

Proxima b : notre plus proche voisine est-elle habitable ?

Julien Morin

Laboratoire Univers et Particules de Montpellier

Summer Camp OCEVU 2017

Montpellier – 28 juin 2017

Outline

- 1 Des planètes aux exoplanètes
- 2 Découvrir et étudier les exoplanètes
- 3 La découverte de Proxima b et son habitabilité potentielle
- 4 Apparition de la vie dans le système solaire et exobiologie

1 Des planètes aux exoplanètes

- Les «astres errants» de l'antiquité
- Du XVIIIe au XIXe siècle
- Le système solaire moderne
- D'autres systèmes planétaires ?

2 Découvrir et étudier les exoplanètes

3 La découverte de Proxima b et son habitabilité potentielle

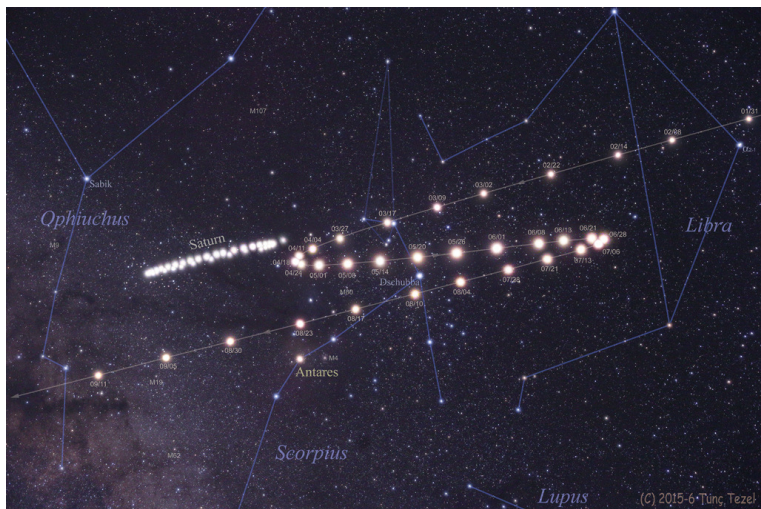
4 Apparition de la vie dans le système solaire et exobiologie

Les «astres errants» de l'antiquité



*Crédit : Tunç Tezel (TWAN)
Astronomy Picture Of the Day du 16/09/2016*

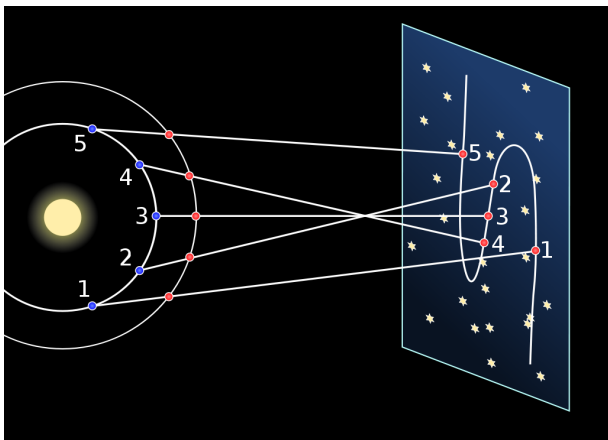
Les «astres errants» de l'antiquité



Crédit : Tunç Tezel (TWN)

Astronomy Picture Of the Day du 16/09/2016

XVIIe siècle : lois de Kepler



Boucle de rétrogradation de Mars

XVIIIe siècle : découverte d'Uranus



*Réplique du télescope (15 cm) utilisé par Herschel
pour découvrir Uranus (1781)*

XIXe siècle : découverte de Neptune

Première découverte indirecte d'une planète !

■ Calcul des perturbations d'Uranus

- J.C. Adams (1843)
- U. Le Verrier (1er juin 1846)

■ Confirmation observationnelle

- J.G. Galle (24 septembre 1846)

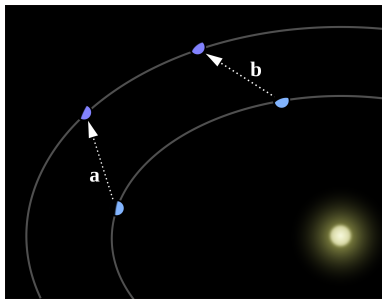


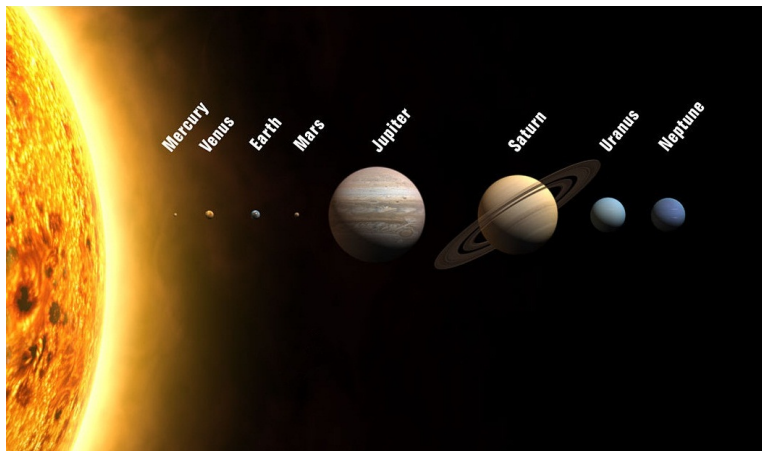
Illustration de la perturbation de l'orbite d'Uranus par Neptune

XIXe siècle : découverte de Neptune

“Ceux-ci [les astronomes] ont quelquefois trouvé, accidentellement, un point mobile, une planète, dans le champ de leur télescope ; M. Le Verrier a aperçu le nouvel astre sans avoir besoin de jeter un seul regard vers le ciel ; il l’a vu au bout de sa plume ; il a déterminé par la seule puissance du calcul, la place et la grandeur d’un corps situé bien au delà des limites jusqu’ici connues de notre système planétaire, d’un corps dont la distance au Soleil surpasse 1 200 millions de lieues [soit 4,8 milliards de kilomètres, NDR], et qui, dans nos plus puissantes lunettes, offre à peine un disque sensible.”

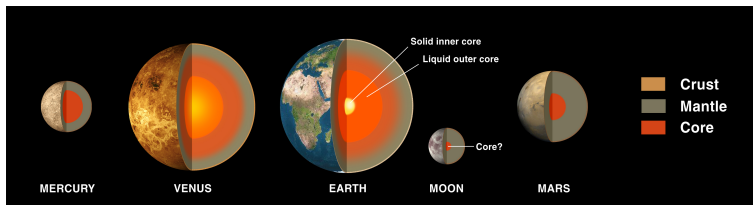
F. Arago. Extrait des Comptes rendus hebdomadaires des séances de l’Académie des sciences, juillet-décembre 1846

Le système solaire moderne



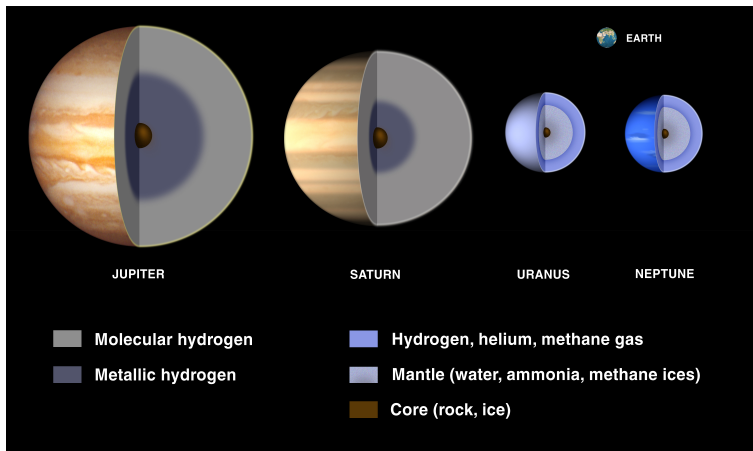
Diamètres des planètes à l'échelle, crédit : NASA

Le système solaire : compositions internes



Composition interne des planètes rocheuses, crédit : NASA

Le système solaire : compositions internes



Composition interne des planètes géantes, crédit : NASA

D'autres systèmes planétaires ?

- Épicure
 - *Lettre à Hérodote*, IIIe siècle av. J.-C.
- Giordano Bruno
 - *L'Infini, l'Univers et les Mondes*, 1584
- Bernard de Fontenelle
 - *Entretiens sur la pluralité des mondes*, 1686
- Isaac Newton
 - *Philosophiae naturalis principia mathematica*, 1687
- Otto Struve
 - *Proposal for a project of high-precision stellar radial velocity work*, 1952

ENTRETIENS SUR LA PLURALITÉ DES MONDES.

Par Monsieur DE FONTENELLE,
de l'Académie Française.

NOUVELLE ÉDITION,
augmentée de Pièces diverses.



A PARIS,

Chez MICHEL BRUNET, grand'Salle
du Palais, au Mercure Galant.

M DCC XXIV.
AVEC PRIVILEGE DU ROY.

1 Des planètes aux exoplanètes

2 Découvrir et étudier les exoplanètes

- Les difficultés de l'observation directe
- Détection indirecte : vitesses radiales
- Détection indirecte : astrométrie
- Détection indirecte : transits
- Bilan des détections
- La diversité des systèmes découverts

3 La découverte de Proxima b et son habitabilité potentielle

4 Apparition de la vie dans le système solaire et exobiologie

Les difficultés de l'observation directe

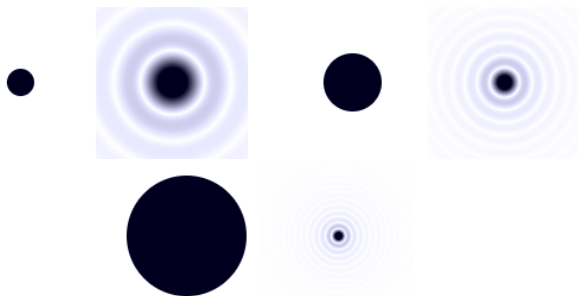


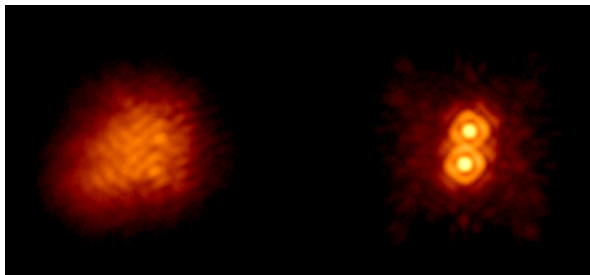
Image d'une étoile pour différents diamètres de télescope

Crédit: Fenêtres sur l'univers

“Photographier directement les exoplanètes est une tâche particulièrement compliquée, qui peut être comparée à la détection depuis la Belgique d'une luciole volant autour du phare du port d'Athènes”

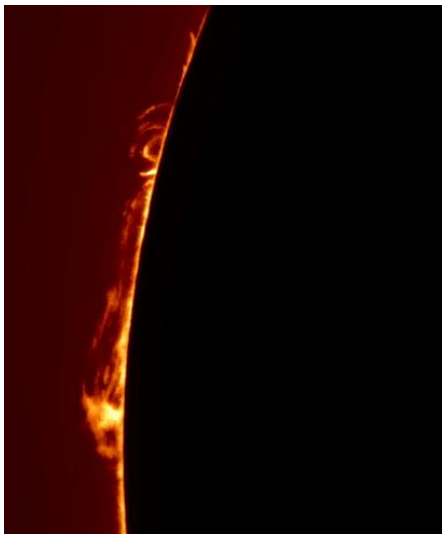
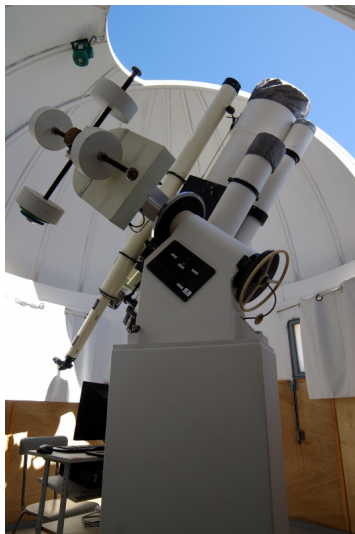
Olivier Absil, Département d'Astrophysique, Géophysique et Océanographie,
Université de Liège

Les difficultés de l'observation directe



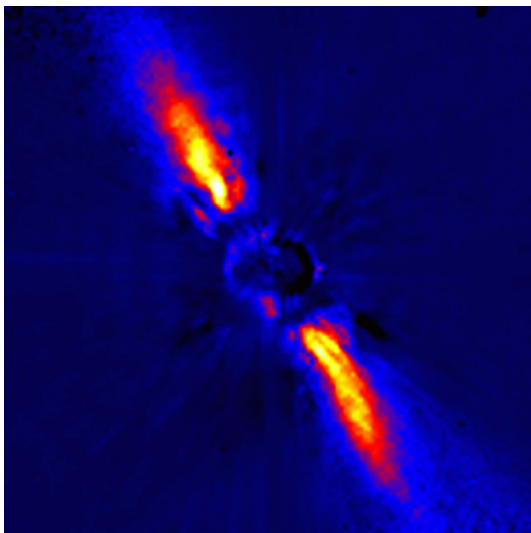
*Effets de l'atmosphère terrestre
Étoile binaire Iota Tau, télescope Hale (5.1 m)
Crédit: Vik Dikhon*

Observation directe : la coronographie



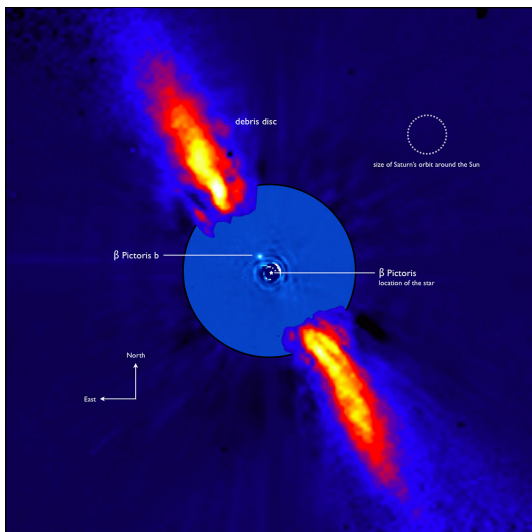
Coronographe de l'observatoire de la FdS

Observation directe : la coronagraphie



*β Pictoris observée avec le 3,6m (1996) de l'ESO
Crédit: ESO*

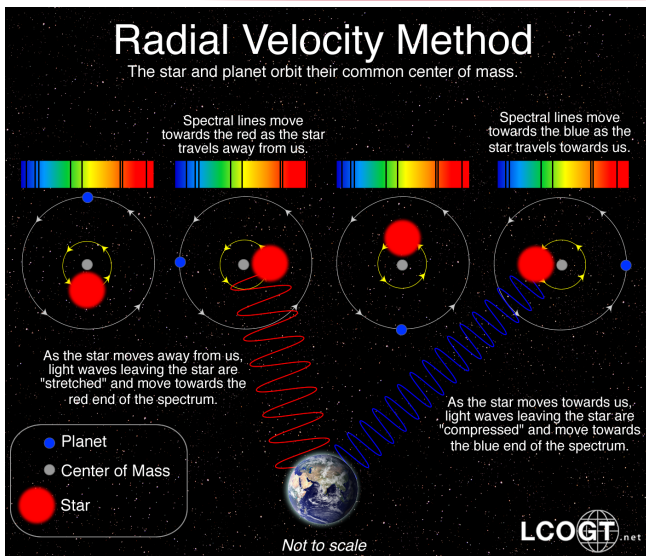
Observation directe : la coronographie



*β Pictoris observée avec le 3,6m (1996) et le VLT (2008) de l'ESO
Crédit: ESO/A.-M. Lagrange et al.*

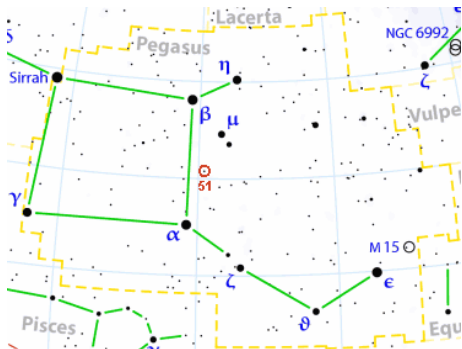
Détection indirecte : vitesses radiales

Détection indirecte : vitesses radiales



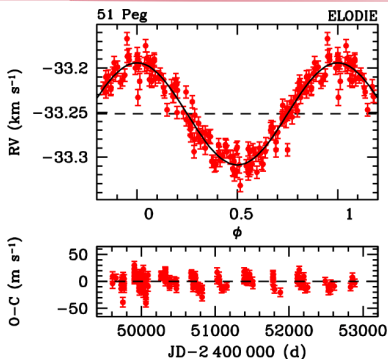
Credit: Las Cumbres Observatory Global Telescope Network

Vitesses radiales : 51 Peg b



51 Peg b dans le ciel

Vitesses radiales : 51 Peg b



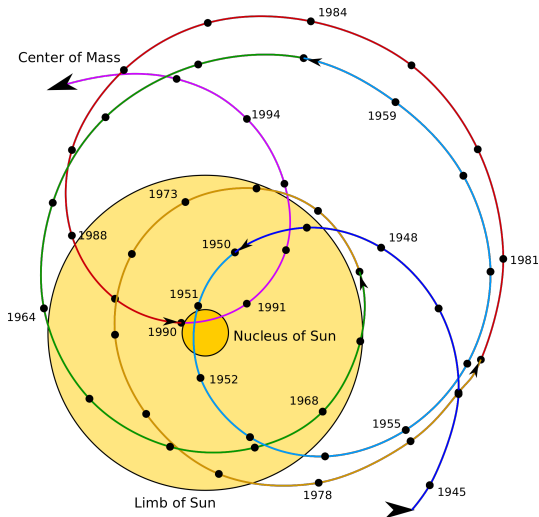
Mesures de vitesse radiale de 51 Peg b

M. Mayor & D. Queloz, *Nature*, 1995

→ $P = 4,23 \text{ j}$ $m_p \sin i = 0.47 M_J$ $a = 0,053 \text{ ua}$ $T = 1280 \text{ K}$

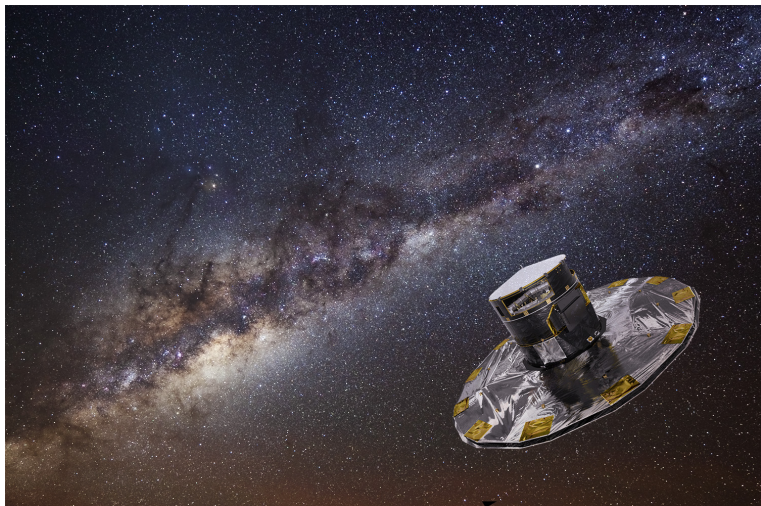
$$m_p \sin i = \frac{M_\star^{2/3} K_1 P_{\text{orb}}^{1/3}}{(2\pi G)^{1/3}} ; a = \left(\frac{GM_\star}{4\pi^2} P^2 \right)^{1/3}$$

Détection indirecte : astrométrie



Mouvement du barycentre du système solaire

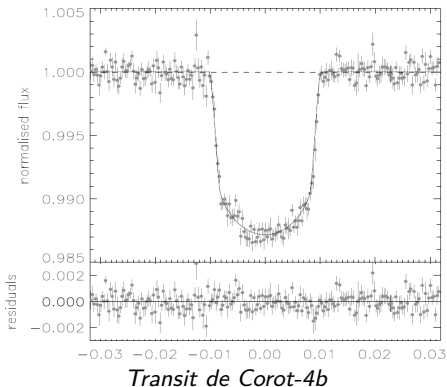
Détection indirecte : astrométrie



Le satellite Gaia, crédit : ESA

Détection indirecte : transits

Détection indirecte : transits

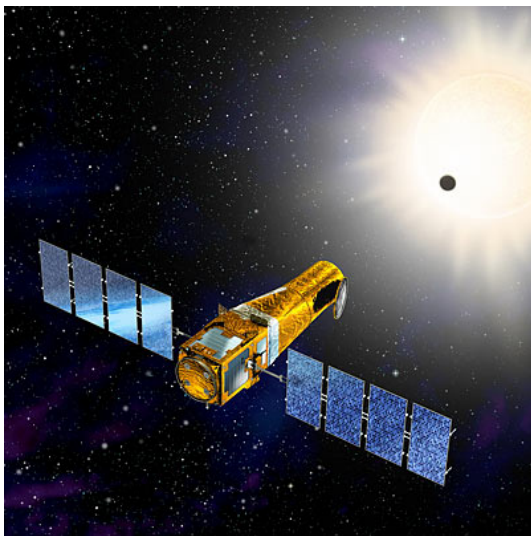


Crédit : S. Aigrain et al. (2008)

→ $P = 9,20 \text{ j}$ $R/R_{\star} = 0,10$ $a/R_{\star} = 17,36$

$$\frac{R_p}{R_{\star}} = \sqrt{\frac{\Delta F}{F}} ; \quad \frac{a}{R_{\star}} = \frac{2P_{\text{orb}}}{\pi} \frac{\Delta F^{1/4}}{\sqrt{t_T^2 - t_F^2}}$$

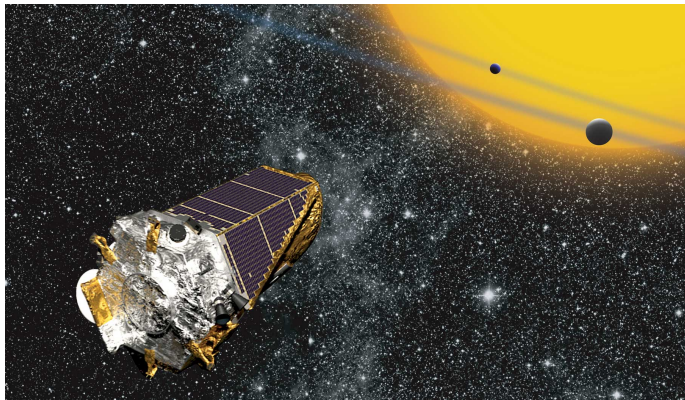
Transits : les instruments



Le télescope spatial CoRoT

Crédit : CNES

Transits : les instruments

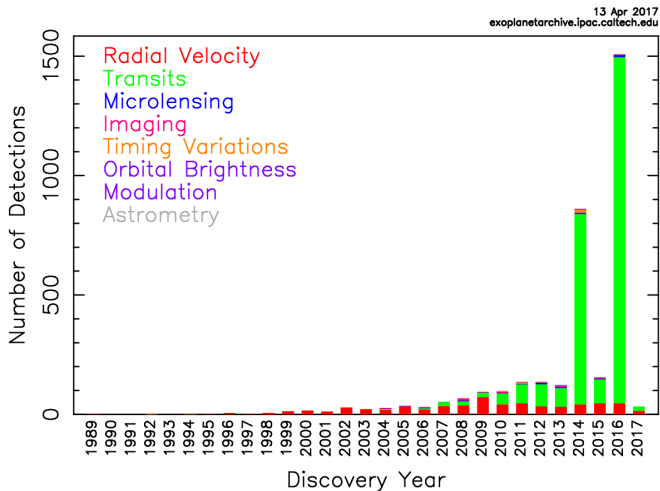


Le télescope spatial Kepler

Crédit : NASA

Bilan des détections

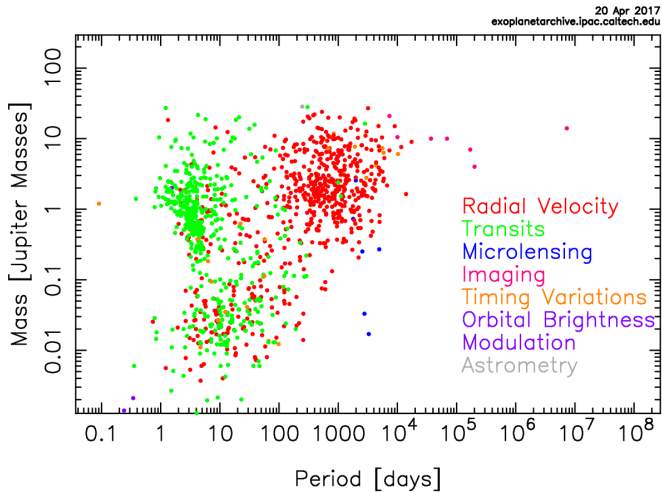
Detections Per Year



Crédit : NASA Exoplanet Science Institute

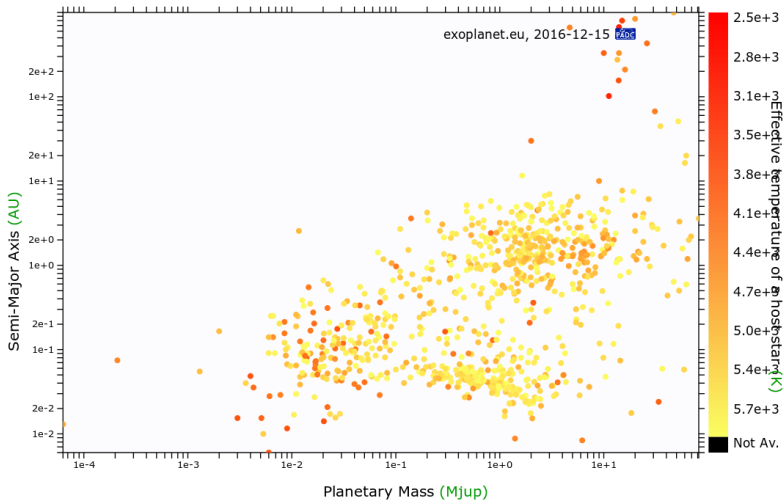
Bilan des détections

Mass – Period Distribution



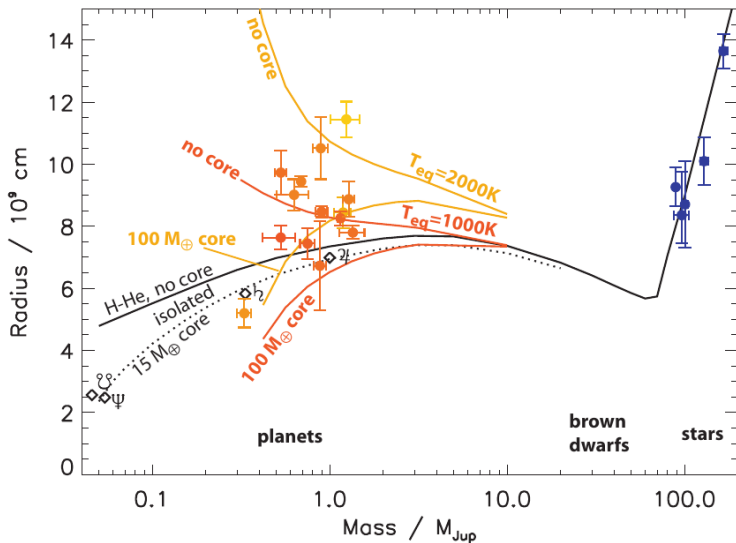
Crédit : NASA Exoplanet Science Institute

La diversité des systèmes découverts



Source: *exoplanets.eu*

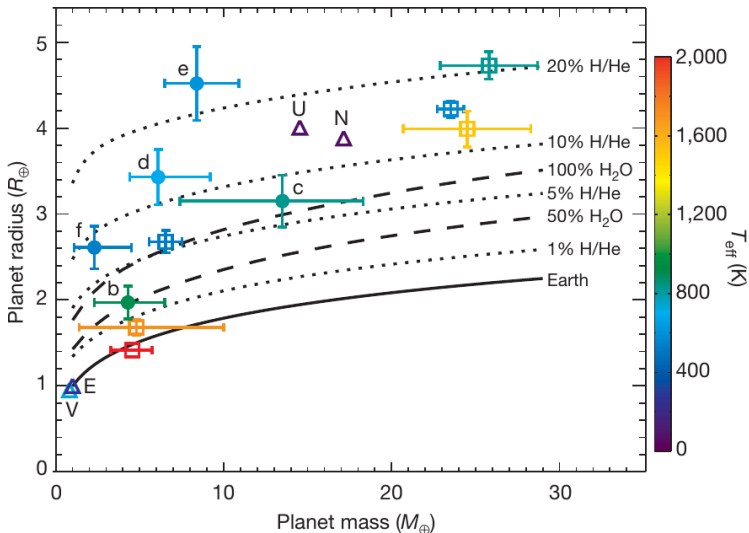
La diversité des systèmes découverts



Relation masse-rayon pour les exoplanètes géantes

Crédit : Fortney (2007)

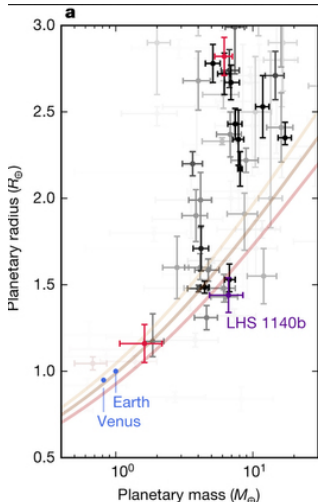
La diversité des systèmes découverts



Relation masse-rayon pour les «super-Terres»

Crédit : Lissauer et al. (2011)

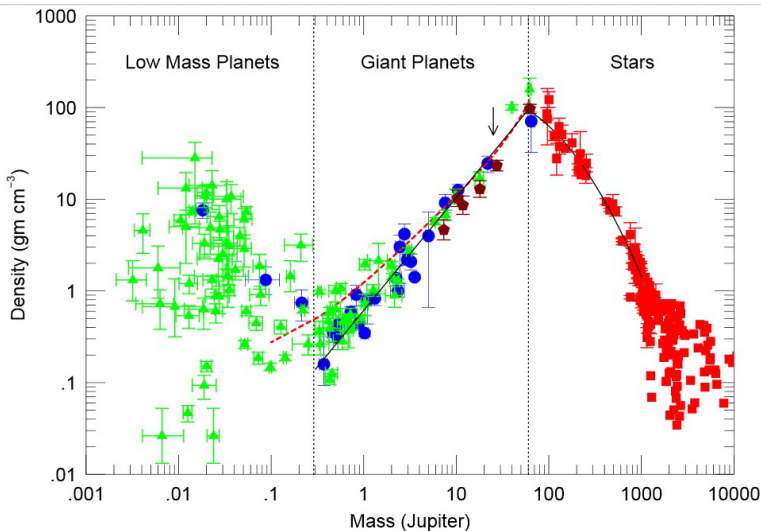
La diversité des systèmes découverts



Relation masse-rayon pour les «exoTerres» et «super-Terres»

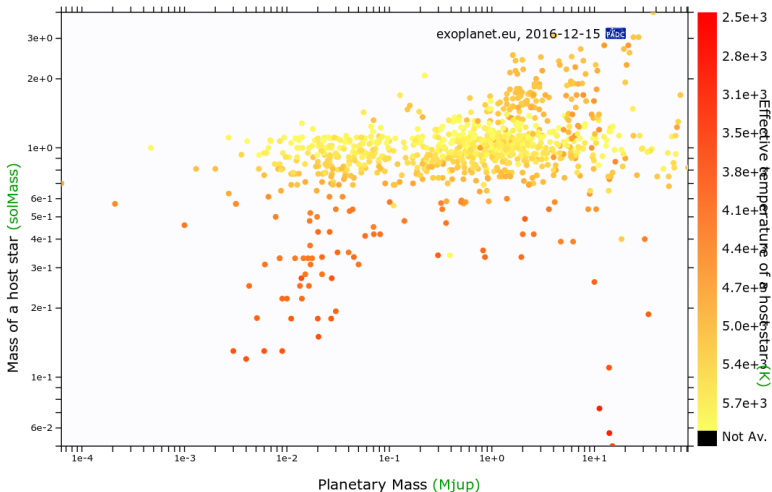
Crédit : Dittmann et al. (20 avril 2017)

La diversité des systèmes découverts



Densité des exoplanètes
Credit : Hatzes & Rauer

La diversité des systèmes découverts



Source: *exoplanets.eu*

Potentially Habitable Exoplanets

Ranked by the Earth Similarity Index (ESI)



[0.87]
Proxima b



[0.84]
GJ 667 C c



[0.84]
Kepler-442 b



[0.77]
GJ 667 C f*



[0.76]
Wolf 1061 c



[0.73]
Kepler-1229 b



[0.67]
Kapteyn b*



[0.67]
Kepler-62 f



[0.61]
Kepler-186 f



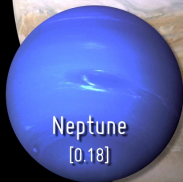
[0.60]
GJ 667 C e*



Earth
[1.00]



Mars
[0.64]



Jupiter
[0.12]

Neptune
[0.18]

Artistic representations. Earth, Mars, Jupiter, and Neptune for scale. ESI is a measure of how similar is a planet to the size and stellar flux of Earth, value is between brackets. Planet candidates indicated with asterisks.

CREDIT: PHL @ UPR Arcicco (phl.upr.edu) August 24, 2016

Source: *Planetary Habitability Laboratory, septembre 2016*

1 Des planètes aux exoplanètes

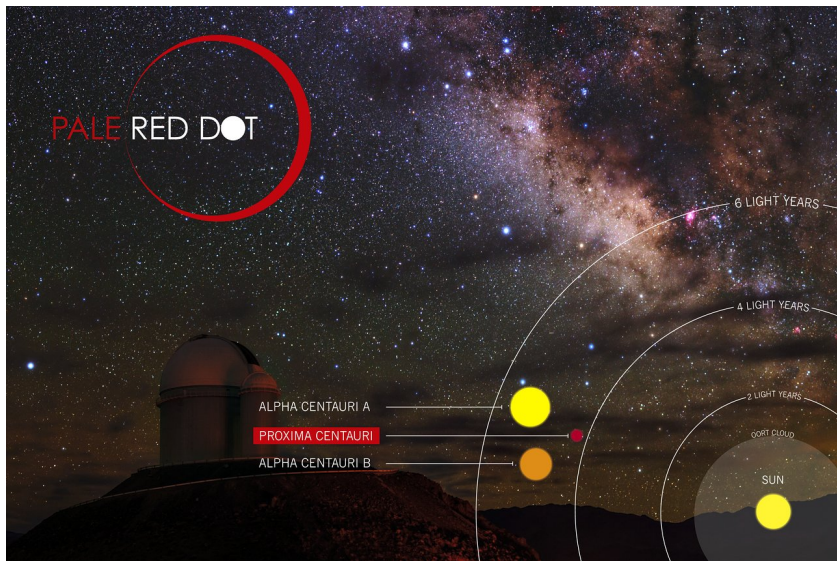
2 Découvrir et étudier les exoplanètes

3 La découverte de Proxima b et son habitabilité potentielle

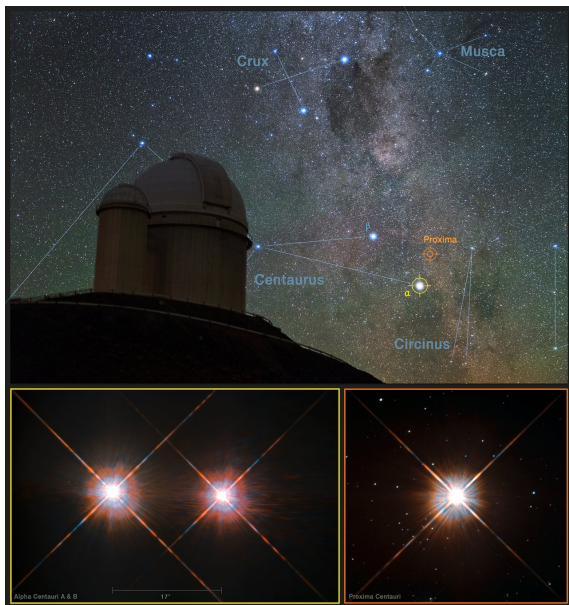
- Détection de Proxima b
- Imaginer Proxima b
- Habitabilité de Proxima b ?
- Proxima b : les prochaines étapes
- TRAPPIST-1
- Vers de nouvelles exo-Terres avec SPIRou

4 Apparition de la vie dans le système solaire et exobiologie

Détection de Proxima b: Pale Red Dot



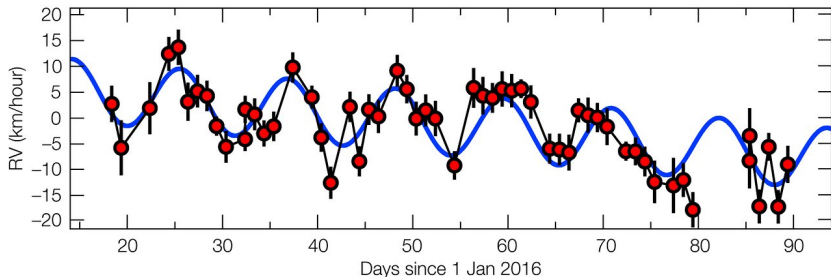
Détection de Proxima b: Pale Red Dot



Détection de Proxima b: Pale Red Dot

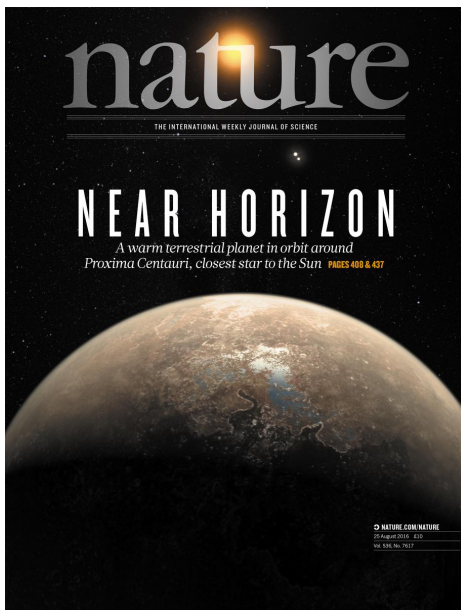


Détection de Proxima b: Pale Red Dot

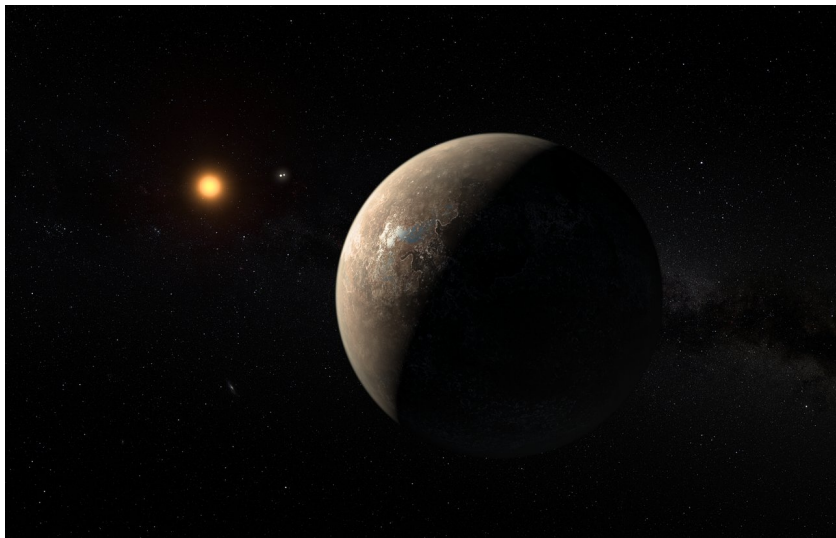


→ $P = 11,19 \text{ j}$ $m \sin i = 1,27 M_{\oplus}$ $a = 0,049 \text{ ua}$ $T = 234 \text{ K}$

Détection de Proxima b: Pale Red Dot



Imaginer Proxima b



Crédit : ESO

Imaginer Proxima b



Crédit : NASA "Exoplanet Travel Bureau"

Imaginer Proxima b



Crédit : ESO

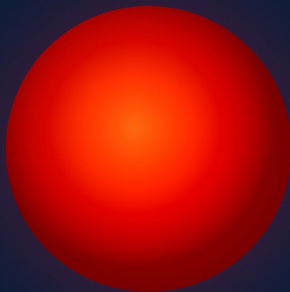
Imaginer Proxima b

Sun angular diameter = $32' = 0.5^\circ$

Proxima angular diameter = $96' = 1.5^\circ$



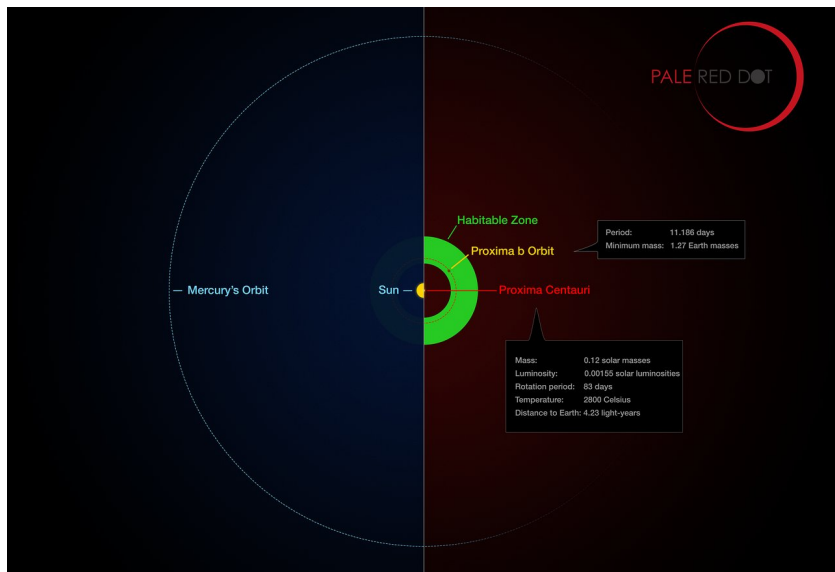
Sun



Proxima

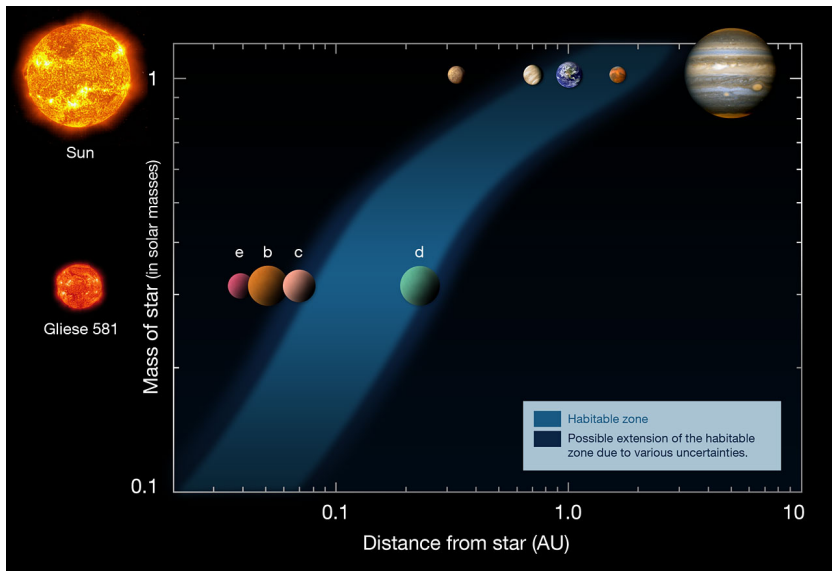
Crédit : ESO

La “zone habitable” ou “zone tempérée”



Crédit : ESO

La "zone habitable" ou "zone tempérée"



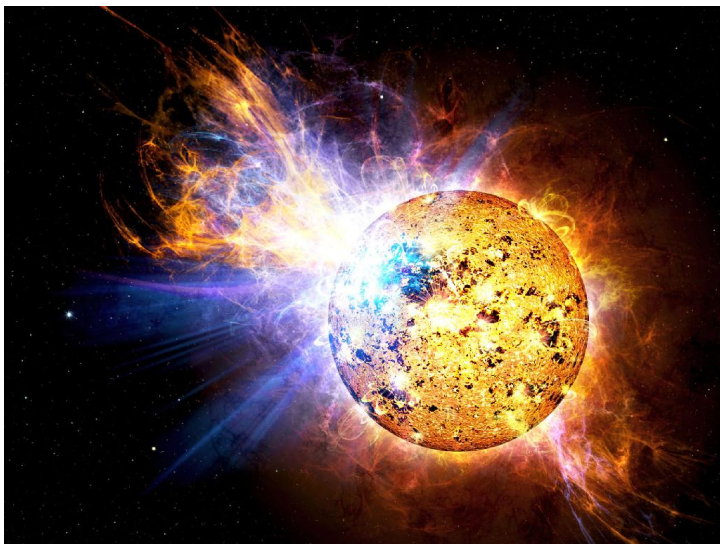
Zone habitable de GJ 581, Mayor et al. (2009)

La “zone habitable” ou “zone tempérée”



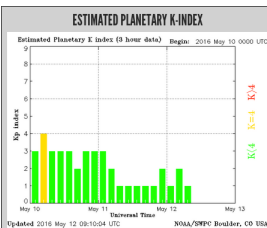
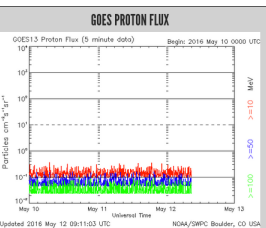
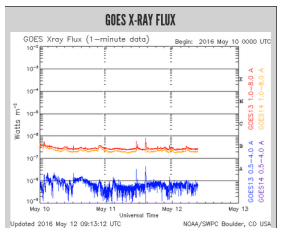
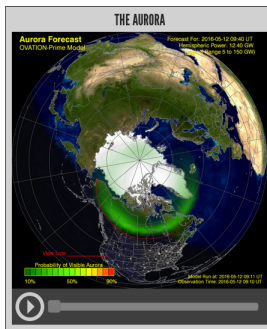
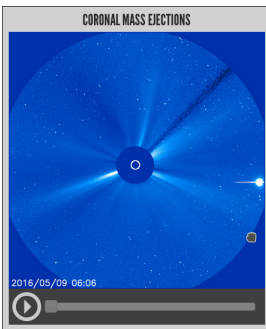
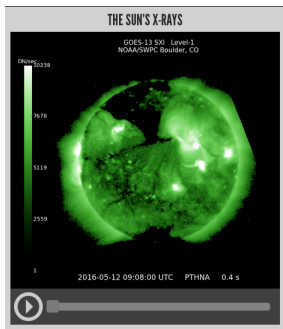
Apollo 17, crédit : NASA

Proxima : une étoile active



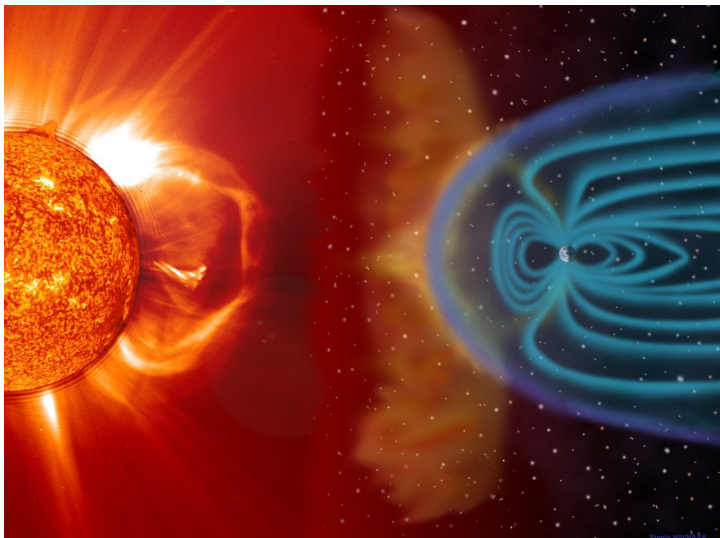
Vue d'artiste de l'étoile active EV Lac, crédit : C. Reed/Osten et al. (2009)/NASA

Proxima : une étoile active



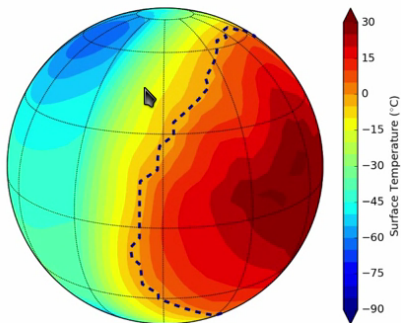
Météo spatiale, source : spaceweather.com

Proxima : une étoile active



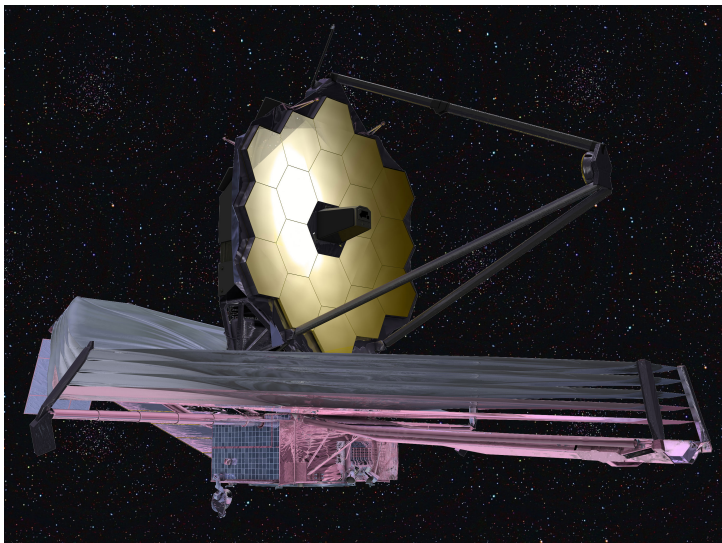
Interaction Soleil-Terre, crédit : NASA

Effets de marée et rotation synchrone



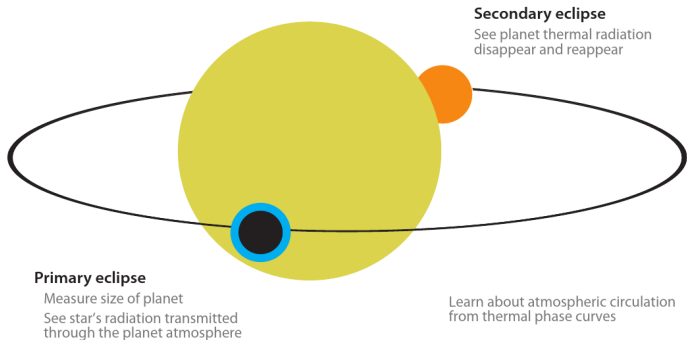
Simulation de la température de surface de Proxima b, M. Turbet et al. (2016)

Détecter l'atmosphère de Proxima b ?



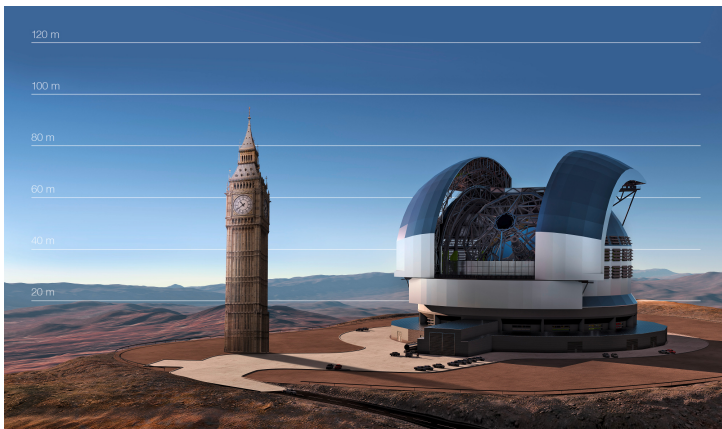
Vue d'artiste du JWST, crédit : NASA

Détecter l'atmosphère de Proxima b ?



Crédit : Seager (2010)

Détecter l'atmosphère de Proxima b ?



Vue d'artiste du télescope E-ELT, crédit : ESO

Red Dots: all terrestrial planets within 5 pc

REDDOTS

HOME GOALS OBSERVATORIES MEET THE TEAM FORUM TOOLKIT DATA

NEWS [19th June 2017] ESOcast 113 Light: Live search for Planets around Proxima Centauri continues

SEARCH

ARTICLES

Is there life around the nearest stars? - by Avi Loeb

The search begins June 20th!

SCIENCE LOGS

Welcome to the photometry log

Science reports, observatories and more

COMMUNITY

Community Log - join us with the Red Dots Campaign!

Join the community!

PRO-AM FOLLOW-UP

AAVSO tools & tutorials for contributors

LATEST FORUM POSTS

Reply To: Cadence for Photometry 27th June 2017 John Strachan

Reply To: Cadence for Photometry 26th June 2017 Lorenzo Barbieri

Reply To: C1 reference star 25th June 2017 Craig Young

Reply To: C1 reference star 25th June 2017 John Strachan

Reply To: Magnetic fields and volcanic activities of planets 25th June 2017 John Strachan

Magnetic fields and volcanic activities of planets 25th June 2017 Diego Alves

VIDEO LOGS

ESOcast 113 Light: Live search for Planets around Proxima Centauri continues

19th June 2017 1

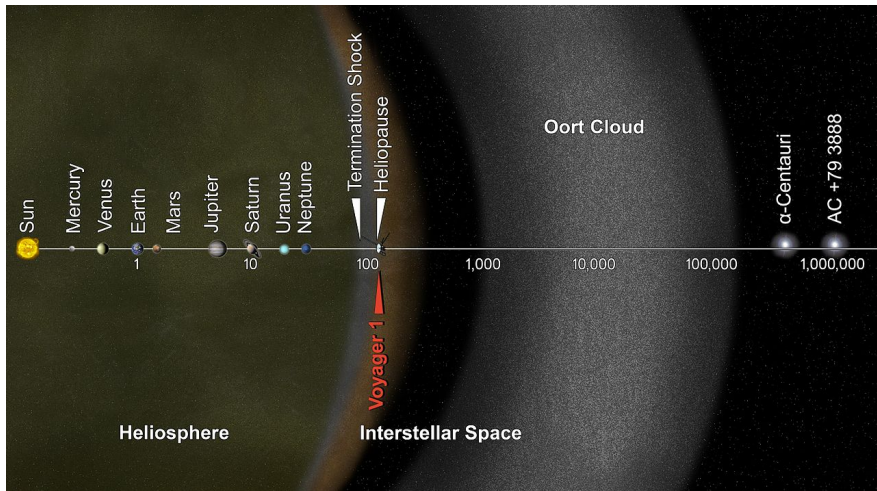
COMMUNITY

Community Log - join us with the Red Dots Campaign!

Following on from the success of Pale Red Dot, our team are now searching for more terrestrial rocky worlds around nearby red dwarfs. This year we are targeting Proxima Centauri, Barnard's star, and Ross 154. Proxima [...]

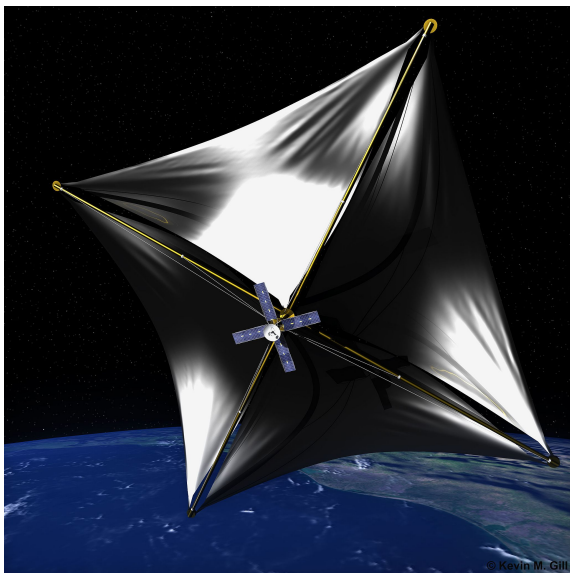
<https://reddots.space/>

Voyager vers Proxima b ?



Du Soleil à α Centauri (échelle logarithmique), crédit : NASA

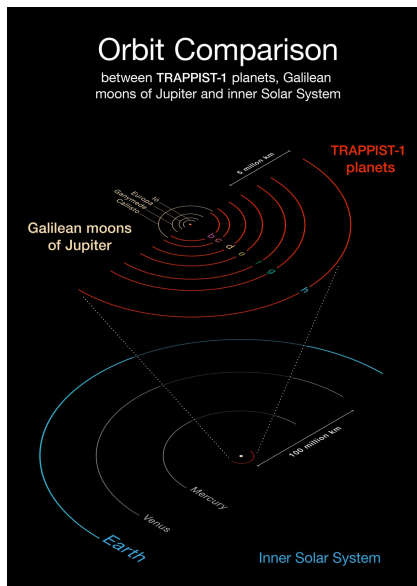
Voyager vers Proxima b ?



Vue d'artiste d'une sonde à voile photonique, Crédit : K.M. Gill

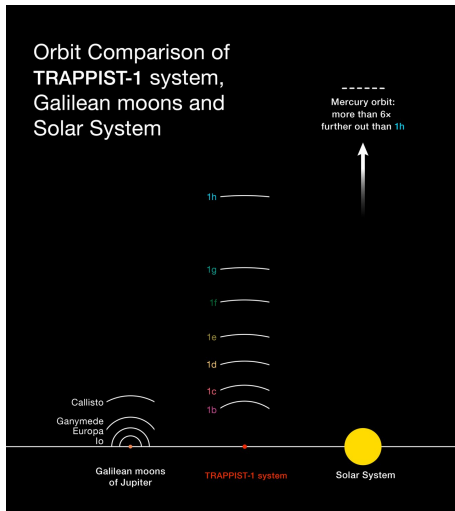


TRAPPIST-1



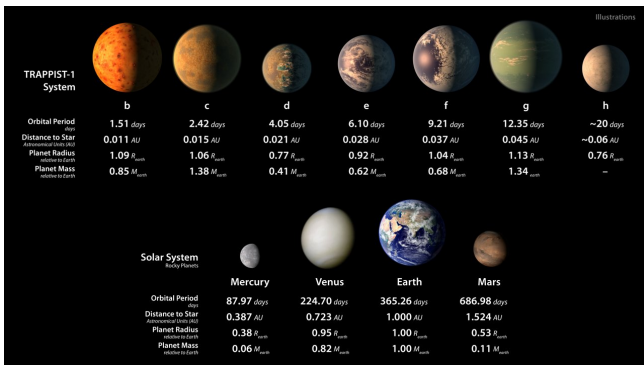
Crédit : ESO

TRAPPIST-1



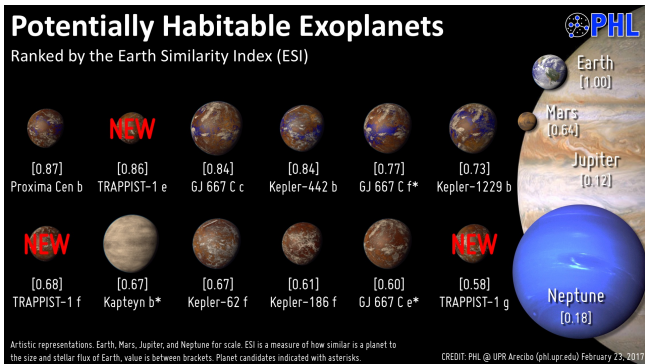
Crédit : ESO

TRAPPIST-1



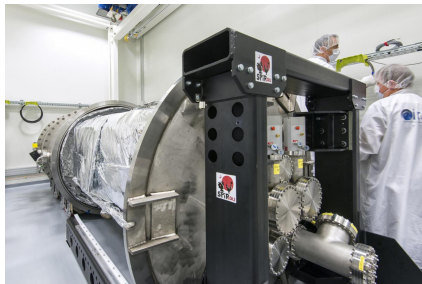
Crédit : ESO

TRAPPIST-1



Crédit : Planetary Habitability Laboratory

Vers de nouvelles exo-Terres avec SPIRou

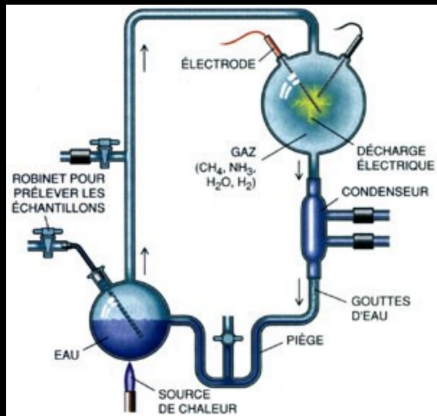


SPIRou. Crédits : CFHT / Consortium SPIRou

Outline

- 1 Des planètes aux exoplanètes
- 2 Découvrir et étudier les exoplanètes
- 3 La découverte de Proxima b et son habitabilité potentielle
- 4 Apparition de la vie dans le système solaire et exobiologie**
 - Les problématiques de l'apparition de la vie
 - La vie ailleurs dans l'univers ?
 - Le mot de la fin : Carl Sagan

Expérience de Stanley Miller (1953)



L'expérience de Miller, crédit : G. Jasiewicz

La vie ailleurs dans l'univers ?



Le paradoxe de Fermi
Alexandre Astier, l'Exoconférence

Équation de F. Drake (1961)

$$N_T = R_* f_p n_e f_l f_i f_t t_l$$

N_T : nombre de civilisations capables de communiquer

R_* : taux de formation des « bonnes » étoiles (type ~ solaire) : 1 – 10 /an

f_p : fraction des étoiles ayant un système planétaire : 0.1 – 0.5

n_e : nombre de planètes de type terrestre par système planétaire : 1 – 3

f_l : fraction de ces planètes sur lesquelles la vie apparaît : 0.1 – 1

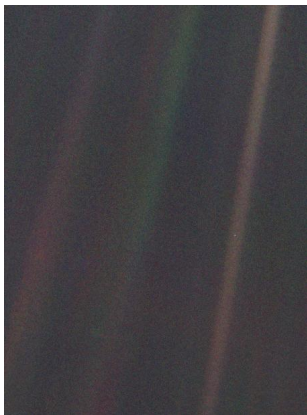
f_i : fraction sur lesquelles l'intelligence se développe : 0.01 – 1

f_t : fraction des êtres intelligents développant une technologie : 0.1 – 1

t_l : durée de vie d'une civilisation capable de communiquer : 10^3 – 10^6 ans

L'équation de Drake, crédit : G. Jasniewicz

Le mot de la fin : Carl Sagan



“From this distant vantage point, the Earth might not seem of any particular interest. But for us, it’s different. Consider again that dot. That’s here. That’s home. That’s us. On it everyone you love, everyone you know, everyone you ever heard of, every human being who ever was, lived out their lives.”

Carl Sagan, Pale Blue Dot : A Vision of the Human Future in Space