

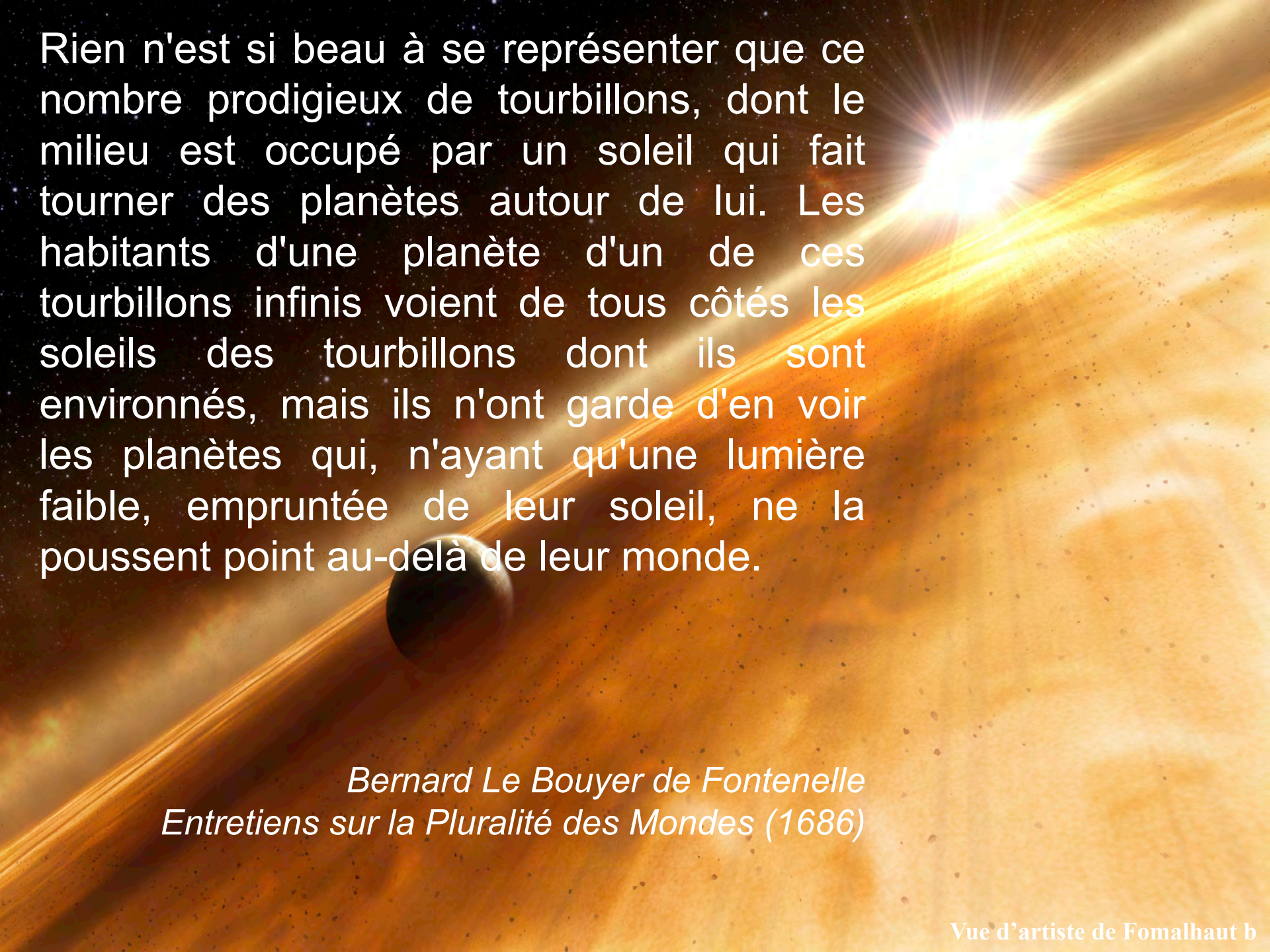
LES EXOPLANETES



Vincent BOUDON

**Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB)
UMR 6303 CNRS – Université de Bourgogne**

Société Astronomique de Bourgogne

An artistic rendering of a celestial scene. A bright, glowing star is in the upper right, casting a strong light across the scene. A ringed planet, similar to Saturn, is visible in the lower left, partially illuminated by the star's light. The background is a vast, orange-hued space filled with dust and distant stars.

Rien n'est si beau à se représenter que ce nombre prodigieux de tourbillons, dont le milieu est occupé par un soleil qui fait tourner des planètes autour de lui. Les habitants d'une planète d'un de ces tourbillons infinis voient de tous côtés les soleils des tourbillons dont ils sont environnés, mais ils n'ont garde d'en voir les planètes qui, n'ayant qu'une lumière faible, empruntée de leur soleil, ne la poussent point au-delà de leur monde.

*Bernard Le Bouyer de Fontenelle
Entretiens sur la Pluralité des Mondes (1686)*

Une vieille idée

Au XVI^{ème} siècle, **Giordano Bruno** émet l'idée que les étoiles sont semblables au Soleil et sont entourées de planètes, probablement habitées.



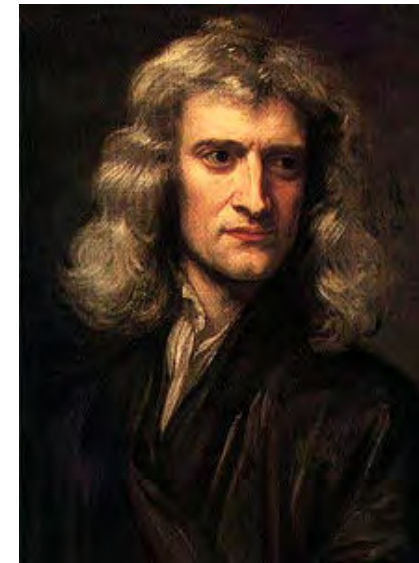
Bernard le Boyer de Fontenelle (1657 – 1757)

En 1686, **Fontenelle**, reprend l'idée dans ses « *Entretiens sur la pluralité des mondes* ».

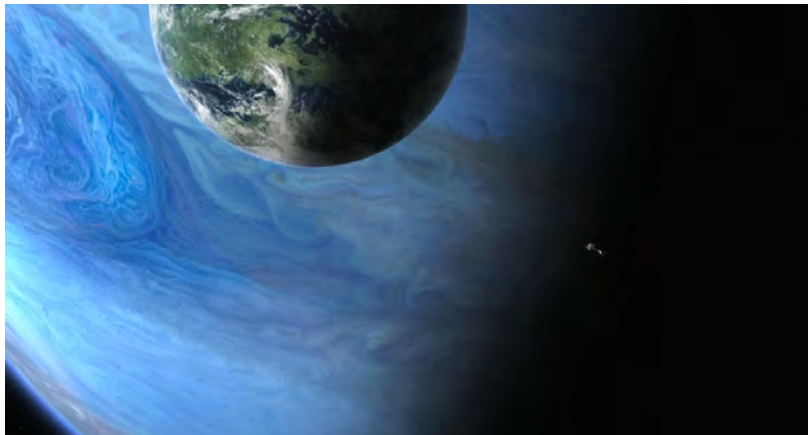
En 1687, **Isaac Newton** écrit : « Et si les étoiles fixes sont les centres de systèmes semblables, ils seront alors tous construits selon le même concept et sujets à la domination de l'*Un* ».



Giordano Bruno (1548 – 1600)



Isaac Newton (1643 – 1727)



L'existence de planètes extra-solaires a toujours été un sujet favori des auteurs de romans et films de science-fiction.

A gauche : Image d'*Avatar* de James Cameron (2009).

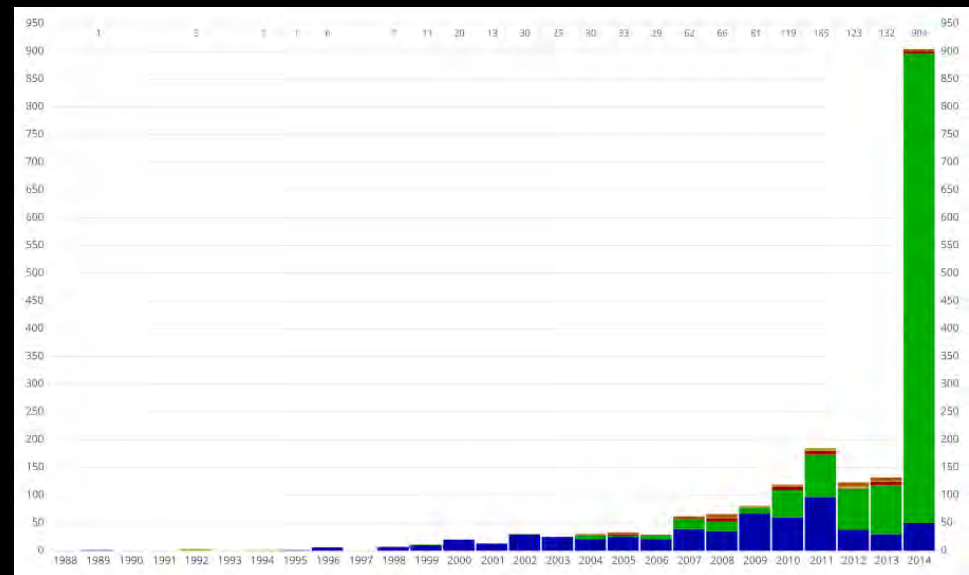
Premières découvertes

1990 : Aleksander Wolszczan découvre les premières planètes extrasolaires autour du pulsar PSR B1257+12 à l'aide du radiotélescope d'Arecibo (Porto-Rico).

1995 : Michel Mayor et Didier Queloz (Observatoire de Genève) découvrent à l'observatoire de Haute-Provence la première exoplanète autour d'une étoile, 51 Pegasi, par la méthode des vitesses radiales.



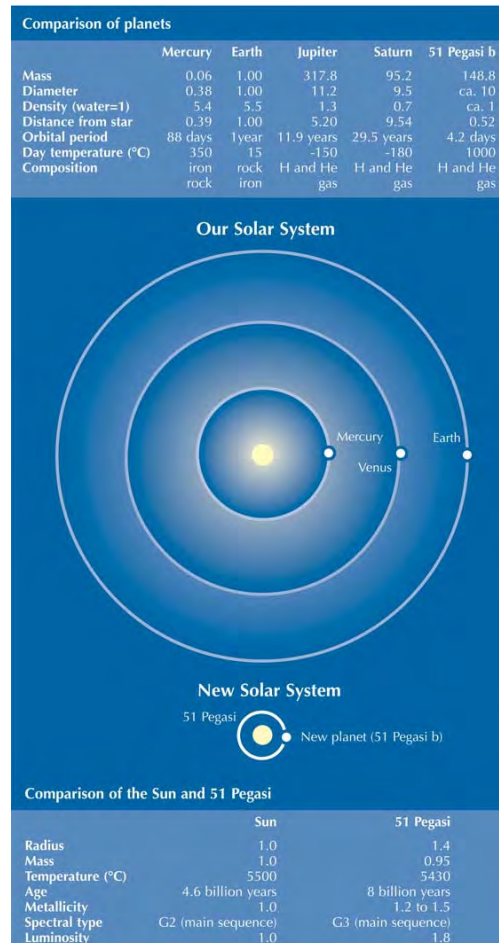
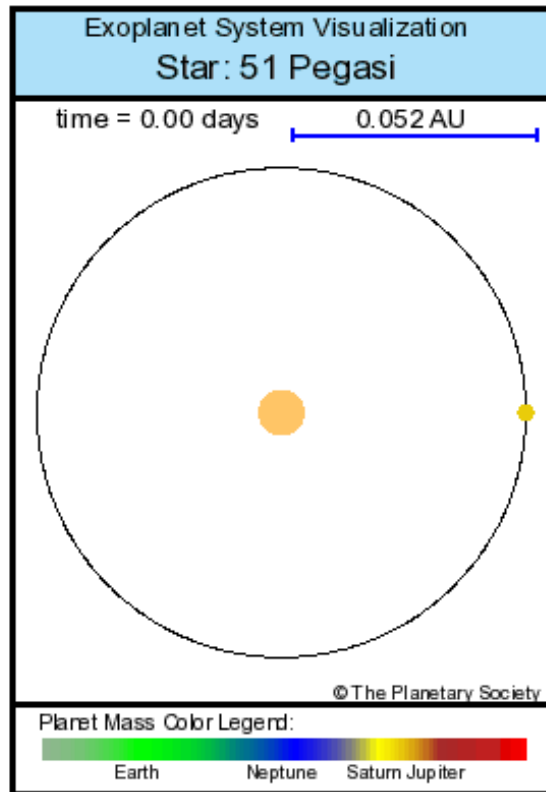
D. Queloz, M. Mayor



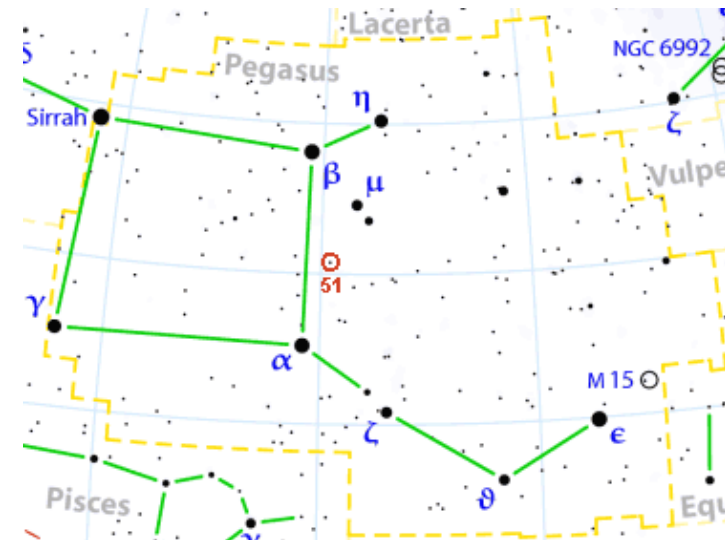
Source : Wikipedia

51 Pegasi

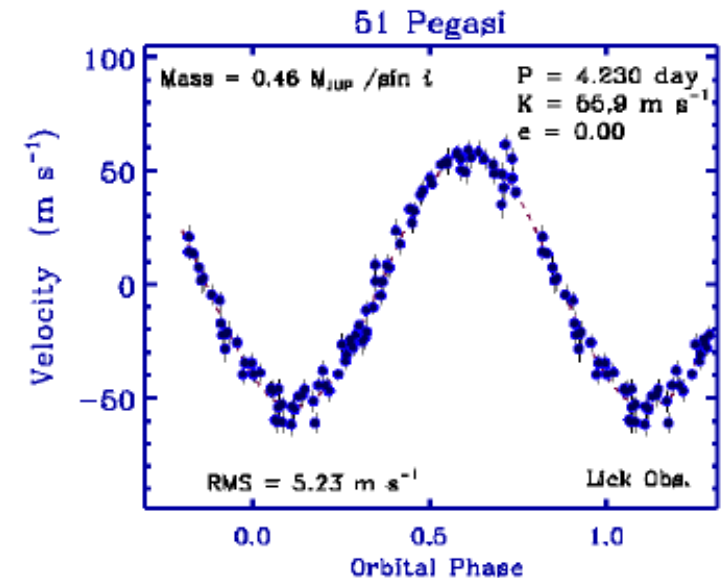
51 Pegasi est une étoile située à 48 années-lumière dans la constellation de Pégase. C'est autour d'elle que fut découverte et confirmée avec certitude la première exoplanète (**51 Pegasi b**), en 1995, par la **méthode des vitesses radiales**.



Source : scienceinschool.org



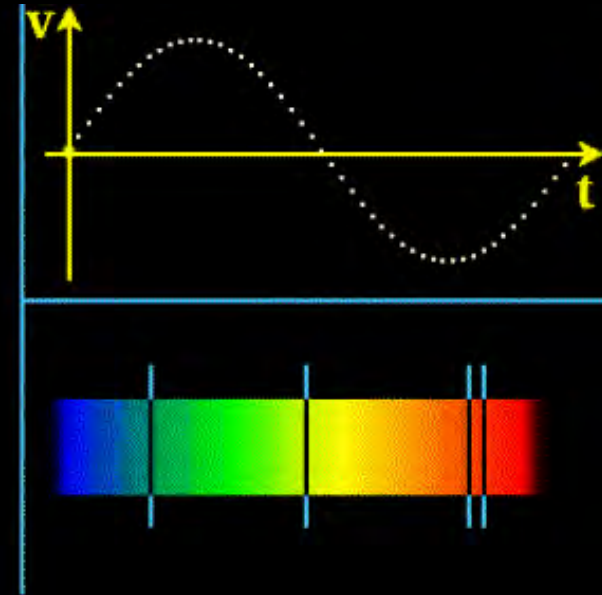
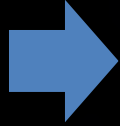
Source : Wikipedia



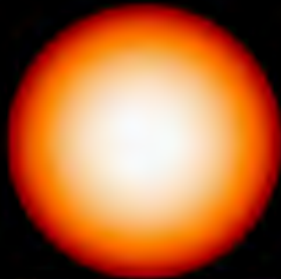
Source : astrosociety.org

Détecter d'autres mondes

La méthode des vitesses radiales,
par spectroscopie



La méthode des transits



La méthode des
microlentilles
gravitationnelles



Gravitational Microlensing



Actuellement, on détecte principalement les
grosses planètes proches de leur étoile.
Mais les techniques s'améliorent ...

Source : <http://media4.obspm.fr/exoplanetes/>

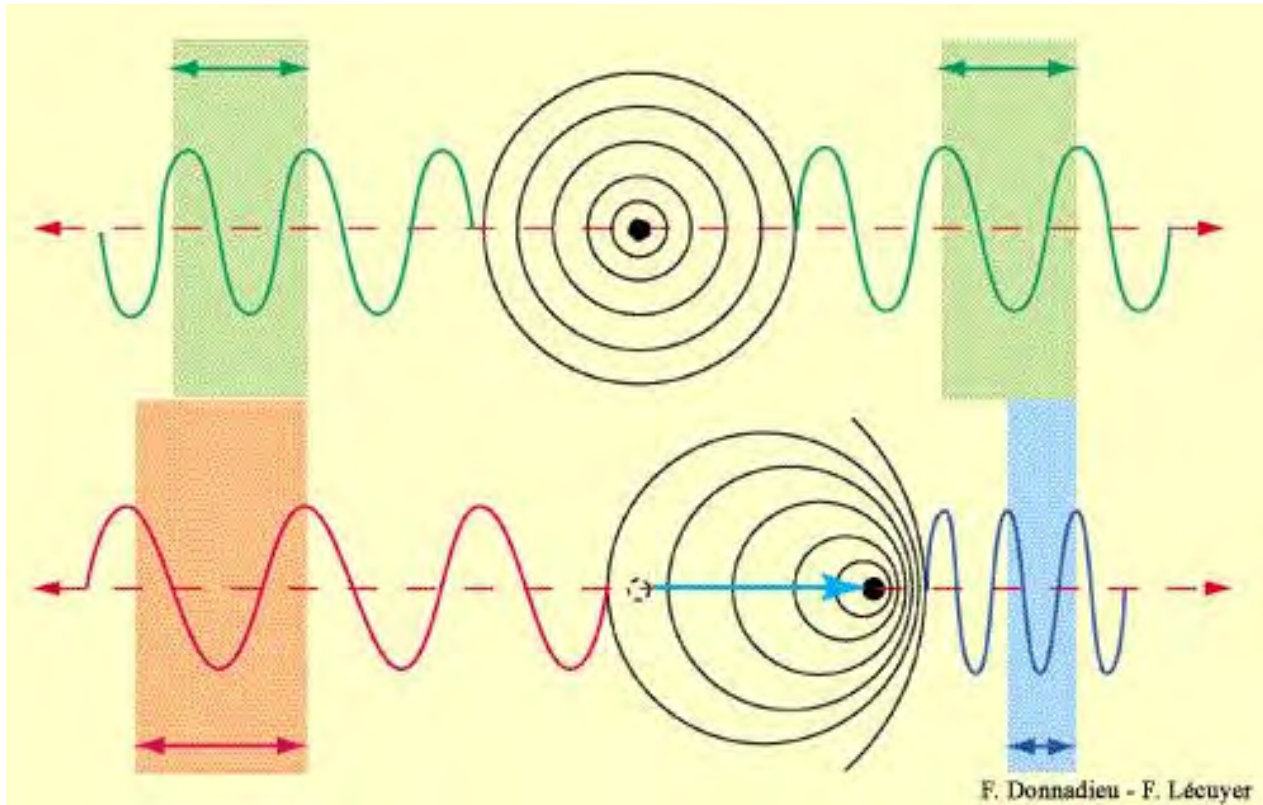


Wiiiiioooooo ... L'effet Doppler !



L'effet Doppler

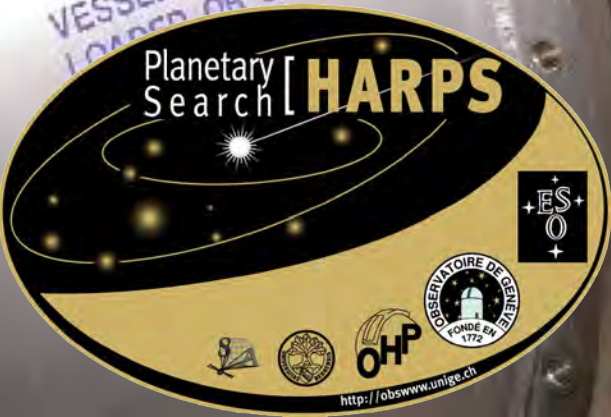
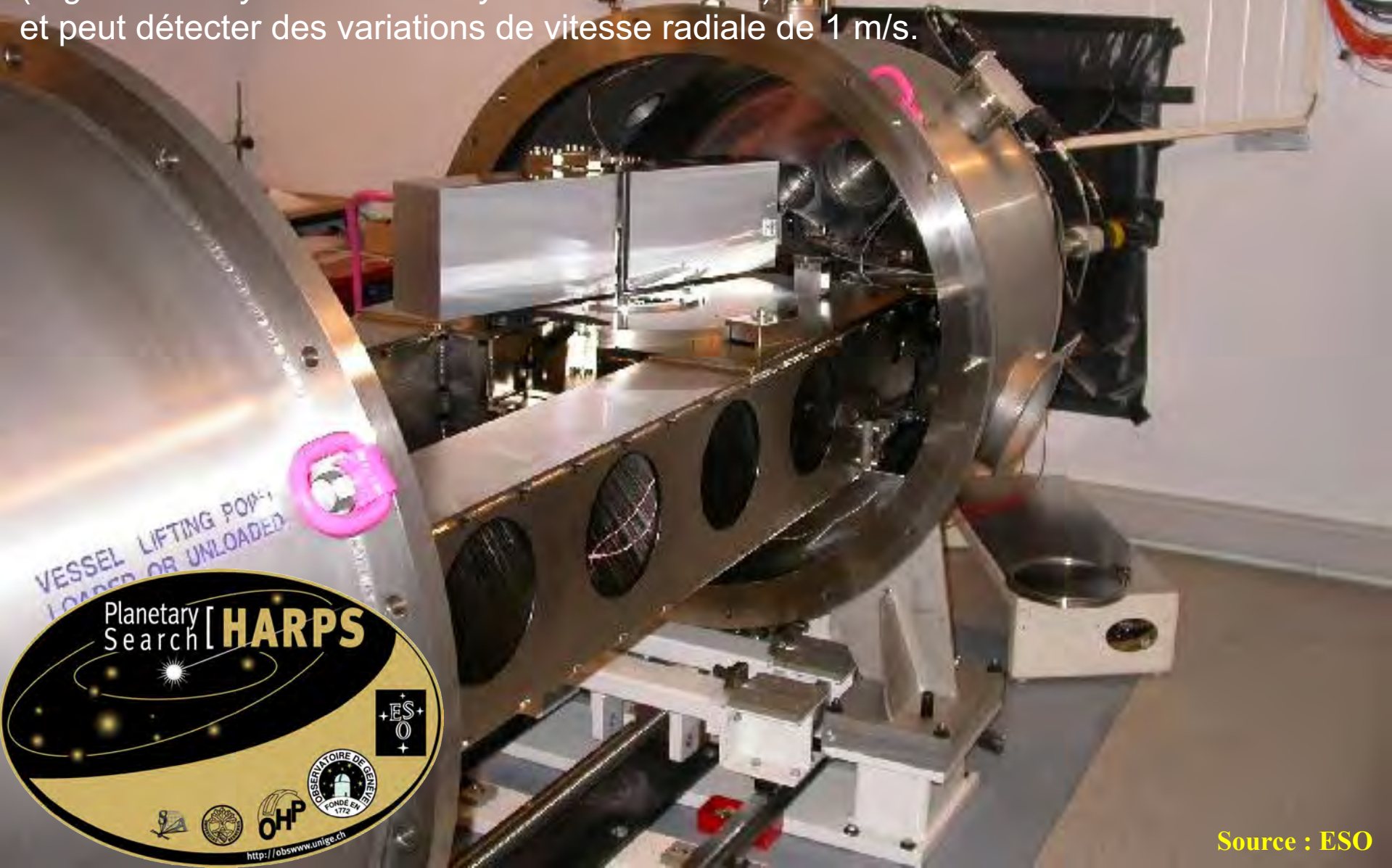
Lorsqu'un objet émettant de la lumière se déplace par rapport à l'observateur, celui-ci reçoit une longueur d'onde décalée par rapport à celle au repos.



- Si éloignement, il y a **décalage vers les grandes longueurs d'onde**, donc **vers le rouge (redshift)**.
- Si rapprochement, il y a **décalage vers les courtes longueurs d'onde**, donc **vers le bleu (blueshift)**.

Le spectromètre HARPS (ESO)

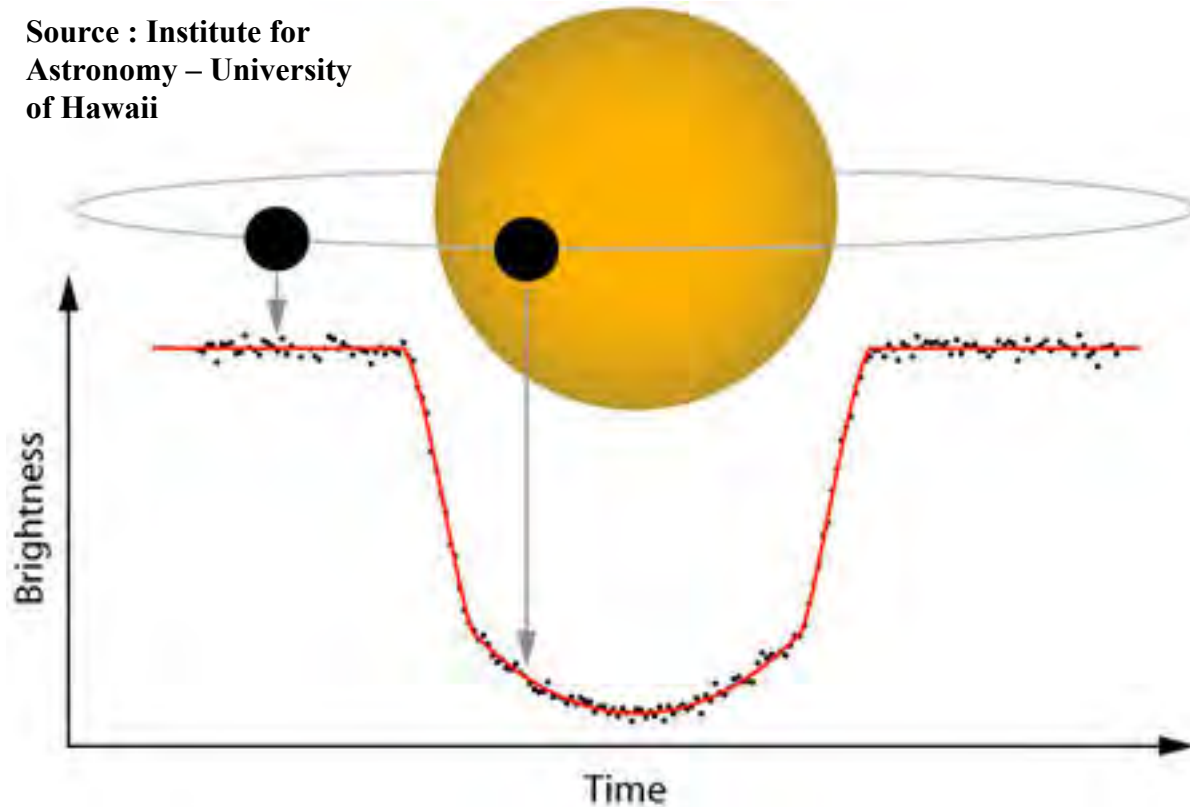
Installé sur le télescope de 3,6 m de diamètre de l'ESO à La Silla au Chili, HARPS (*High Accuracy Radial velocity Planet Searcher*) a une résolution $R = \lambda/\Delta\lambda = 120\,000$ et peut détecter des variations de vitesse radiale de 1 m/s.



Source : ESO

La méthode des transits

Source : Institute for
Astronomy – University
of Hawaii



La méthode est similaire à celle utilisée pour la détection des étoiles binaires à éclipses.

La baisse de luminosité est toutefois très faible et donc plus difficile à détecter.

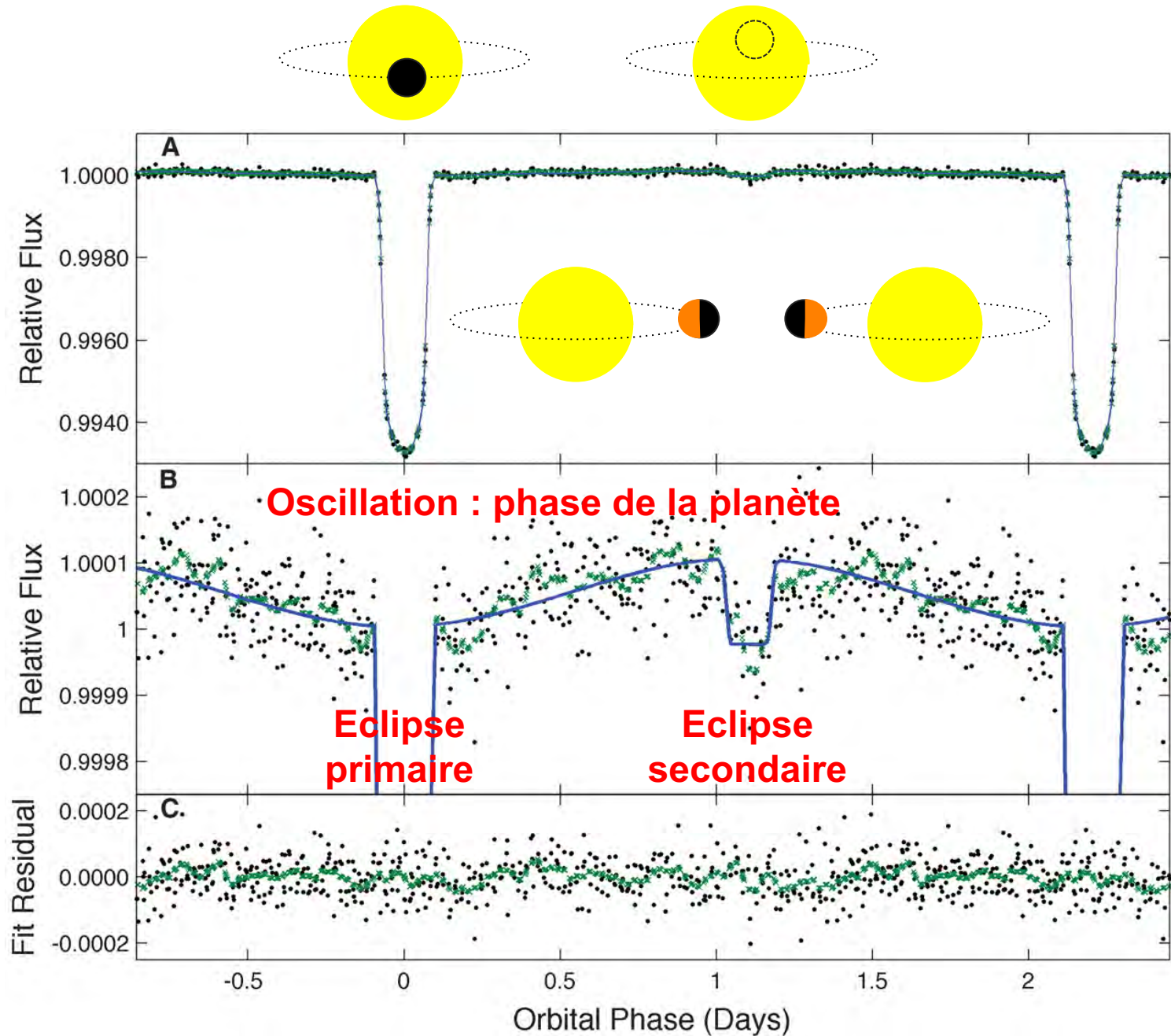
La **forme de la courbe de lumière** contient des informations importantes.

La **méthode des transits**, combinée à celle des **vitesse**s radiales permet de préciser plusieurs paramètres :

- L'**inclinaison de l'orbite** (effet Rossiter-MacLaughlin, voir après).
- Le **rayon de la planète**. La rayon de l'étoile étant connu (via son spectre). La diminution de lumière est proportionnelle à $R_{\text{Planète}}^2 / R_{\text{Etoile}}^2$

Les subtilités d'une courbe de transit

Transit de HAT-P-7b / Satellite Kepler (NASA) – W. J. Boruci *et al.*,
Science, 325, 709 (2009).



Le satellite CoRoT

CoRoT
(Convection,
Rotation et
Transits
planétaires)
est un
satellite
français
chargé, entre
autres de
détecter des
exoplanètes
par transit.

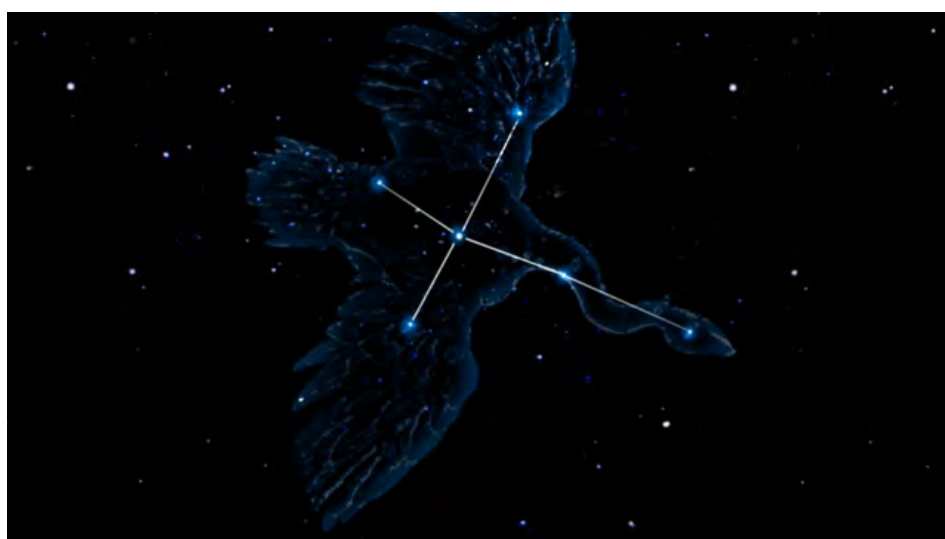
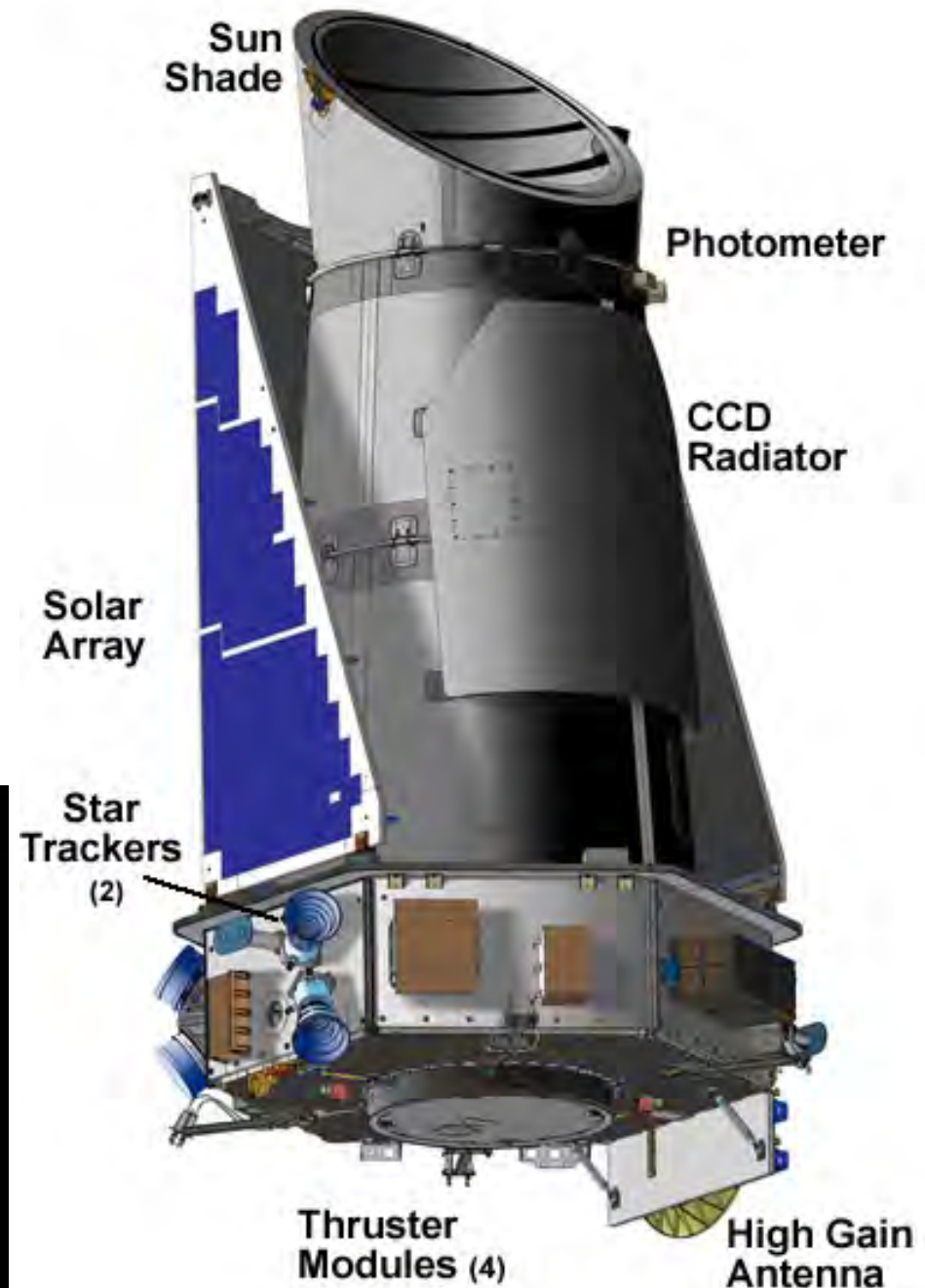
Il a déjà
plusieurs
découvertes à
son tableau
de chasse,
depuis son
lancement en
2008.



Le satellite Kepler

La mission Kepler, lancée en 2009, a pour but d'observer en continu et simultanément 156 000 étoiles dans une petite partie du ciel, située entre les constellations de la Lyre et du Cygne.

En janvier 2013, la NASA a annoncé que la mission avait déjà débusqué 2740 candidats-planètes. La plupart restent à confirmer (transits à observer plusieurs fois), mais la moisson promet d'être riche !



Les micro-lentilles gravitationnelles

Cette méthode utilise un résultat de la **Relativité Générale** : la déviation de la lumière par la présence d'une masse. Le principe est celui du **mirage gravitationnel**.

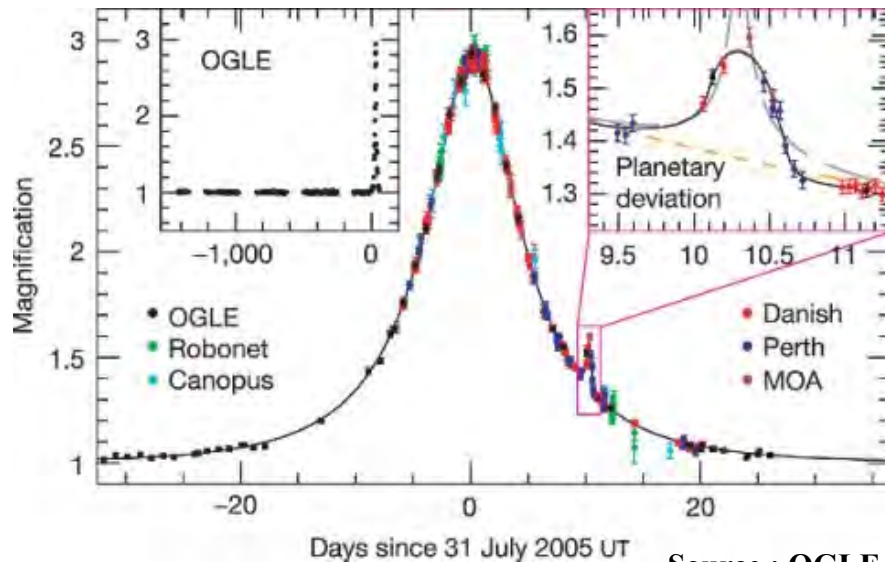
Si une étoile relativement proche passe juste devant une étoile distante, il se produit une focalisation de la lumière qui augmente brièvement la luminosité de l'étoile proche.

Si une planète est présente, elle produit également un petit effet, faible mais détectable. L'inconvénient est que l'événement est unique. On a ainsi détecté 16 exoplanètes.

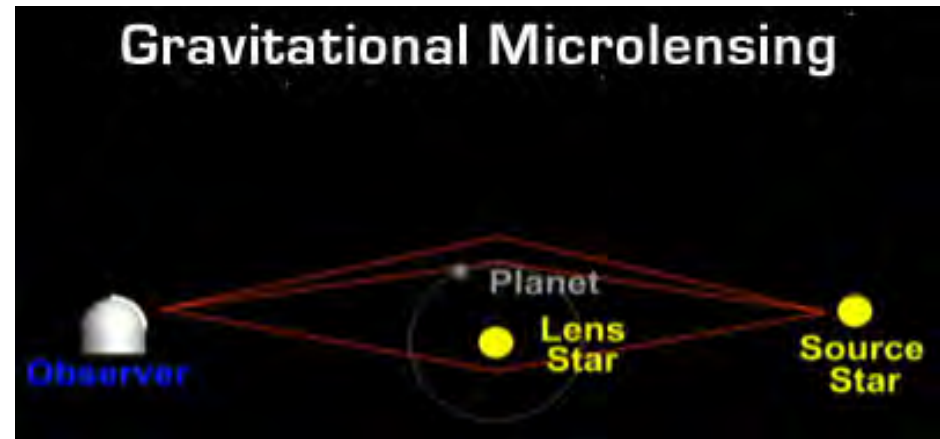
Il existe des réseaux de télescopes automatiques utilisant cette méthode, comme OGLE (*Optical Gravitational Lensing Experiment*, photo ci-contre).



Source : OGLE



Source : OGLE



Source : Wikipedia

L'imagerie directe

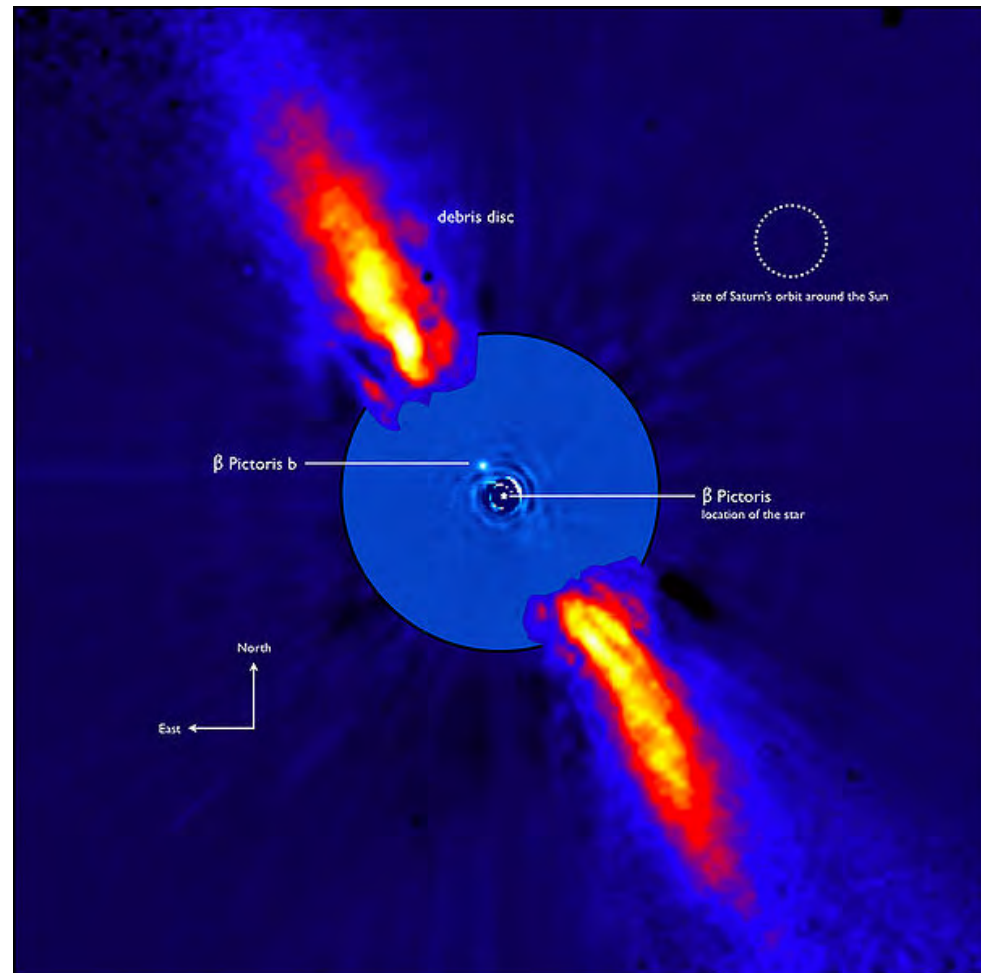
L'imagerie directe est extrêmement difficile, du fait de la très faible luminosité des planètes par rapport à leur étoile, dont elles sont très proches.

Mais diverses « astuces » ont pu être appliquées avec succès à 32 planètes.

La première est l'utilisation d'un **coronographe**, afin de masquer l'étoile.

On peut de plus faire de l'imagerie différentielle :

- En imageant selon deux directions de **polarisation**. Les molécules de la planète pouvant polariser la lumière, on peut « éliminer » l'étoile et pas la planète.
- De même avec deux **longueurs d'onde**, la planète rayonnant plus dans l'infrarouge que l'étoile, ou absorbant plus certaines longueurs d'onde.



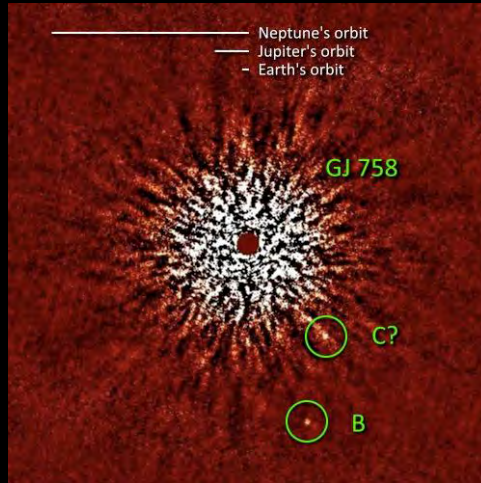
Planète et disque de poussières de β Pictoris par coronagraphie – Source : ESO

Mars 2017 : 3593 exoplanètes

Il est déjà possible de photographier, voire d'étudier les propriétés de quelques exoplanètes.



HR 8799



1RSX J160929.1-210524
1"

b

c

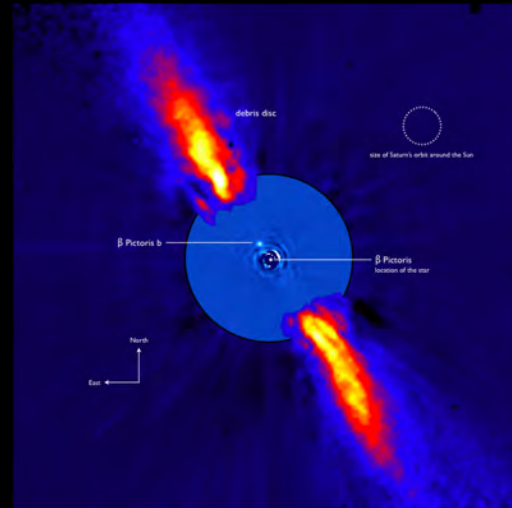
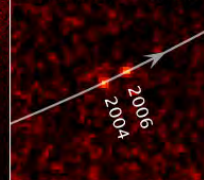
d

0.5"
20 AU

Fomalhaut System

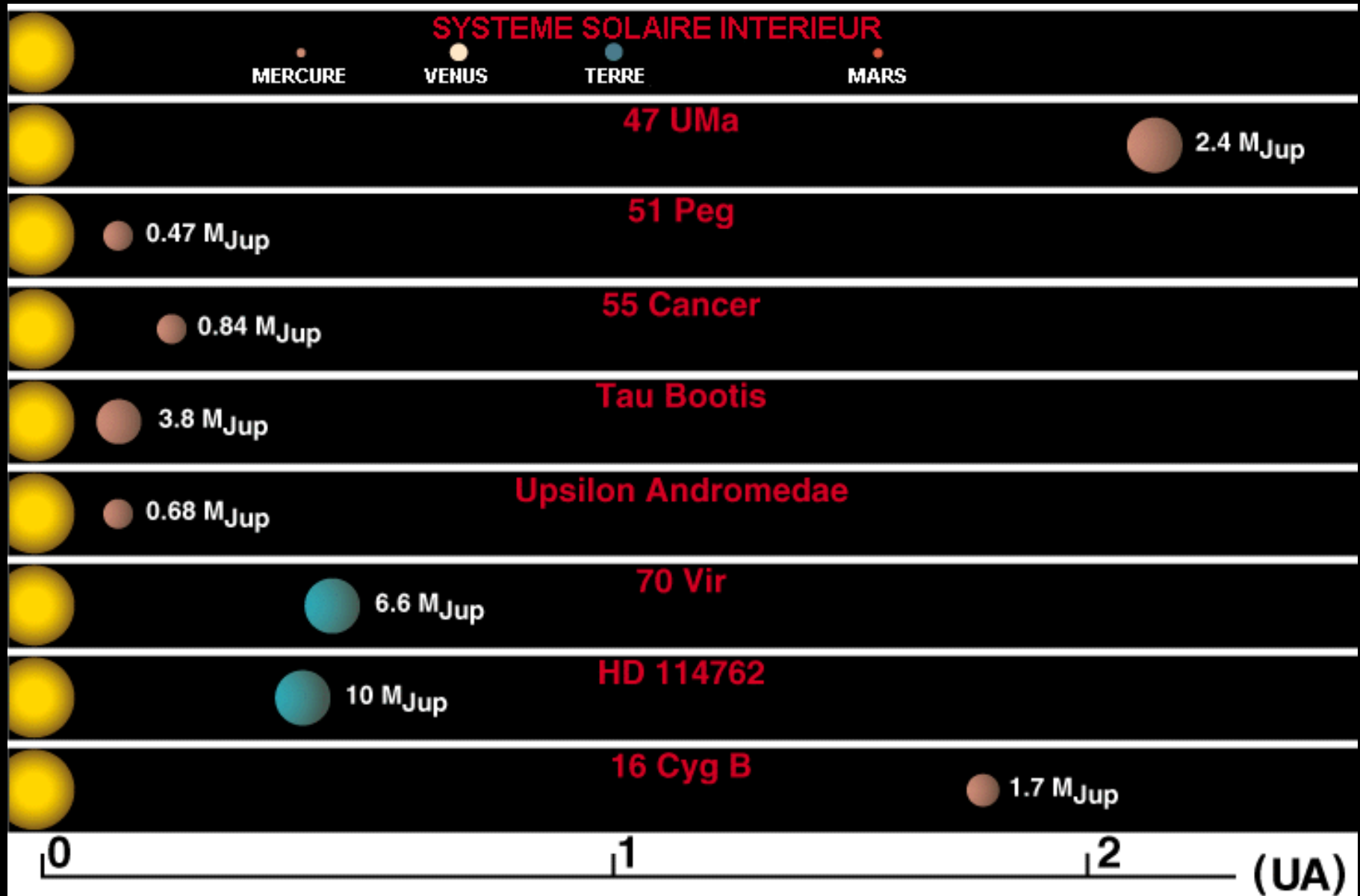
Hubble Space Telescope • ACS/HRC

Fomalhaut b Planet



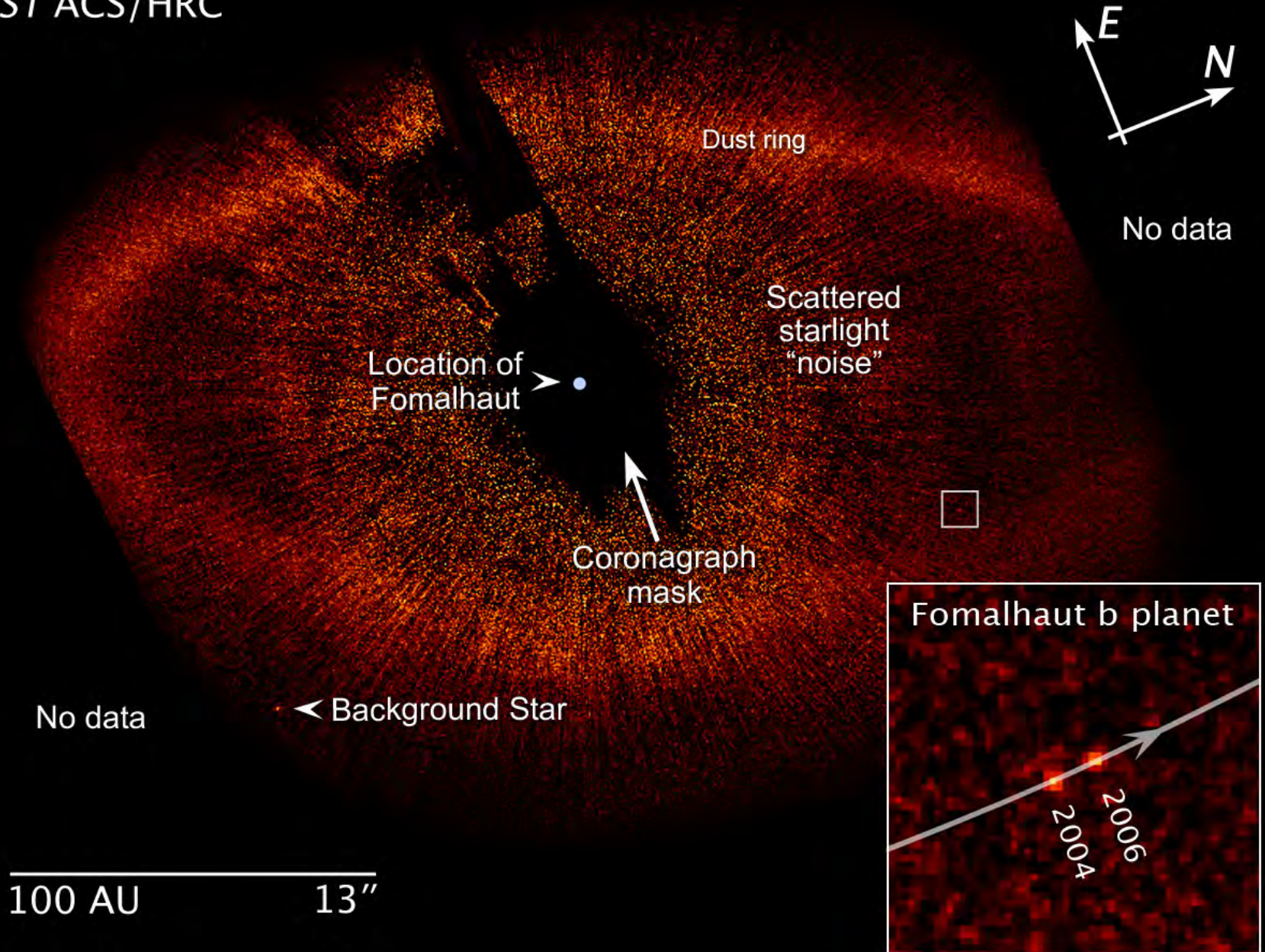
HD189733b

Quelques systèmes planétaires



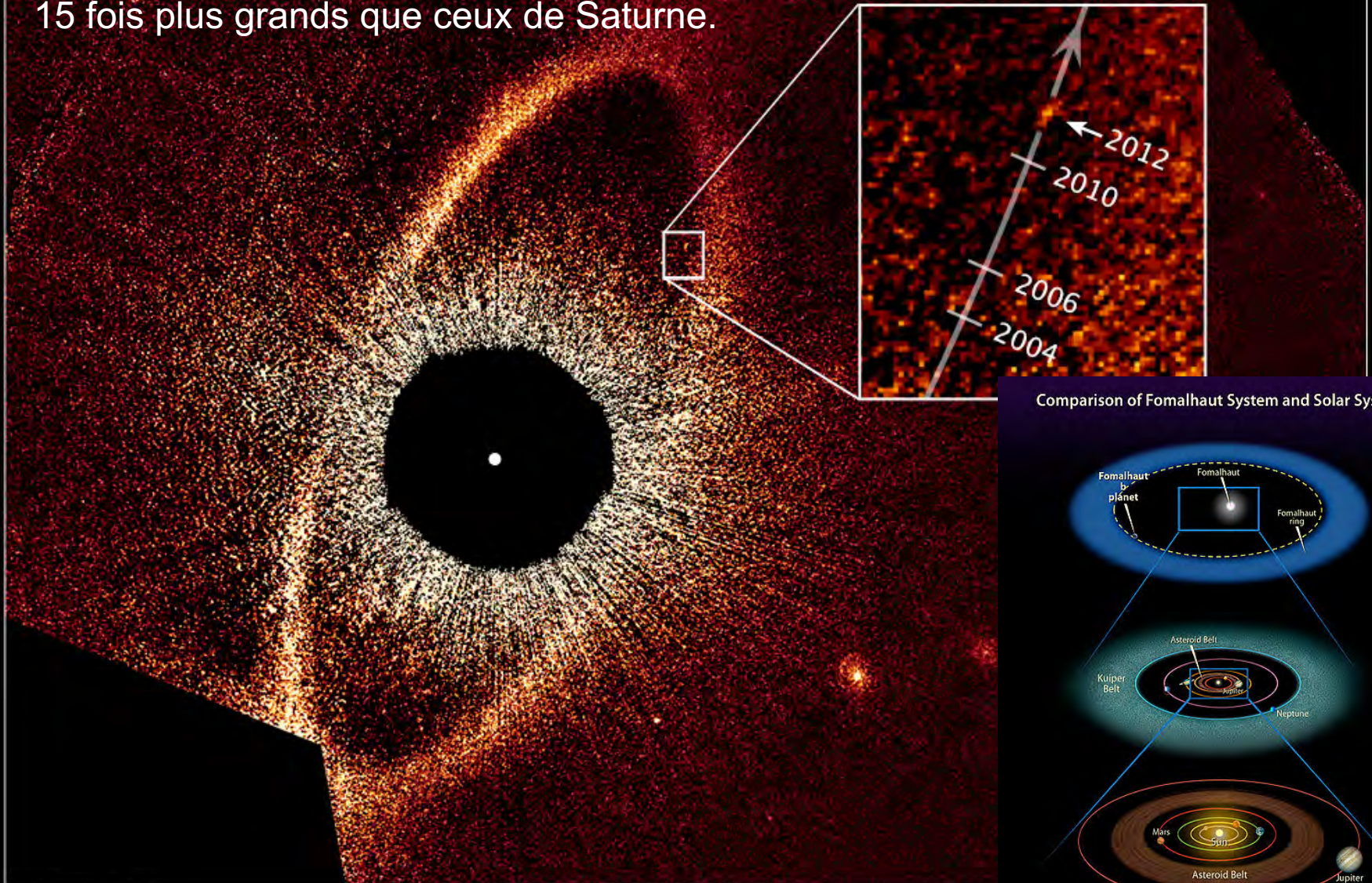
Fomalhaut b : photographiée par Hubble

Fomalhaut
HST ACS/HRC

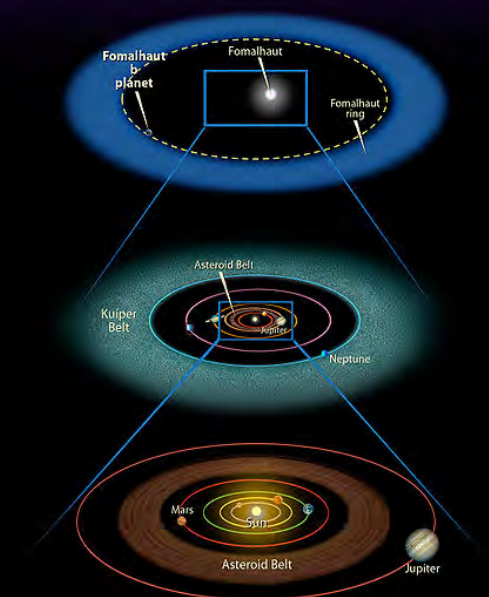


Source : Télescope Spatial Hubble

Fomalhaut b a été un temps contestée car elle n'est pas visible en infrarouge où elle devrait rayonner plus qu'en visible. On pense que sa visibilité est surtout due à un gigantesque système d'anneaux, sans doute 15 fois plus grands que ceux de Saturne.

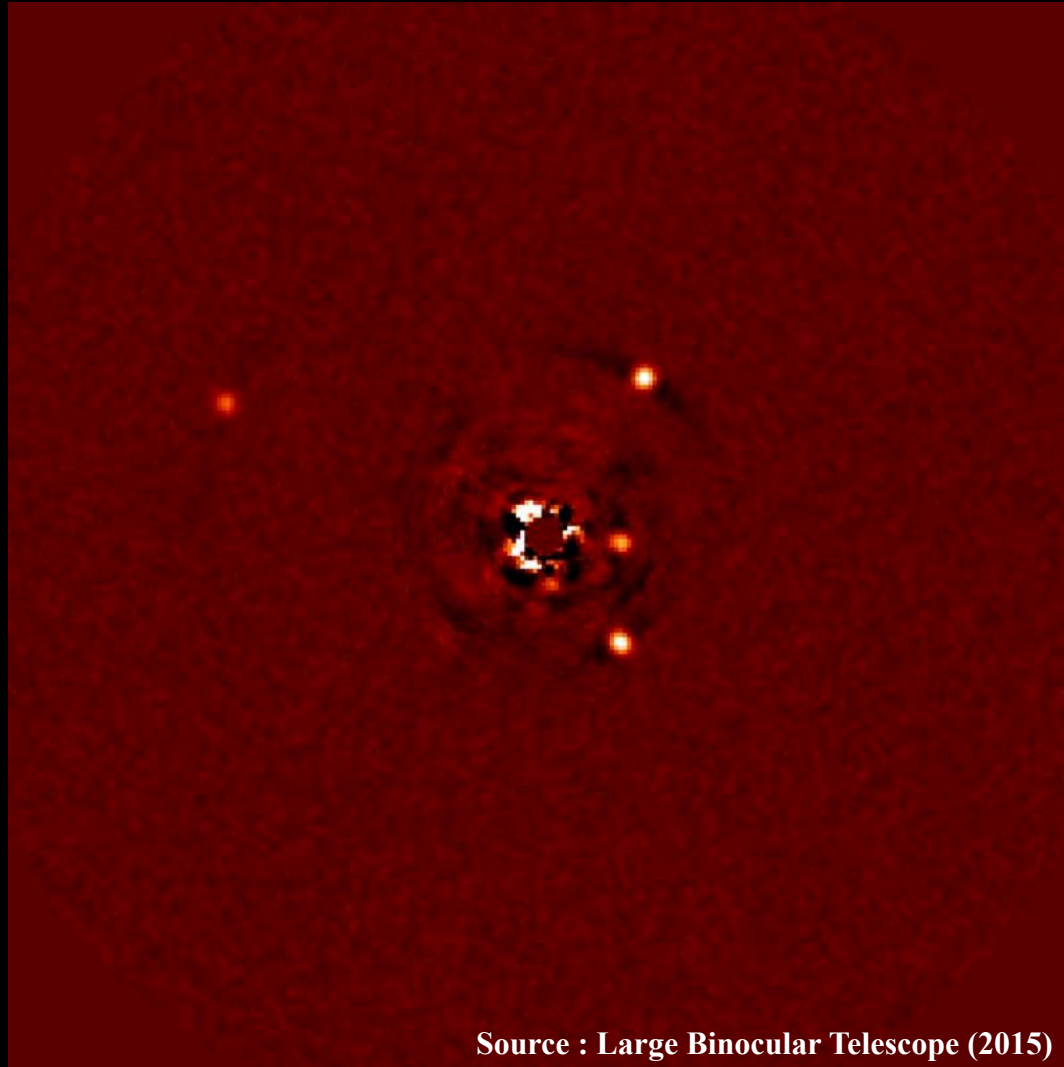


Comparison of Fomalhaut System and Solar System



HR 8799 : système quadruple par imagerie

Quatre planètes géantes de forte masse (5 à 7 fois celle de Jupiter) orbitent relativement loin de l'étoile HR 8799. On ne comprend pas leur mode de formation.

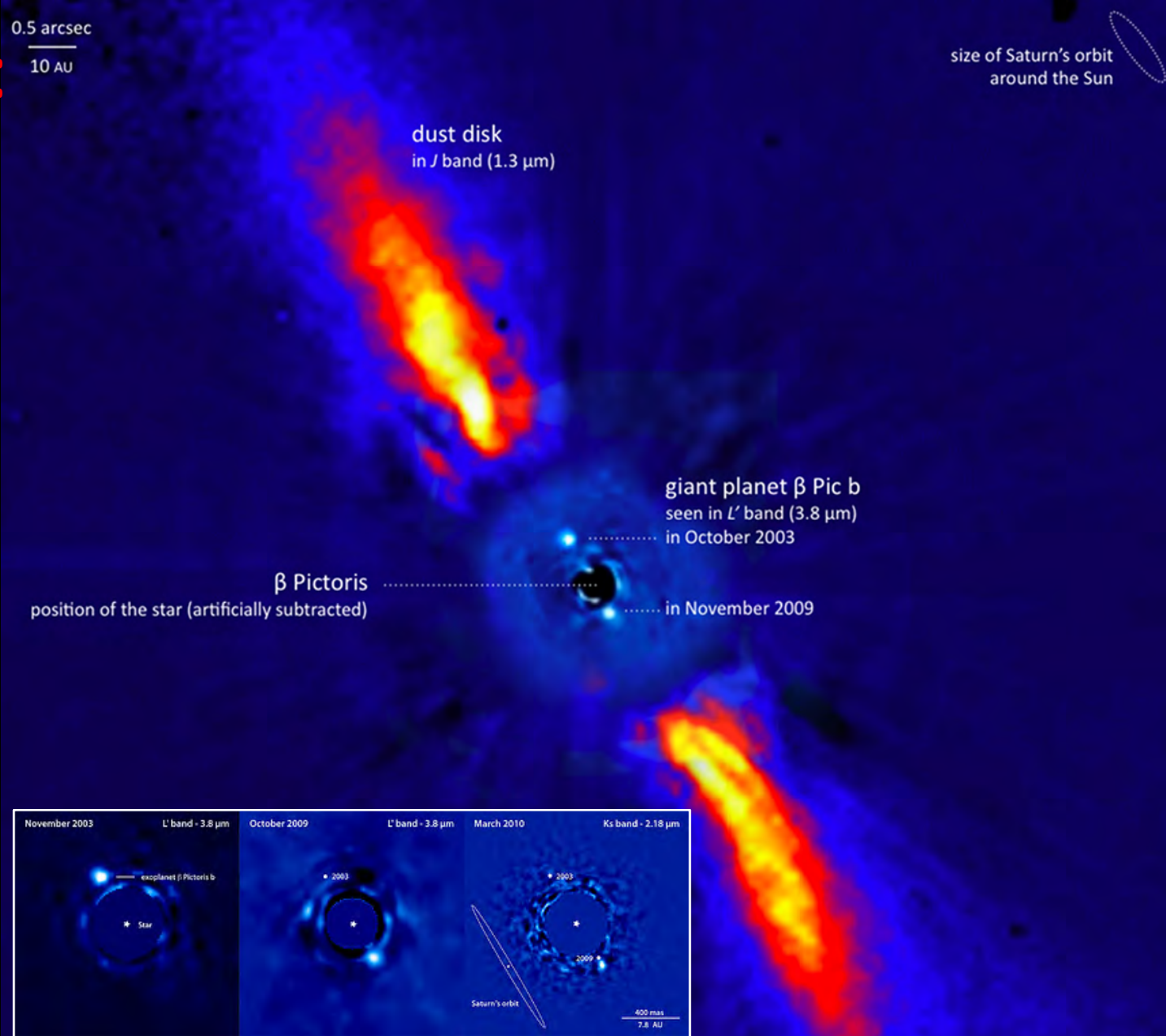


Source : Large Binocular Telescope (2015)

Source : Keck Observatory

β Pictoris : disque et planète

β Pictoris, étoile déjà connue pour son disque de poussières contenant des comètes tombant vers le centre du système, possède également une planète géante, imagée par le VLT en 2003 et 2009.



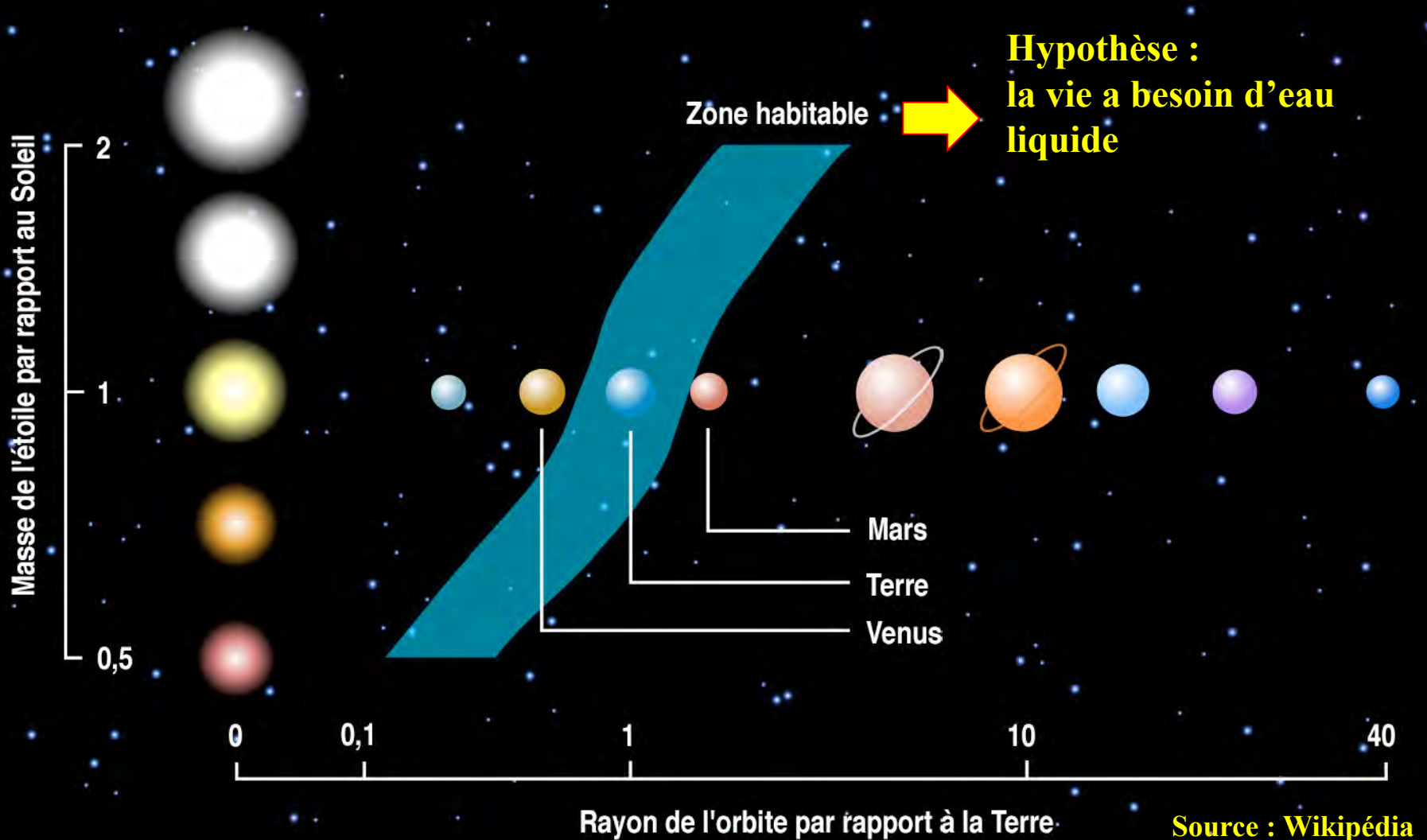
Infrared view of the planetary system around the young star β Pictoris

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)

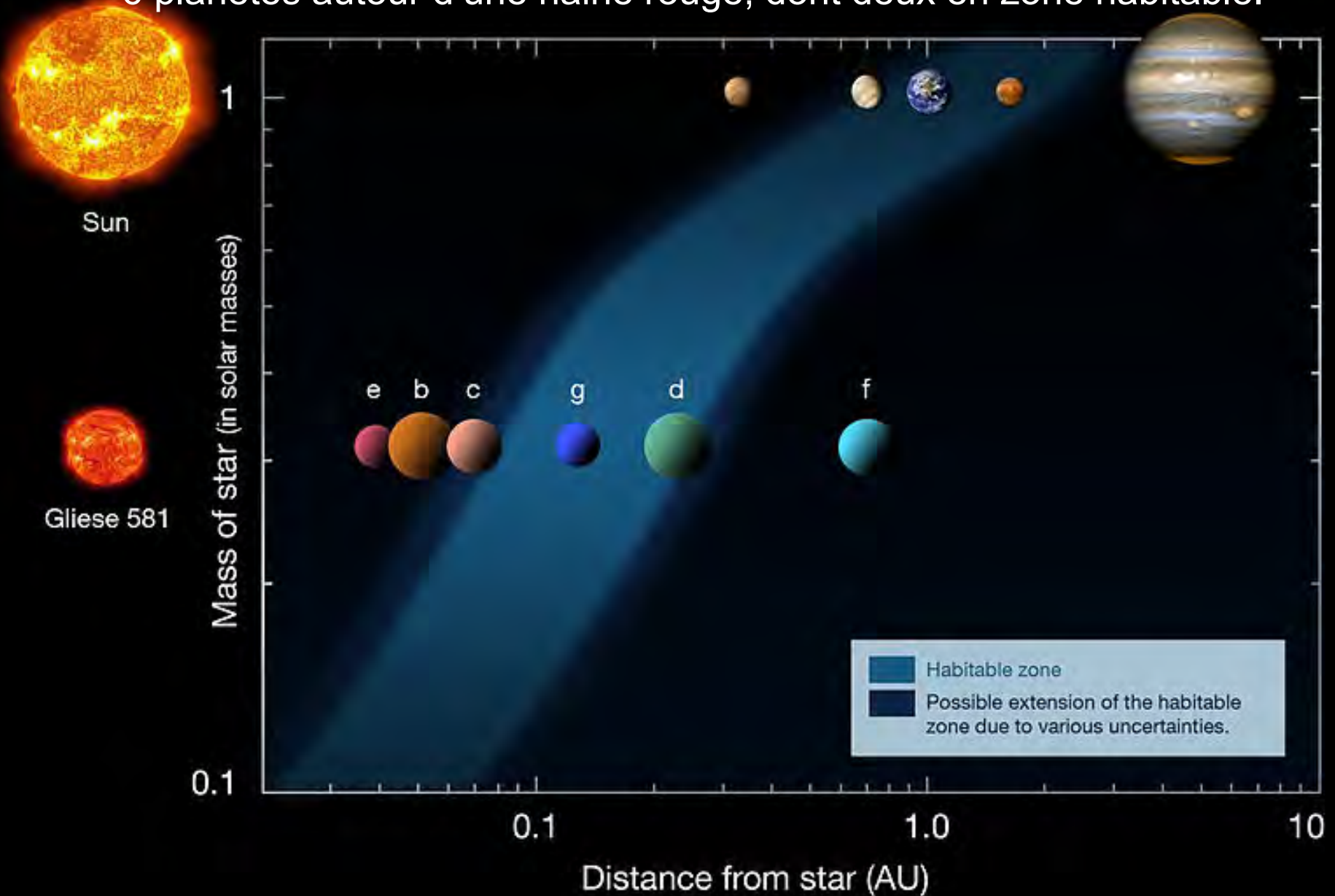
Où chercher la vie ?

- Planète de type terrestre
- Zone habitable
- Présence d'oxygène (d'ozone)



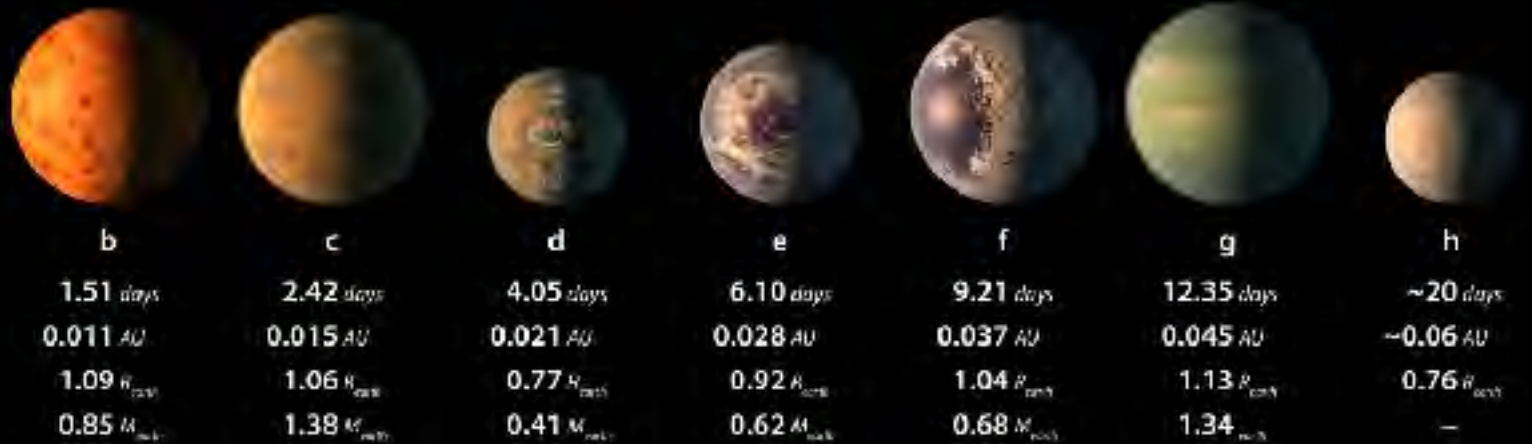
Gliese 581

6 planètes autour d'une naine rouge, dont deux en zone habitable.



TRAPPIST-1

7 planètes rocheuses autour d'une naine rouge à 39 années-lumière



Pour aller plus loin

- Les découvertes au jour le jour : <http://exoplanet.eu/>
- Catalogue d'exoplanètes : <http://exoplanet.hanno-rein.de/>
- Exoplanètes habitables : <http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog>
- Visualiseur de données : <http://exoplanets.org/>
- Site pédagogique : <http://media4.obspm.fr/exoplanetes/>
- Détection amateur : http://brucegary.net/book_EOA/WebEOA/ExoplanetObservingAmateurs.html
- Suivre les transits : <http://var2.astro.cz/ETD/>

Application
« **Exoplanet** »
sur iPhone et
iPad (gratuite) :

Pour être
prévenu en
direct des
découvertes !

