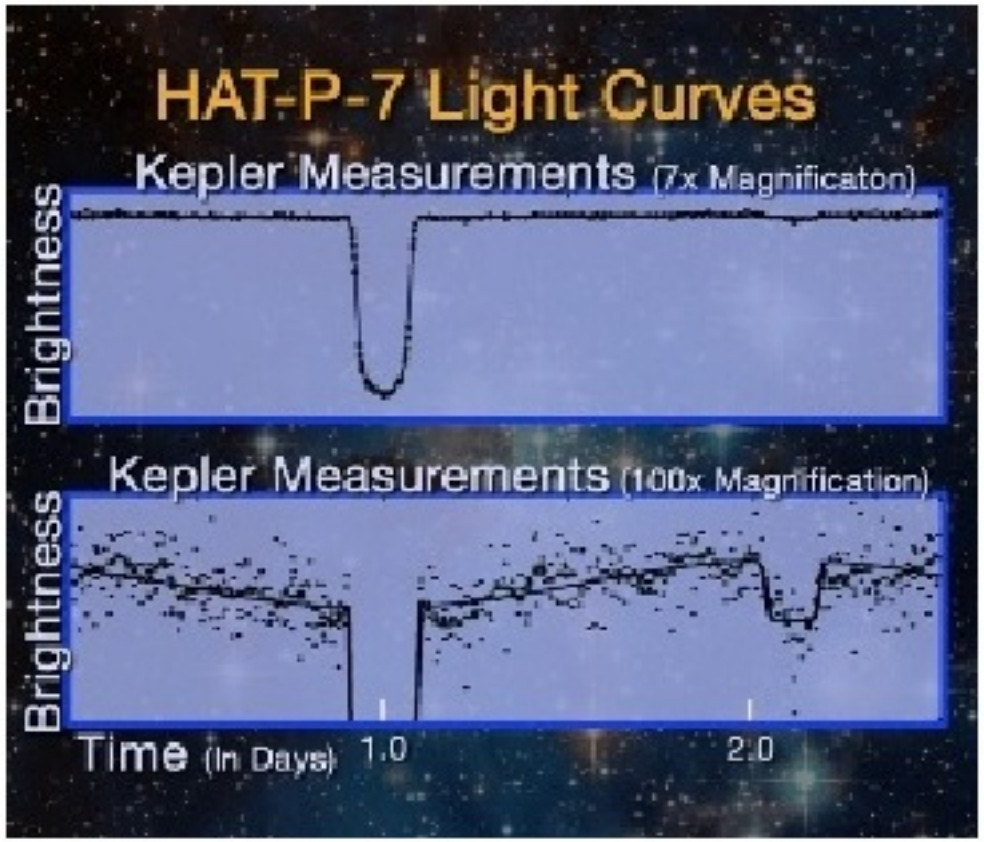


EXOPLANÈTES : I b') Transit secondaire

Quand la planète passe derrière l'étoile, sa luminosité disparait. Par soustraction, on en déduit (presque) le spectre de la planète, sa température...



EXOPLANÈTES : I b') Transit secondaire



On en déduit la brillance de la planète, donc sa température...

EXOPLANÈTES

INTRODUCTION

Existence
Équation de Drake

I Méthodes de détection indirectes

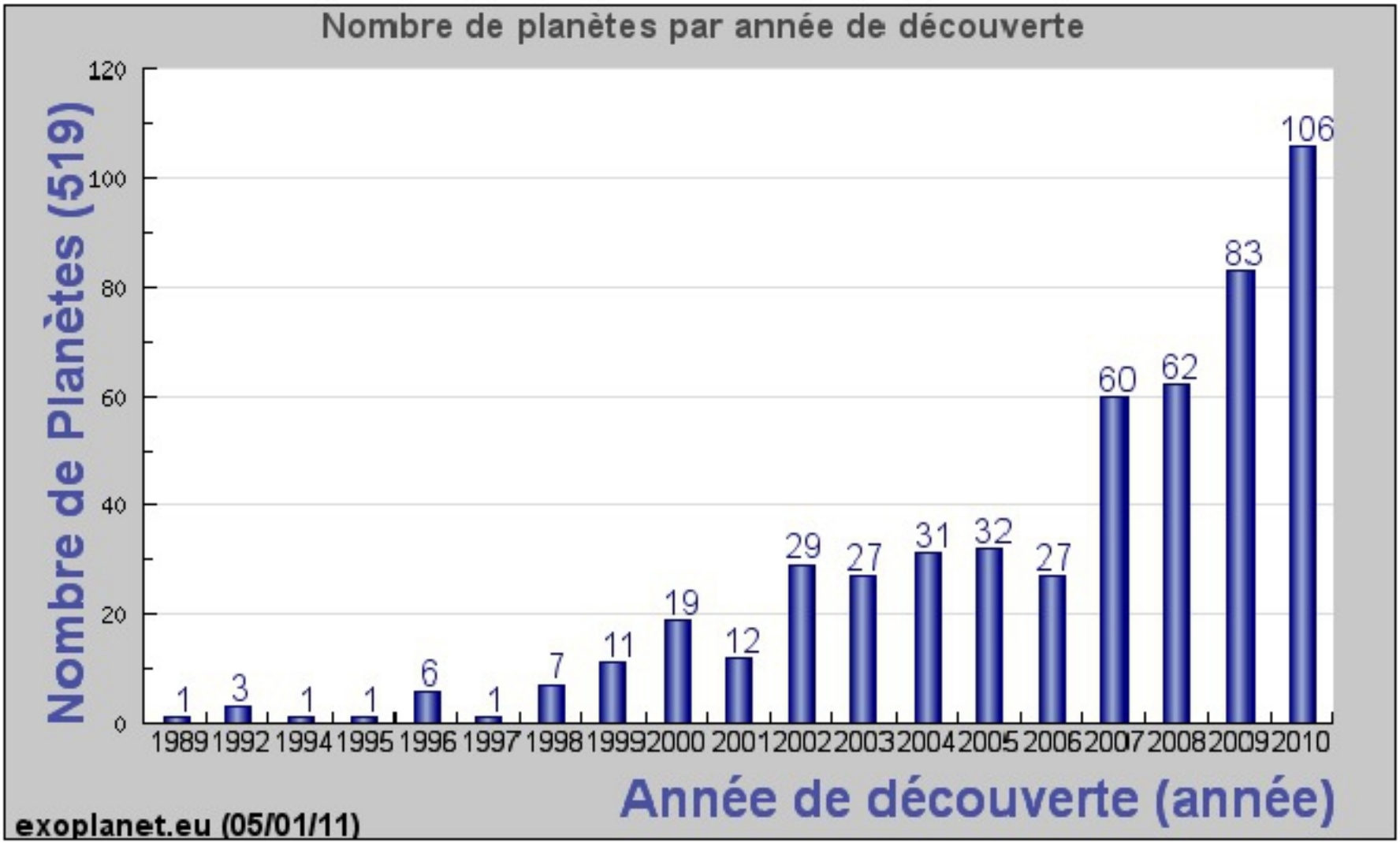
Vitesse radiale (vélocimétrie)
Transit (photométrie)

II Propriétés et statistiques

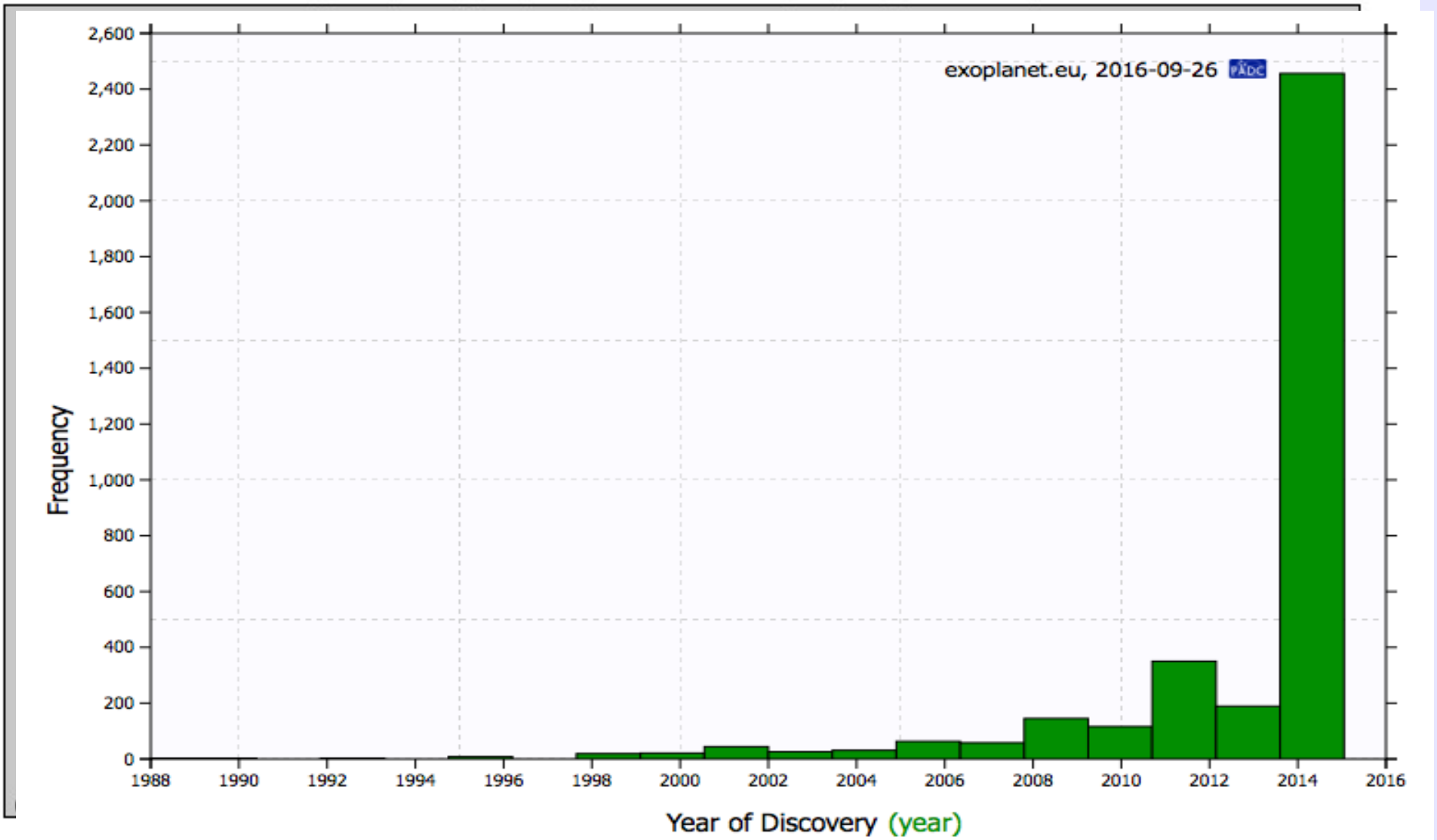
Masse, demi-grand axe, période, excentricité, rayon, métallicité de l'étoile hôte, densité, spectre...

Synthèse de Population de Planètes

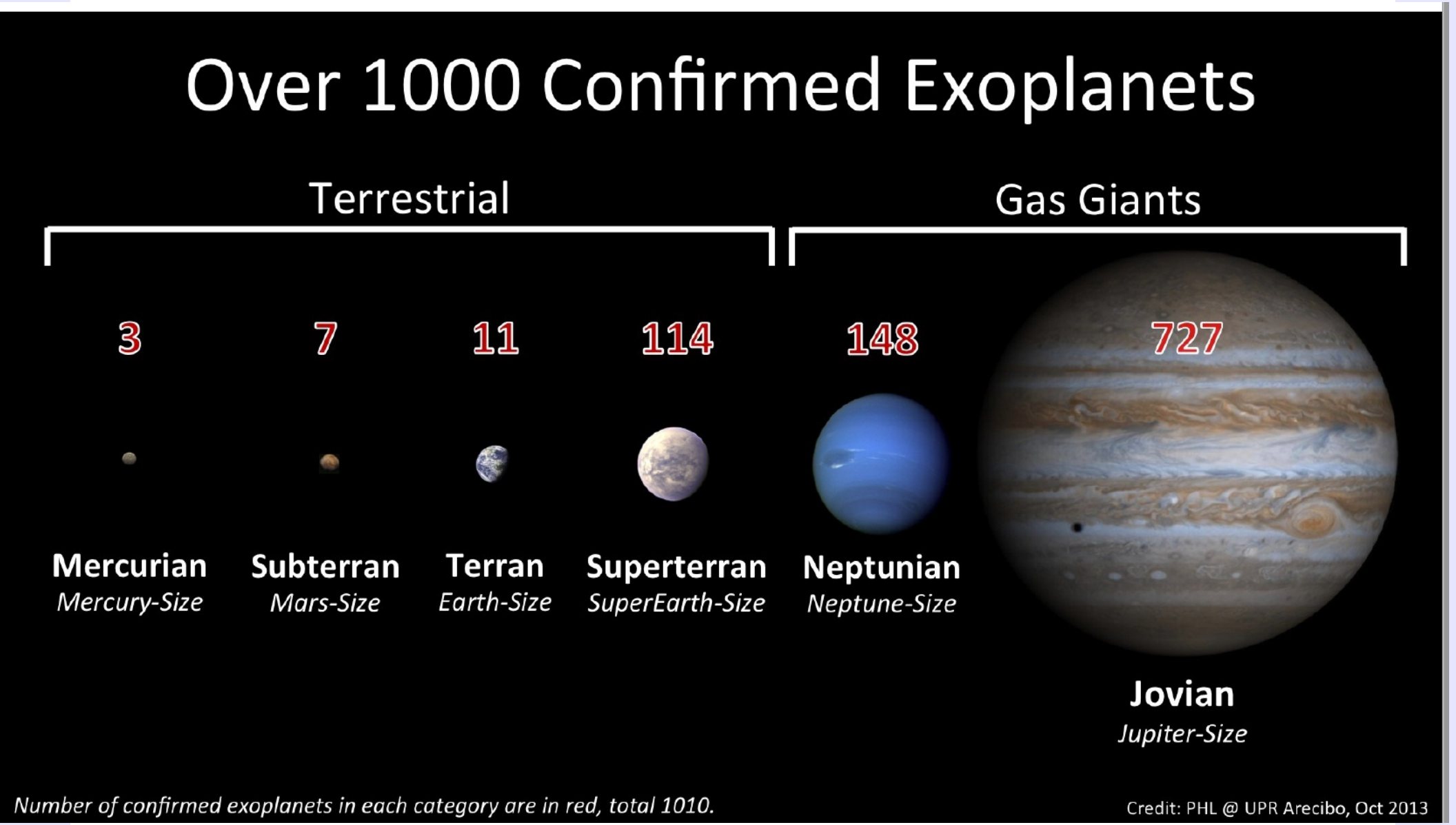
EXOPLANÈTES



EXOPLANÈTES



EXOPLANÈTES

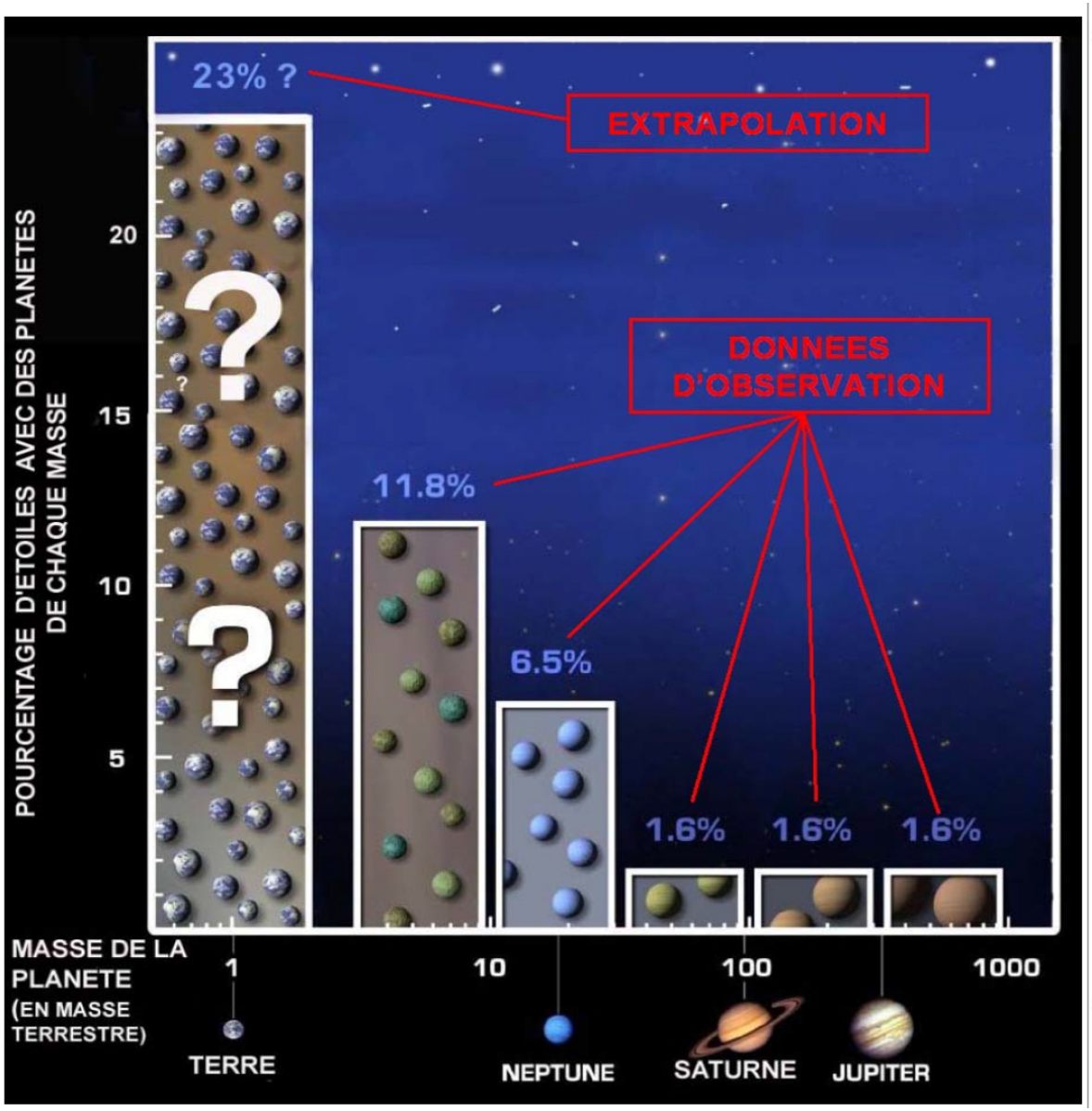


EXOPLANÈTES

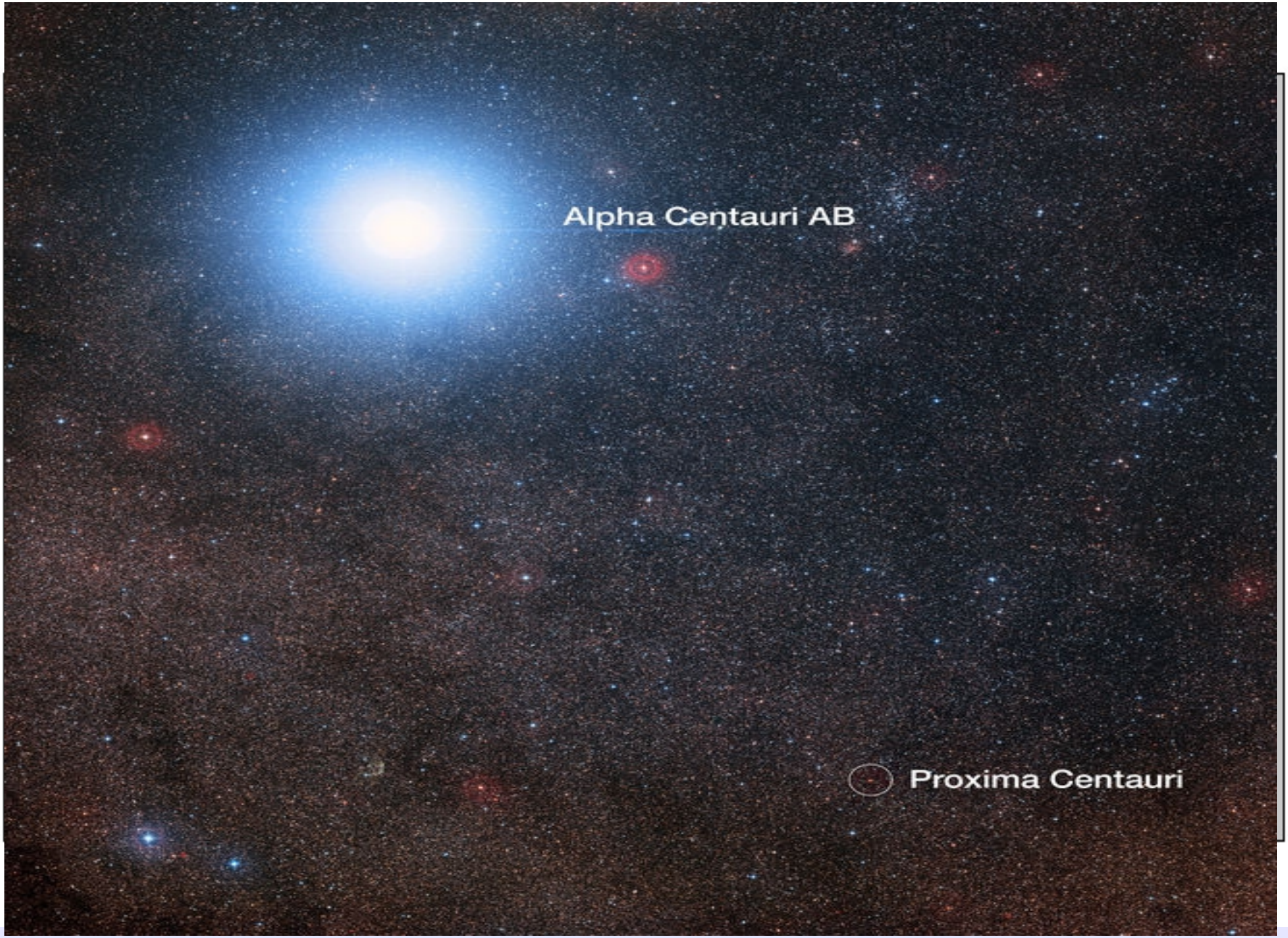
25% of stars have (at least) a planet.

Let's extrapolate : there is at least 46 billion terrestrial planets in our own galaxy !

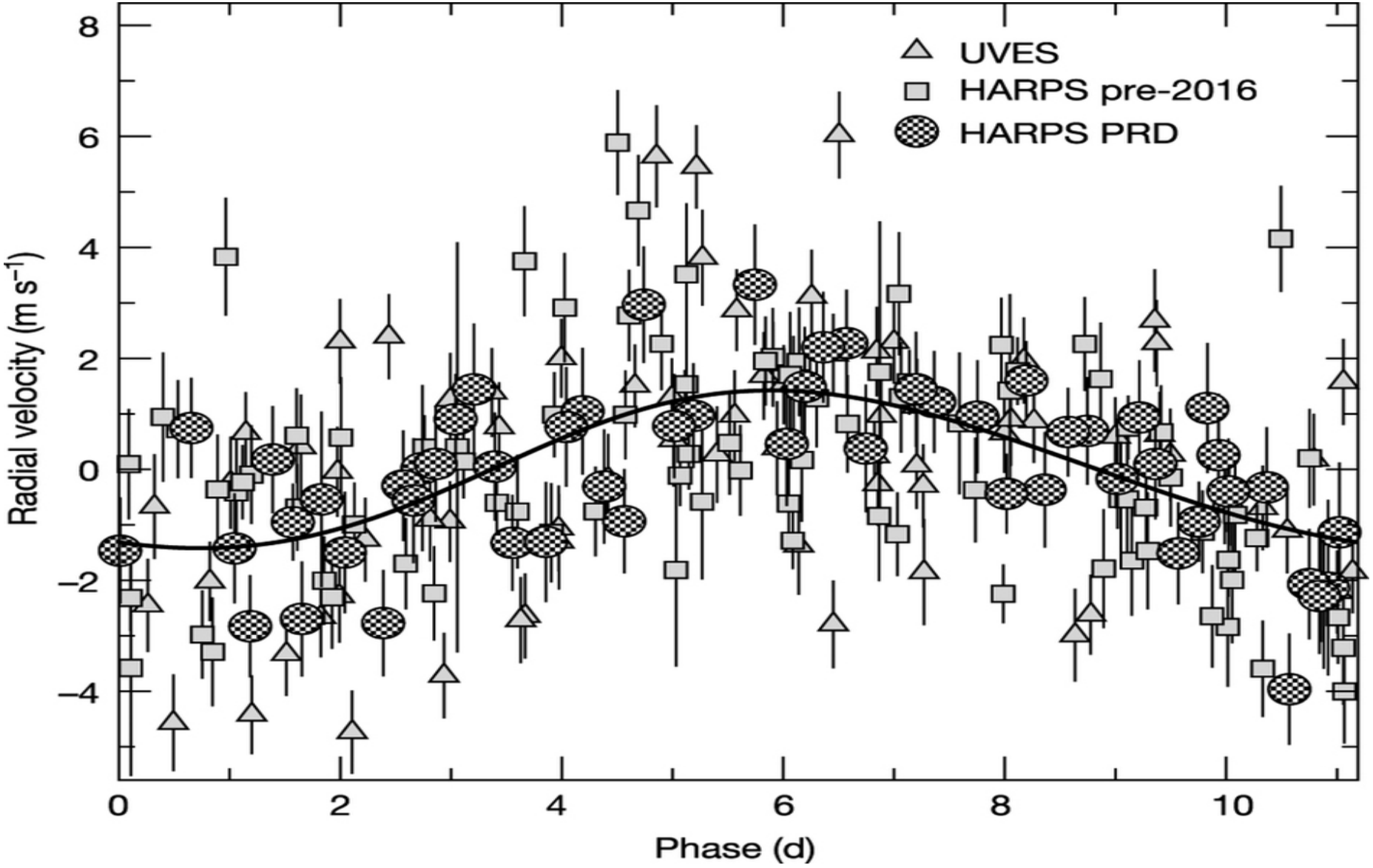
Note: Incredible variety, with planets of type unknown in the Solar System (hot Jupiters, super-Earths...) → more work for theorists :-) .

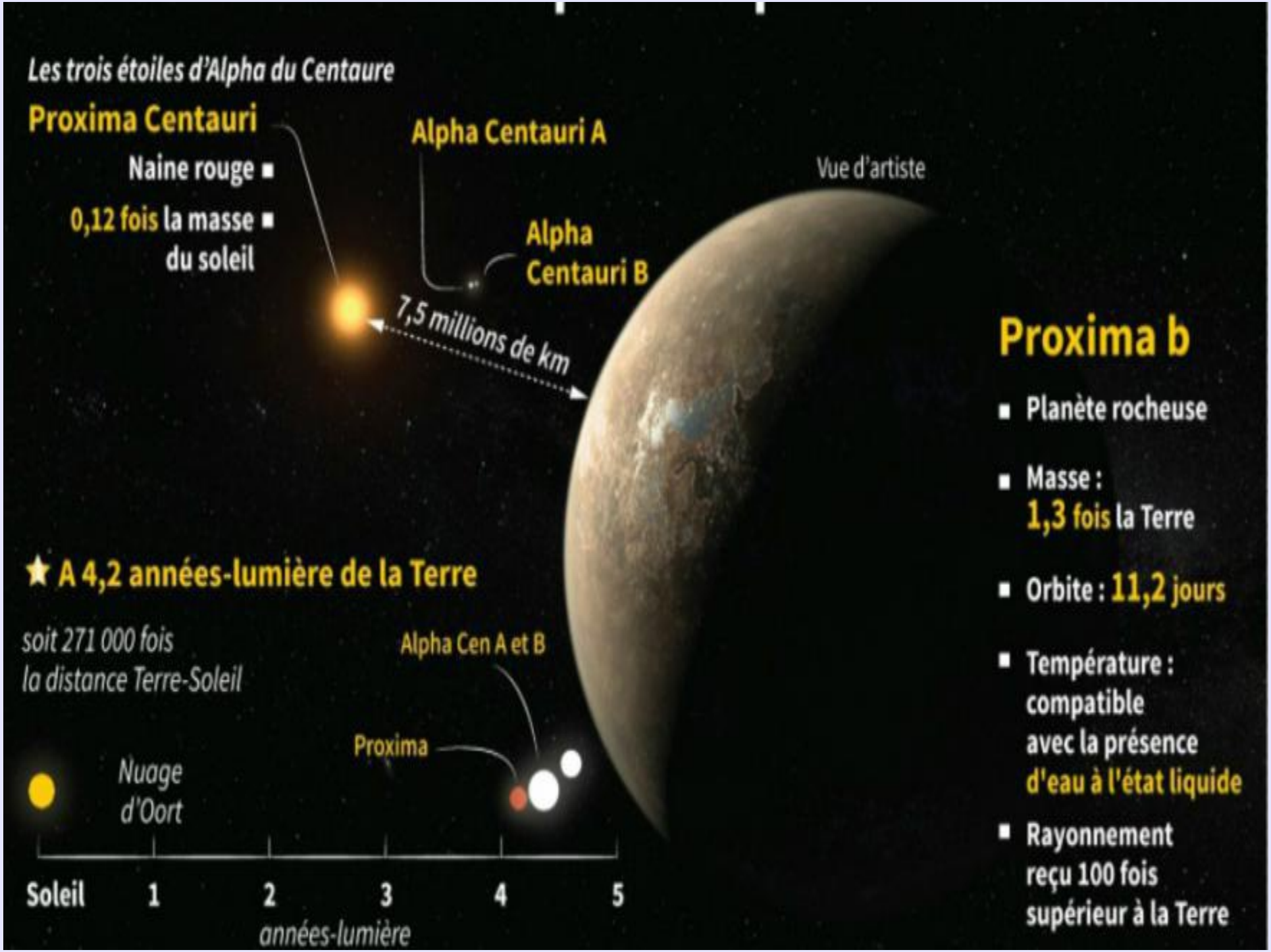


EXOPLANÈTES

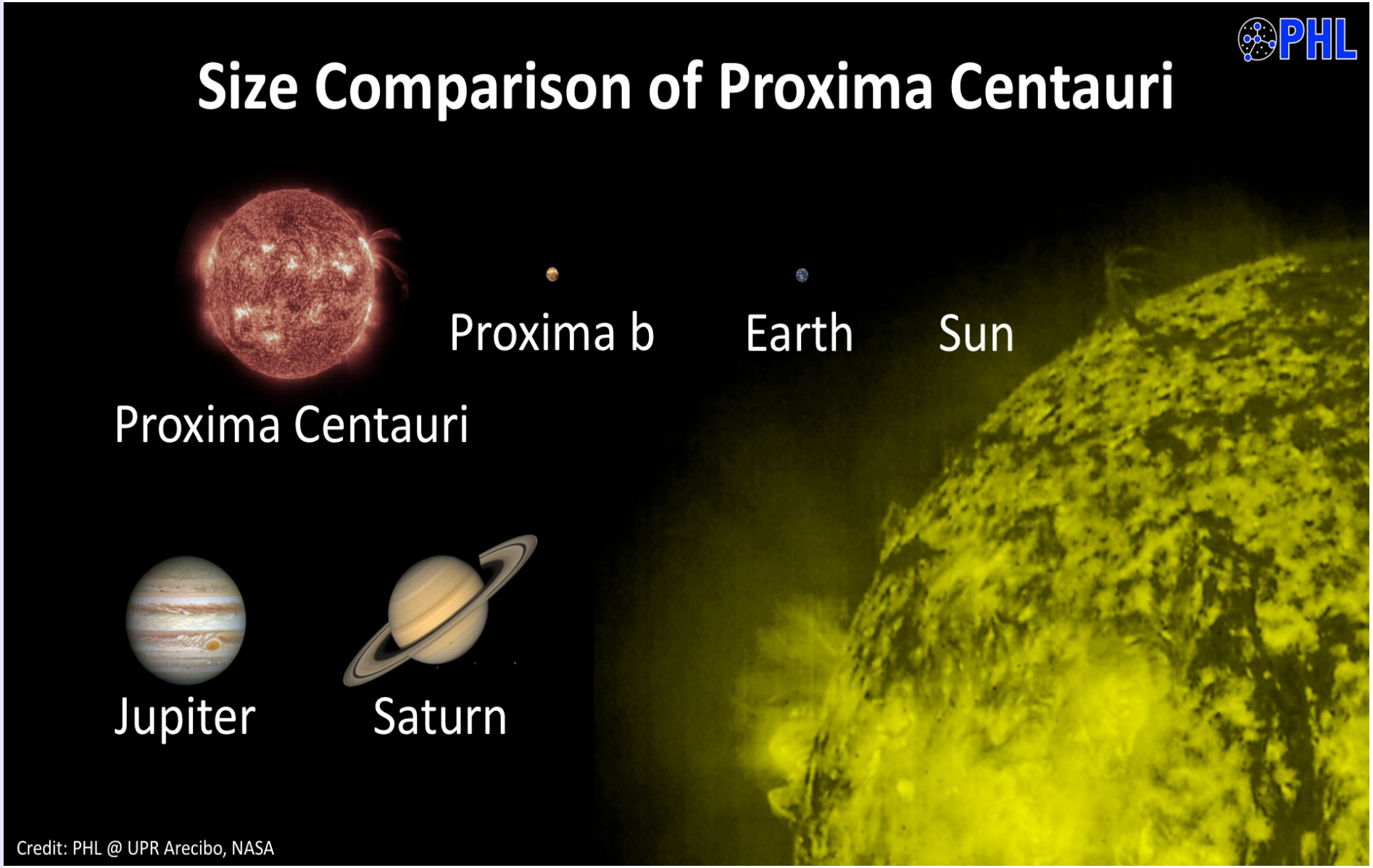


EXOPLANÈTES




Les trois étoiles d'Alpha du Centaure
Proxima Centauri
Naine rouge
0,12 fois la masse du soleil
Alpha Centauri A
Alpha Centauri B
7,5 millions de km
Vue d'artiste
Proxima b
Planète rocheuse
Masse : 1,3 fois la Terre
Orbite : 11,2 jours
Température : compatible avec la présence d'eau à l'état liquide
Rayonnement reçu 100 fois supérieur à la Terre
A 4,2 années-lumière de la Terre
soit 271 000 fois la distance Terre-Soleil
Alpha Cen A et B
Proxima
Nuage d'Oort
Soleil
1
2
3
4
5
années-lumière

EXOPLANÈTES



EXOPLANÈTES



EXOPLANÈTES

