

L'exploration de l'univers: quels sens ?

Vincent Minier

Astrophysicien au CEA Saclay

Chercheur associé au Centre François Viète, Université de Nantes

Contact et site Internet

<http://www.vincentminier.fr>

vincent.minier@cea.fr



Séance #3: les découvertes scientifiques, révolutions ou simples avancées ?

1. Le concept des révolutions scientifiques de Kuhn
2. Les exoplanètes
3. Big Bang, énergie noire et matière noire

Séance #3: les découvertes scientifiques, révolutions ou simples avancées ?

1. Le concept des révolutions scientifiques de Kuhn
2. Les exoplanètes
3. Big Bang, énergie noire et matière noire

Les révolutions scientifiques

- Thomas S. Kuhn (1922 – 1996): la Structure des révolutions scientifiques (1962).
- L'évolution des idées scientifiques est discontinue:
 - Science normale (paradigme 1)
 - Crise
 - Science révolutionnaire
 - Révolution scientifique
 - Normalisation (paradigme 2)
 - ...
- **Notion de paradigme = modèle scientifique qui fait l'objet d'un consensus = matrice disciplinaire = modèle de comportement, d'action et de pensée.**
 - Acceptation et appropriation de contenus théoriques (lois et principes incontestables).
 - Soumission à des normes de la recherche, ce qui est scientifique dans la démarche (ex: la simplicité)
 - Acquisition d'un savoir-faire (non théorique) qui permet de manipuler les outils techniques et théoriques du paradigme.

Le paradigme scientifique

- Notion de paradigme = modèle scientifique = matrice disciplinaire
 - Généralisation des symboles (= les expressions, formules qui sont admises par la communauté; ex: $U=RI$, $E=mc^2$, $PV=nRT...$)
 - Métaphysique des paradigmes: modèles et images qui sont valorisés par les membres de la communauté (ex: modèles ontologiques qui décrivent ce qui se passe effectivement – l'atome; modèles heuristiques qui décrivent ce qui guide la compréhension sans être pour autant effectifs – la mécanique quantique).
 - Les valeurs: idéal de scientificité partagé par tous les scientifiques, les théories scientifiques doivent déboucher sur des prédictions exactes et quantitatives, pas de contradiction ... (ex: simplicité ou complexité).
 - Les exemples communs (TP, TD, outils communs de résolution de problème) qui conditionnent le scientifique dès sa formation.

Science normale, science révolutionnaire

- Science normale: résolution d'énigmes à l'aide du paradigme en vigueur. Phase de vérification des promesses de succès scientifique (ex: le Boson de Higgs).
- Science normale n'a pas vocation à innover, et « se préoccupe très peu de trouver des nouveautés d'importance capitale, tant dans le domaine des concepts que dans celui des phénomènes. »
- Science révolutionnaire: trouver un nouveau paradigme en explorant les failles de l'ancien.
- Crise: le paradigme échoue à prédire, expliquer, quantifier un problème scientifique (ex: le neutrino supraluminique, la matière noire, l'énergie noire...). Faillite du modèle heuristique ...
délimitation du domaine de validité de l'ancien paradigme (ex: la vitesse finie de la lumière). La crise est propice aux découvertes.
- Compétition entre plusieurs théories ... vers une résolution de crise ou l'adoption d'un nouveau paradigme.

Le paradigme de Kuhn, l'implicite social

- Prise en compte de facteurs sociaux dans l'évolution des sciences.
 - Les hommes de science vivent dans un monde socio-cognitif = paradigme (cf. Schinn et Ragouet).
 - Le contexte social autorise la remise en cause d'un paradigme (ex: évolution de notre cosmogonie, de Ptolémée à Galilée).
 - L'adoption d'un nouveau paradigme s'explique également par des raisons extérieures à la science.
- Les limites du modèle de Kuhn
 - Vision très unitaire de la science. La physique est composée de nombreuses sous-disciplines qui évoluent différemment.
 - Un modèle qui fonctionne bien pour les grandes théories.
 - Les grandes découvertes scientifiques sont souvent liées à des grands instruments. Quel est l'influence des instruments sur les changements de paradigme ?

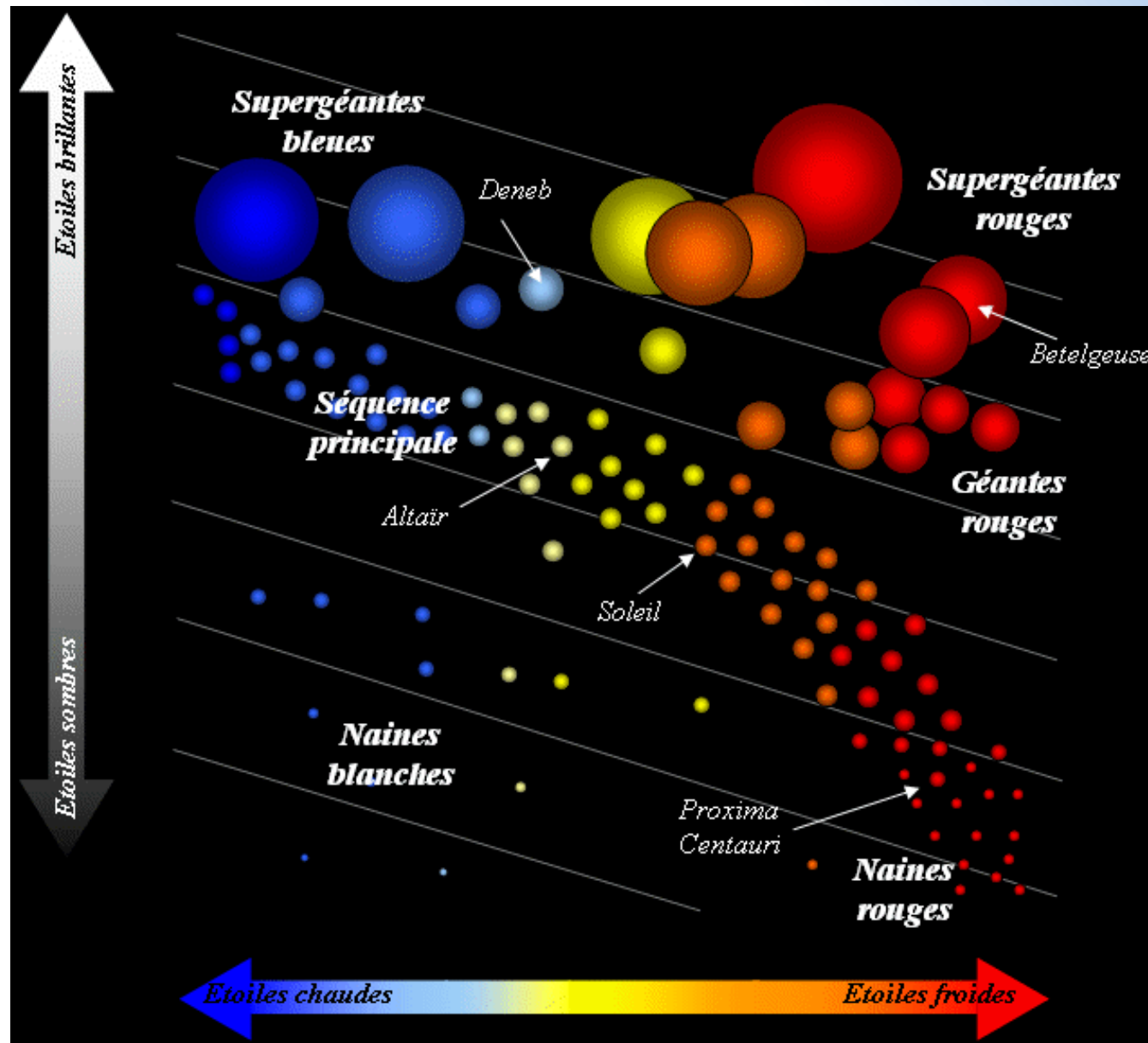
Séance #3: les découvertes scientifiques, révolutions ou simples avancées ?

1. Le concept des révolutions scientifiques de Kuhn
- 2. Les exoplanètes**
3. Big Bang, énergie noire et matière noire

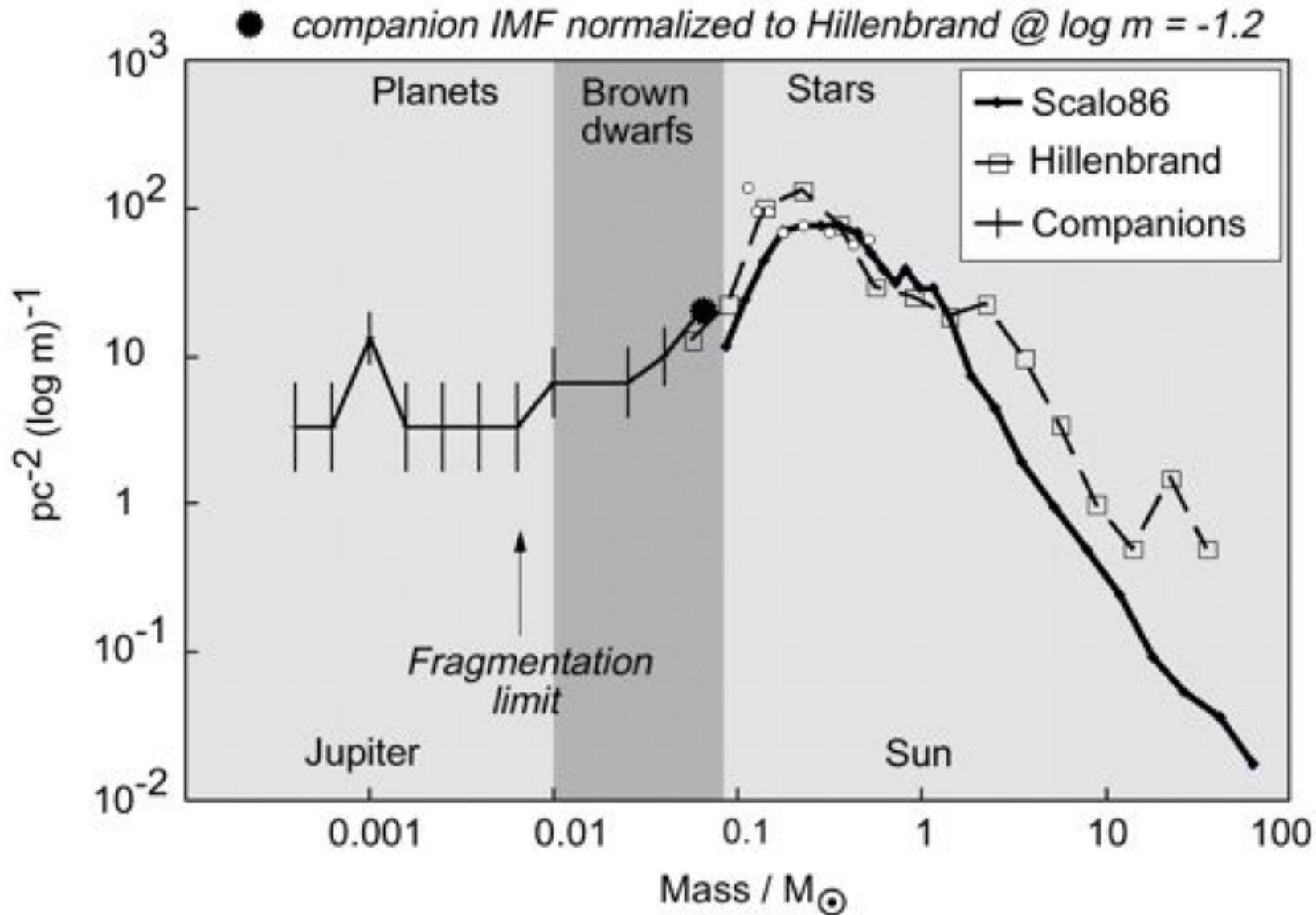
Les étoiles naissent en amas



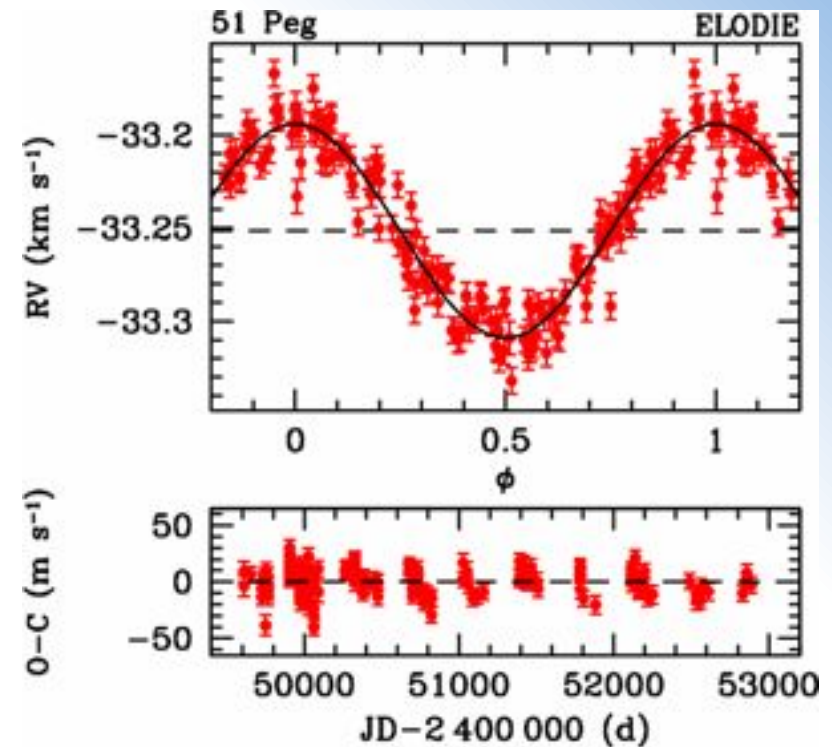
Les étoiles sont variées



Les petites étoiles sont majoritaires



Depuis 1995: 725 exoplanètes



Jupiter chaud (hot Jupiter):

proche de la masse de Jupiter (318 masses terrestres, $1,9e27$ kg)
en orbite proche ~ 0.05 ua (1 ua = 150 millions de km = Terre-Soleil)

Décembre 2011: 2 exoplanètes comparables à la Terre



Fressin et al. 2011, Nature

2 exoplanètes comparables à la Terre

Image vue dans les médias pour illustrer la découverte.



Peut-on vraiment voir une planète hors du système solaire ?

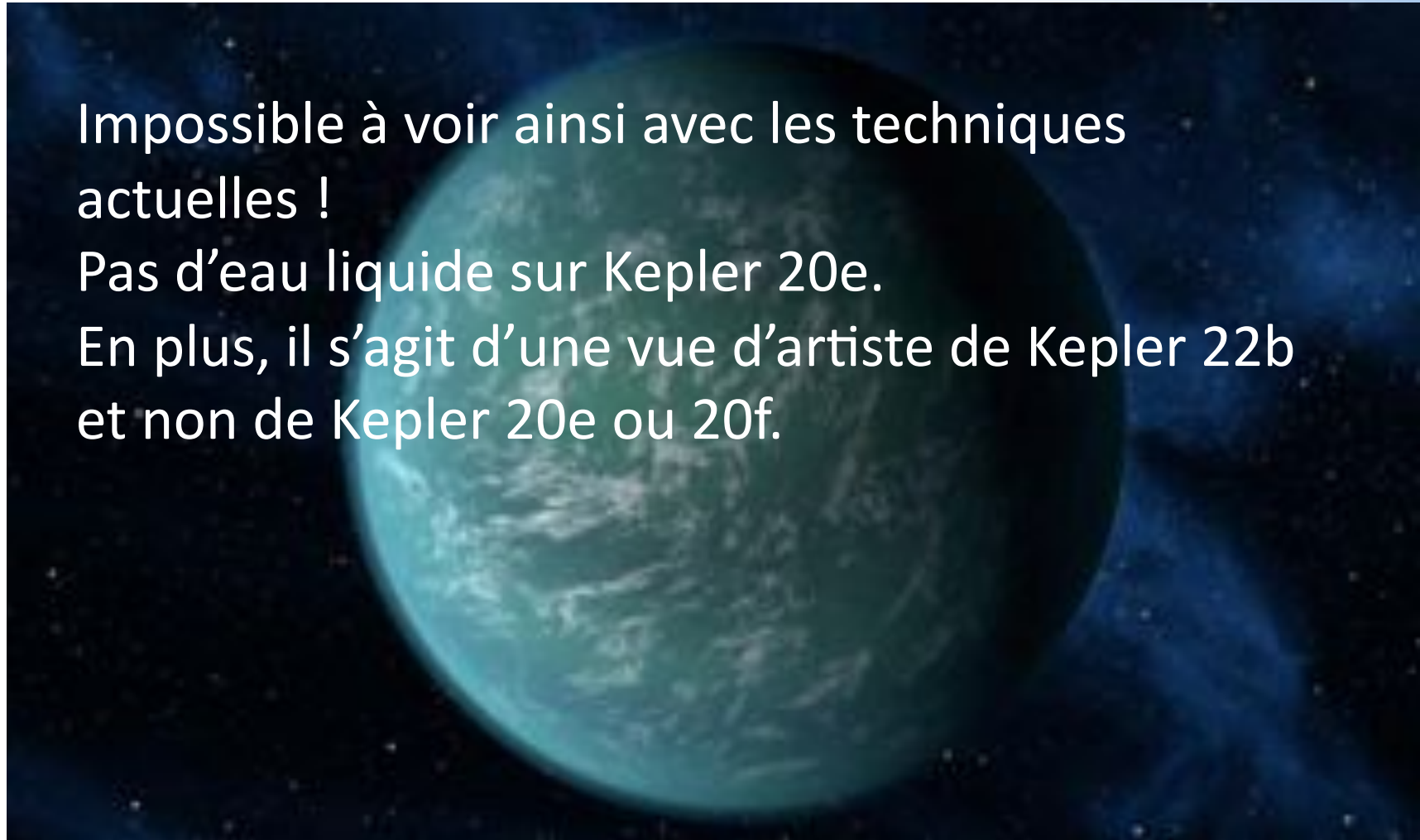
- Distance entre nous et un autre soleil:
 - 10 pc à 10 kpc
- Pour les plus proches (~ 10 pc = $10 \times 3 \times 10^{13}$ km):
 - Jupiter ($r=72000$ km) apparaîtrait sous un angle de: $2 \times 72000 / (10 \times 3 \times 10^{13}) = 1 \times 10^{-4}$ arcsec
 - Terre ($r=6400$ km): $2 \times 6400 / (10 \times 3 \times 10^{13}) = 1 \times 10^{-9}$ arcsec
 - Distance Terre-Soleil (1 ua = $1,5 \times 10^8$ km): $1,5 \times 10^8 / (10 \times 3 \times 10^{13}) = 0,1$ arcsec
- Résolution angulaire d'un télescope de 10 m de diamètre dans le visible:
 - longueur d'onde/diamètre $\sim 0,5 \times 10^{-6} / 10 = 0,01$ arcsec
 - Pour atteindre 1×10^{-4} arcsec, $D_{\text{tél}} = 1$ km.
 - Pour voir une ville à 10 pc, $D_{\text{tél}} = 150\,000$ km
 - Pour voir un objet d'un 1m à 10 pc, $D_{\text{tél}} = 0,1$ ua

2 exoplanètes comparables à la Terre... ...en taille !

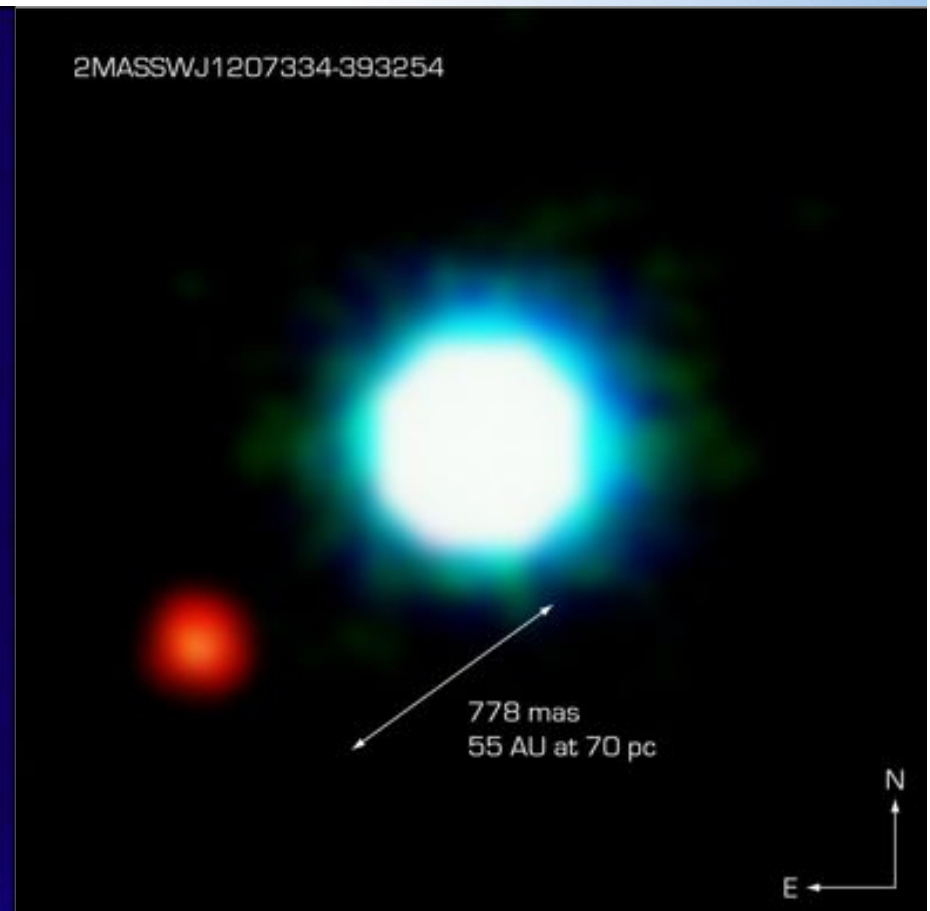
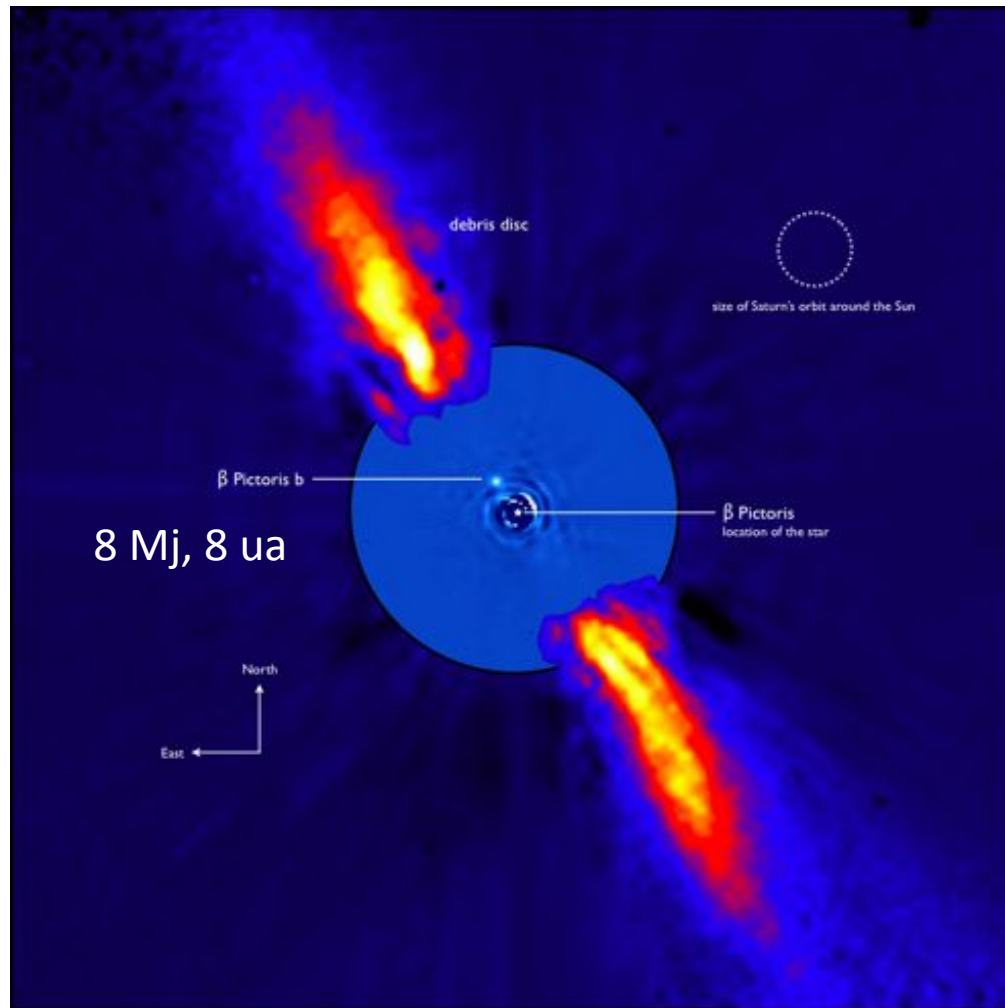
Impossible à voir ainsi avec les techniques actuelles !

Pas d'eau liquide sur Kepler 20e.

En plus, il s'agit d'une vue d'artiste de Kepler 22b et non de Kepler 20e ou 20f.



Imagerie directe

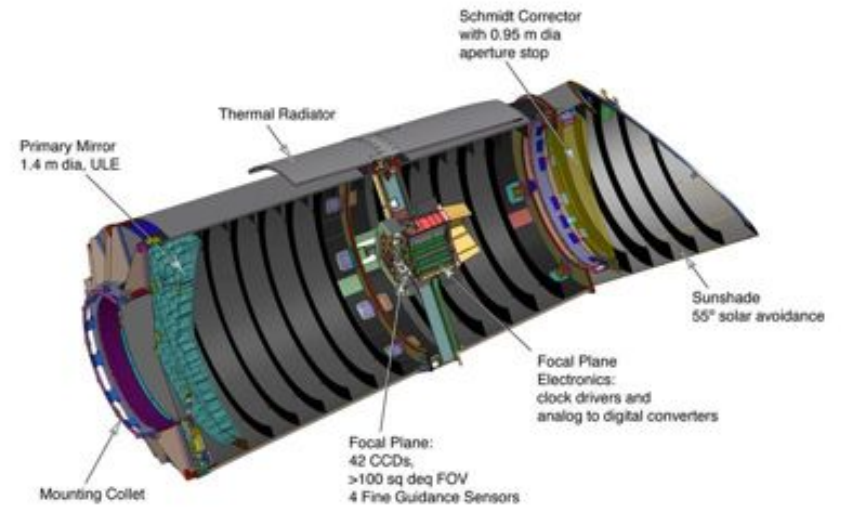
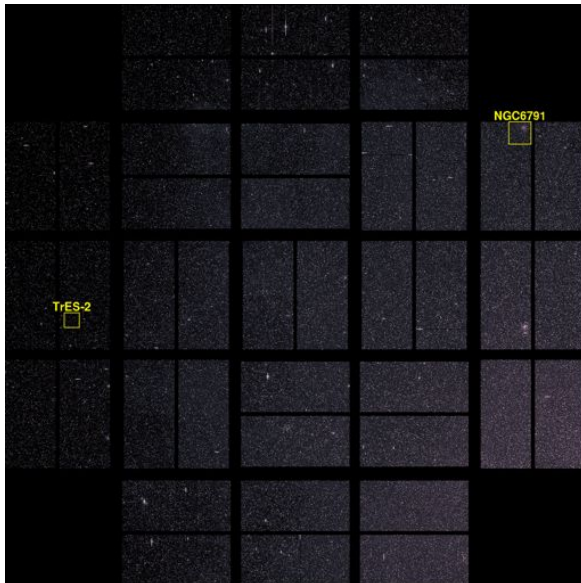
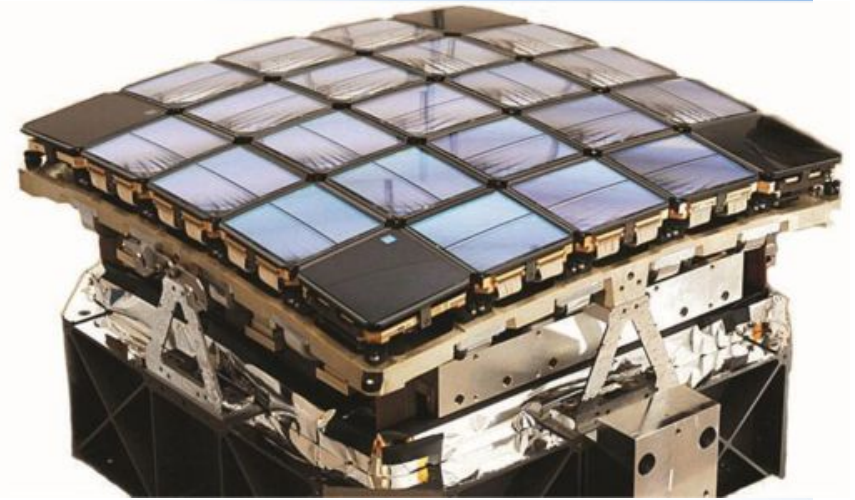
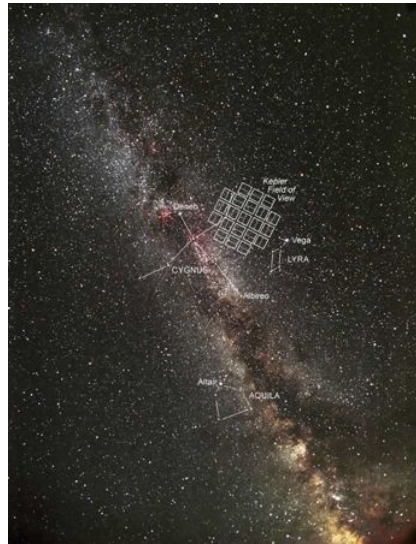


Crédit: ESO/VLT

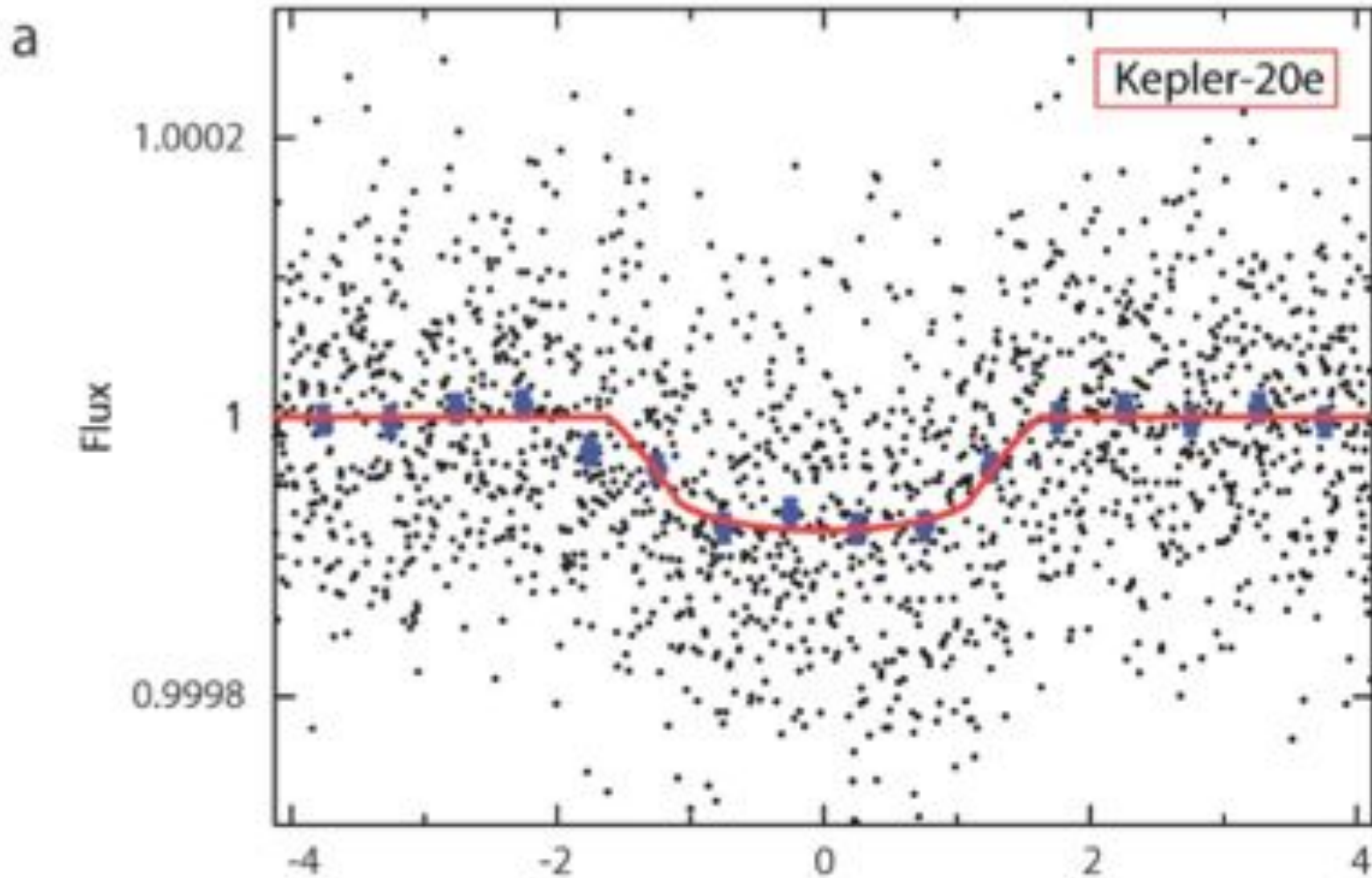
Détection par transit



Kepler, lancé en 2009: observe 145 000 étoiles



Courbe de transit de Kepler-20e



Fressin et al. 2011, Nature

Kepler 20

- Basic data :

Name	Kepler-20	
Distance	290 (\pm 30) pc	ref.
Spectral Type	G8	
Apparent Magnitude V	12.5	
Mass	0.912 (\pm 0.035) M_{sun}	ref.
Age	8.8 ($_{-2.7}^{+4.7}$) Gyr	ref.
Effective Temperature	5466 (\pm 93) K	ref.
Radius	0.944 ($_{-0.085}^{+0.06}$) R_{sun}	ref.
Metallicity [Fe/H]	0.02 (\pm 0.04)	ref.
Right Asc. Coord.	19 10 48	
Decl. Coord.	+42 20 19	

- More data :

- Basic data (from Simbad)

Planète	Masse (M_{\oplus})	Rayon (R_{\oplus})	Demi-grand axe (UA)	Période orbitale (d)	Masse volumique (g/cm^3)
Kepler-20b	~ 8,7	~ 1,91	~ 0,04537	~ 3,6961219	~ 6,5
Kepler-20e	0,39 à 1,67	~ 0,868	~ 0,0507	~ 6,098493	?
Kepler-20c	~ 16,1	~ 3,07	~ 0,0930	~ 10,854092	~ 2,91
Kepler-20f	0,66 à 3,04	~ 1,034	~ 0,1104	~ 19,57706	?
Kepler-20d	< 20,1	~ 2,75	~ 0,3453	~ 77,61184	< 4,07

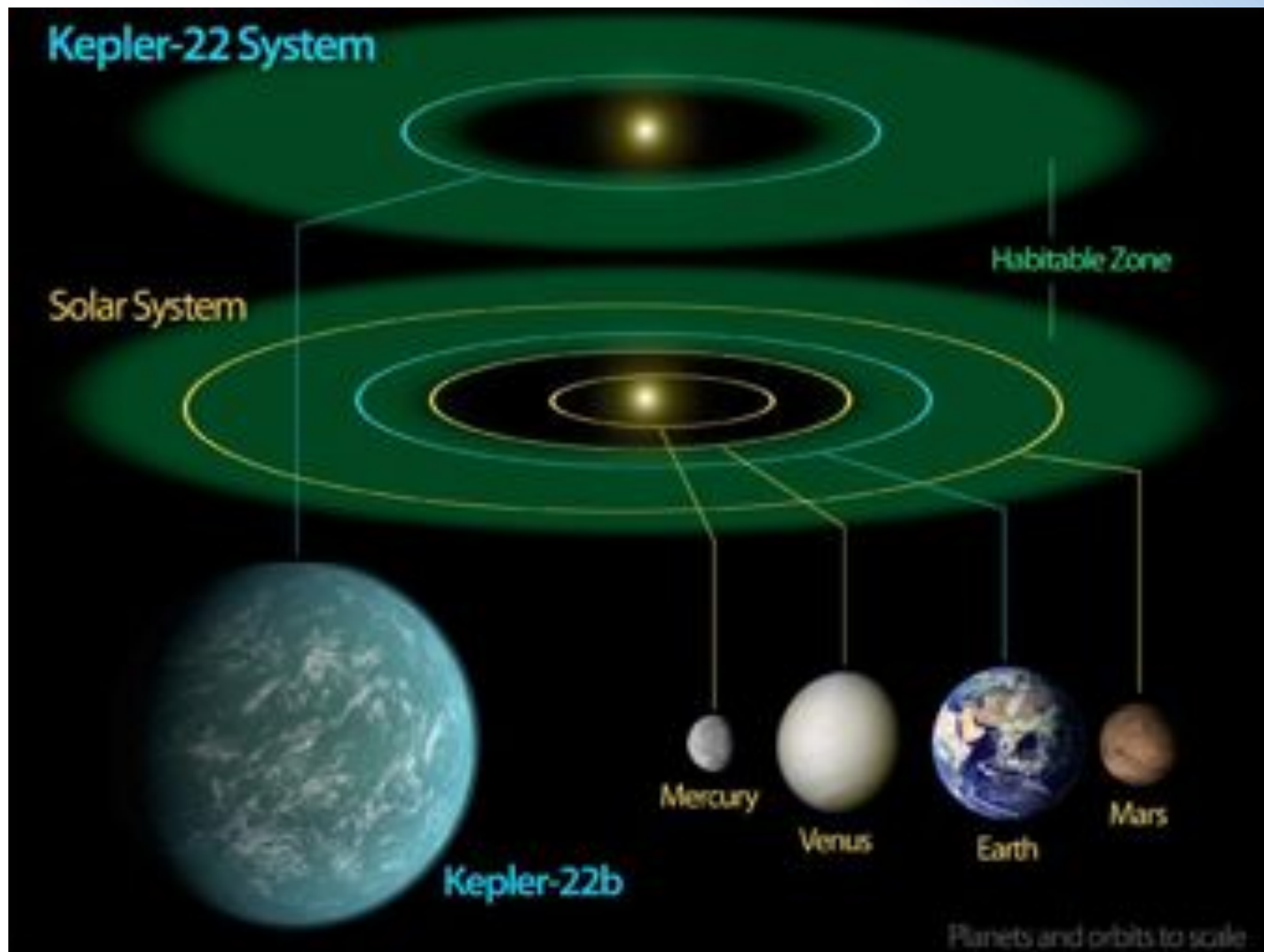
Système planétaire de Kepler-20⁶.

5 PLANETS

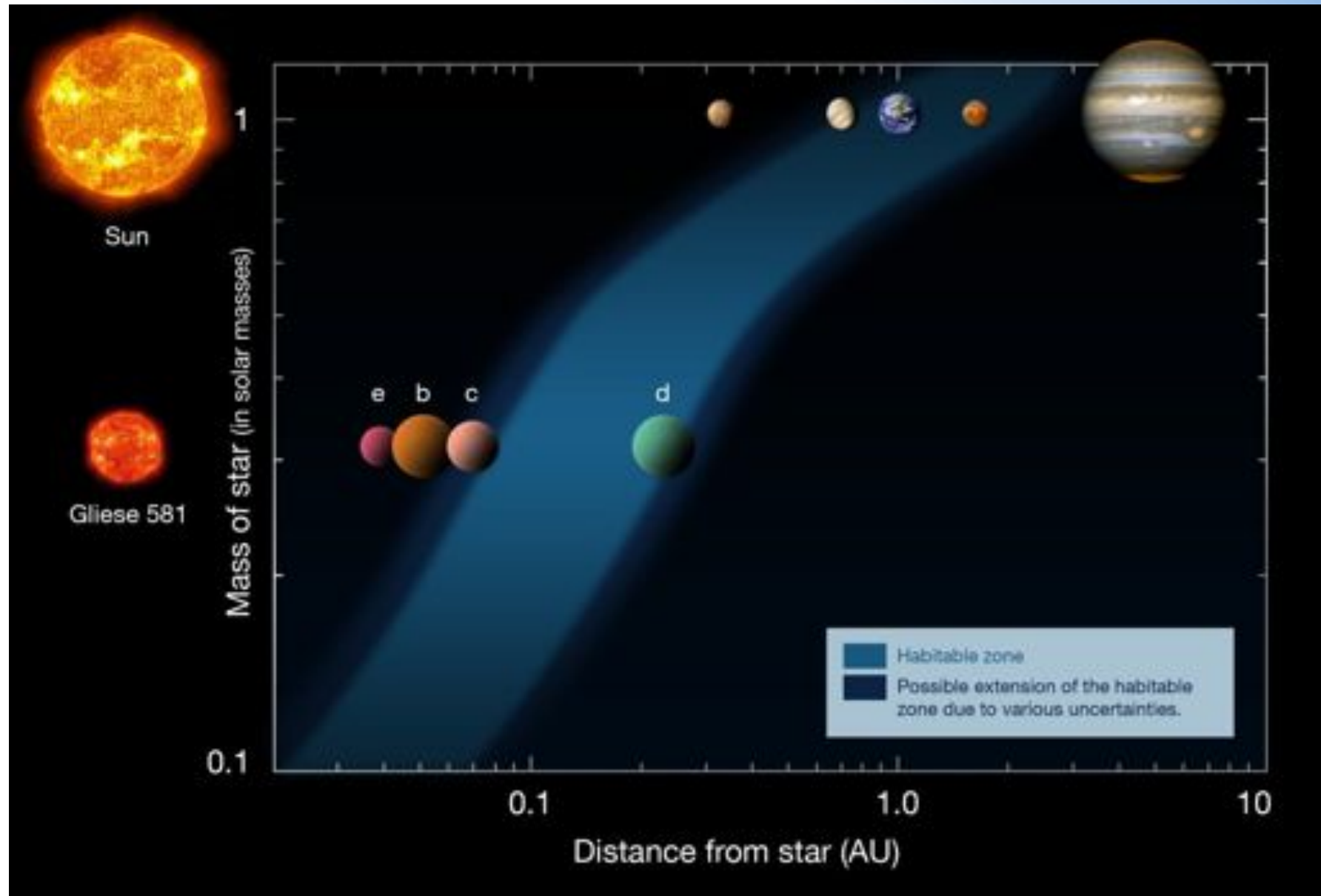
- Basic data :

Name	Kepler-20 b	Kepler-20 c	Kepler-20 d	Kepler-20 e	Kepler-20 f
Discovered in	2011	2011	2011	2011	2011
Mass	0.027 (\pm 0.007) M_J ref.	0.051 (\pm 0.01) M_J ref.	0.06 M_J ref.	< 0.0097 M_J ref.	0.045 M_J ref.
Semi major axis	0.04537 (\pm 0.0006) AU ref.	0.093 (\pm 0.001) AU ref.	0.3453 (\pm 0.0046) AU ref.	0.0507 ($_{-0.0007}^{+0.0003}$) AU ref.	0.11 ($_{-0.01}^{+0.01}$) AU ref.
Orbital period	3.6961219 days ref.	10.854092 (\pm 1.3e-05) days ref.	77.61185 ($_{-0.00017}^{+0.00015}$) days ref.	6.098493 (\pm 6.5e-05) days ref.	19.57706 (\pm 0.00052) days ref.
Eccentricity	< 0.32 ref.	< 0.4 ref.	< 0.6 ref.	- ref.	- ref.
Radius	0.17 ($_{-0.02}^{+0.01}$) R_J ref.	0.27 (\pm 0.02) R_J ref.	0.25 ($_{-0.027}^{+0.015}$) R_J ref.	0.078 ($_{-0.09}^{+0.07}$) R_J ref.	0.09 (\pm 0.01) R_J ref.
T_{transit}	2454967.50027 ($_{-0.00068}^{+0.00058}$) ref.	2454971.60758 (\pm 0.00046) ref.	2454997.7271 (\pm 0.0019) ref.	245968.9336 (\pm 0.0039) ref.	2454968.219 (\pm 0.011) ref.
Inclination	86.5 ($_{-0.31}^{+0.36}$) deg. ref.	88.39 (\pm 0.16) deg. ref.	89.57 (\pm 0.0048) deg. ref.	87.5 (\pm 0.34) deg. ref.	88.68 (\pm 0.17) deg. ref.
Update	21/12/11	21/12/11	21/12/11	23/12/11	23/12/11

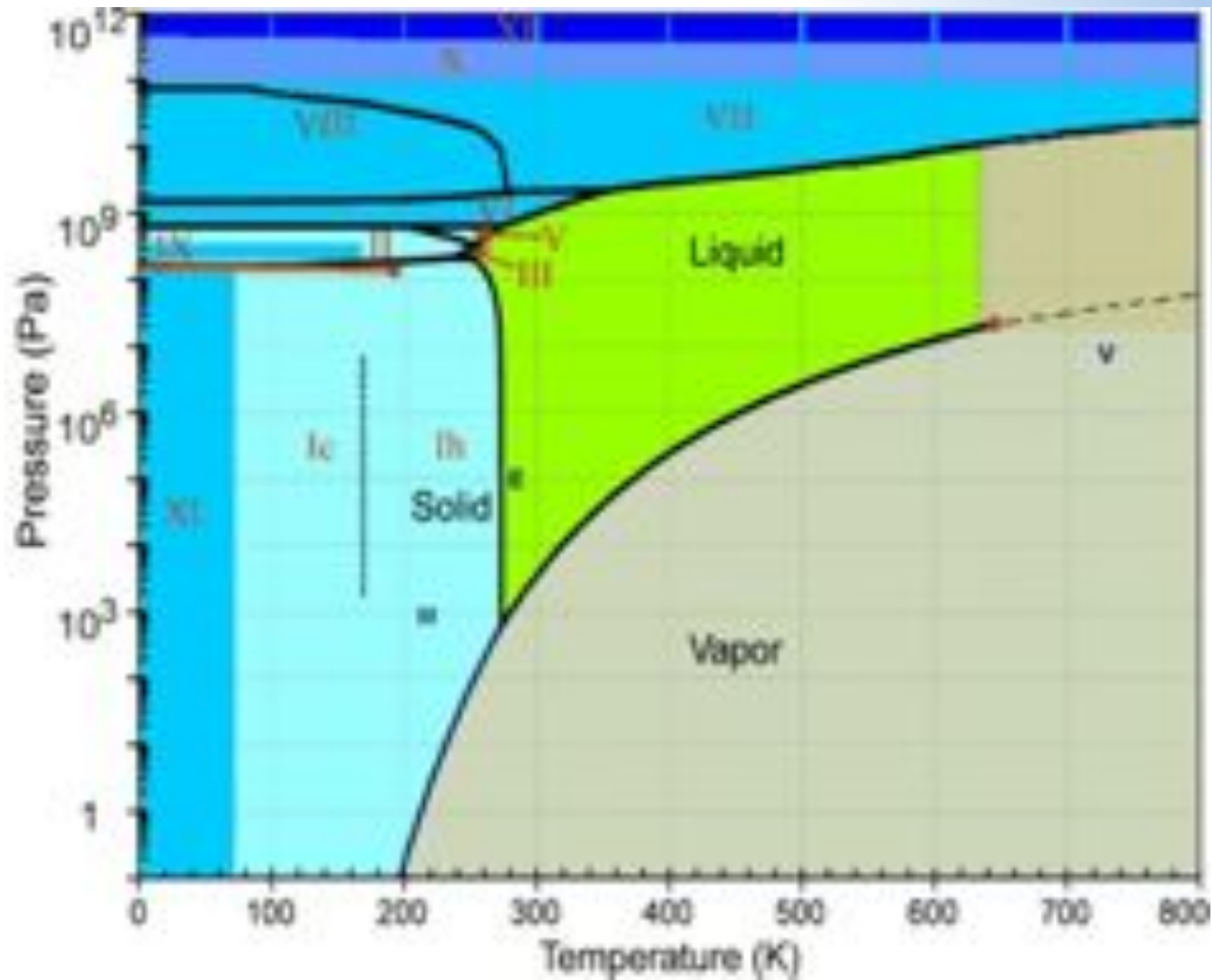
Kepler 22



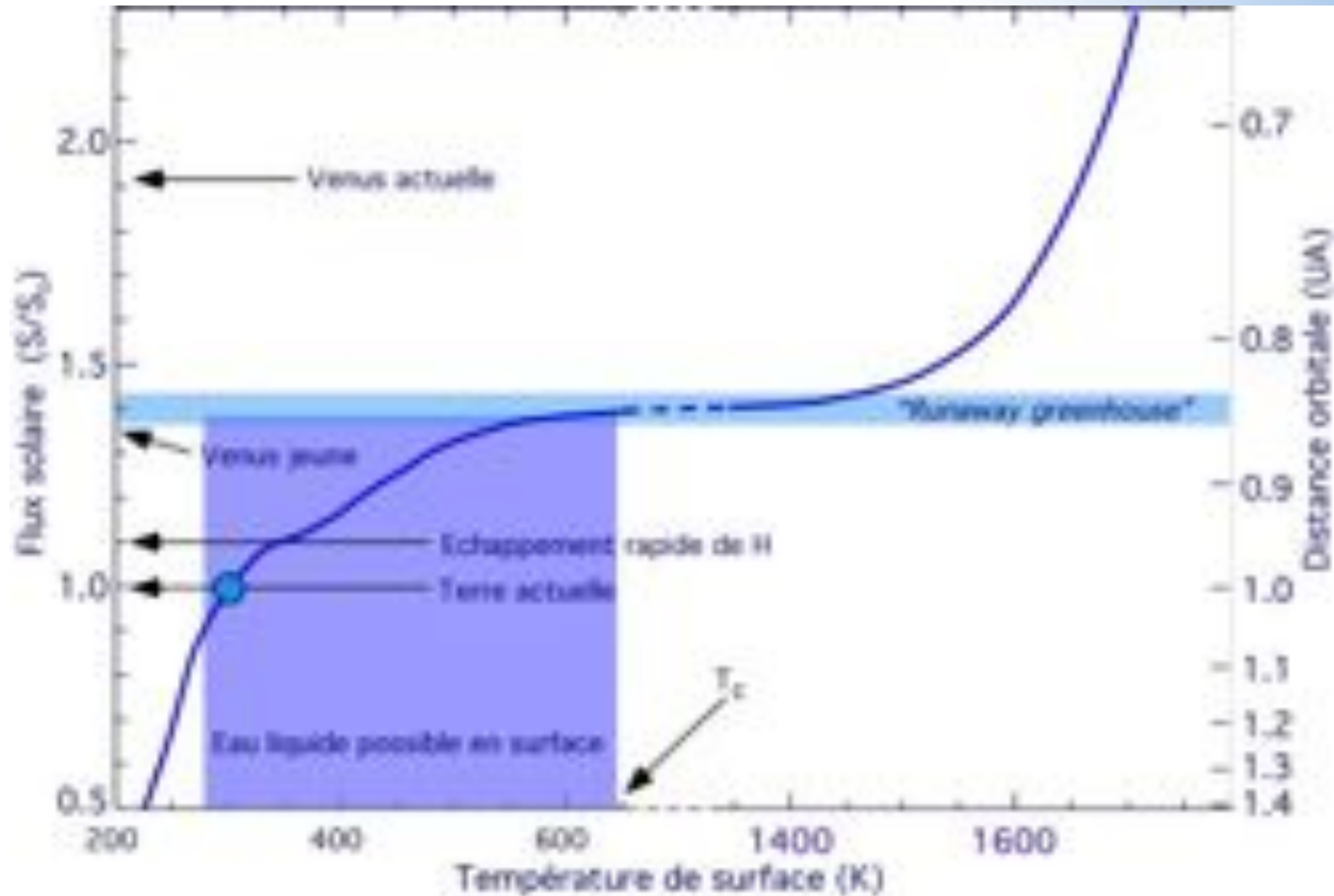
Zone habitable



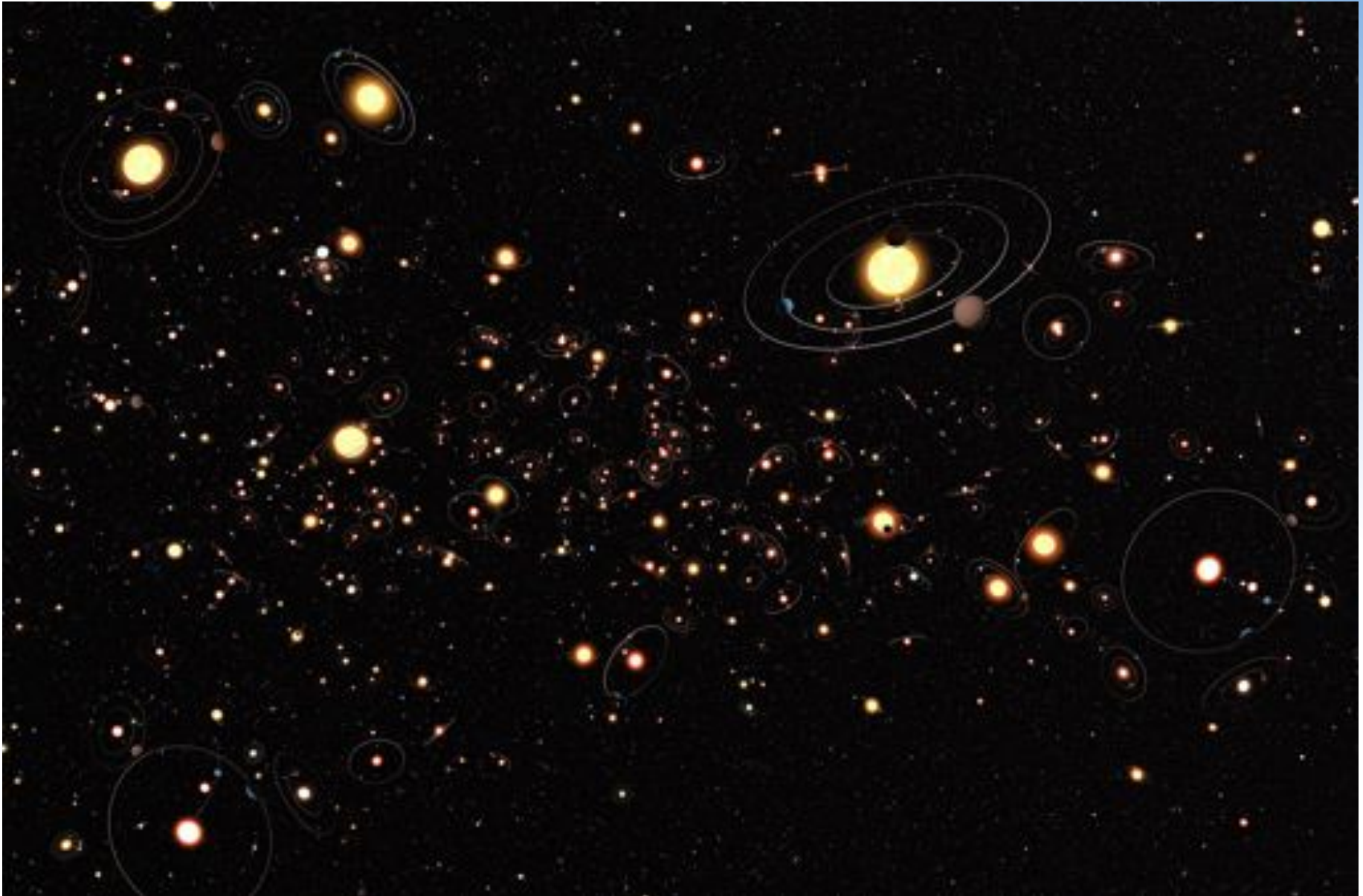
Zone habitable



Zone habitable

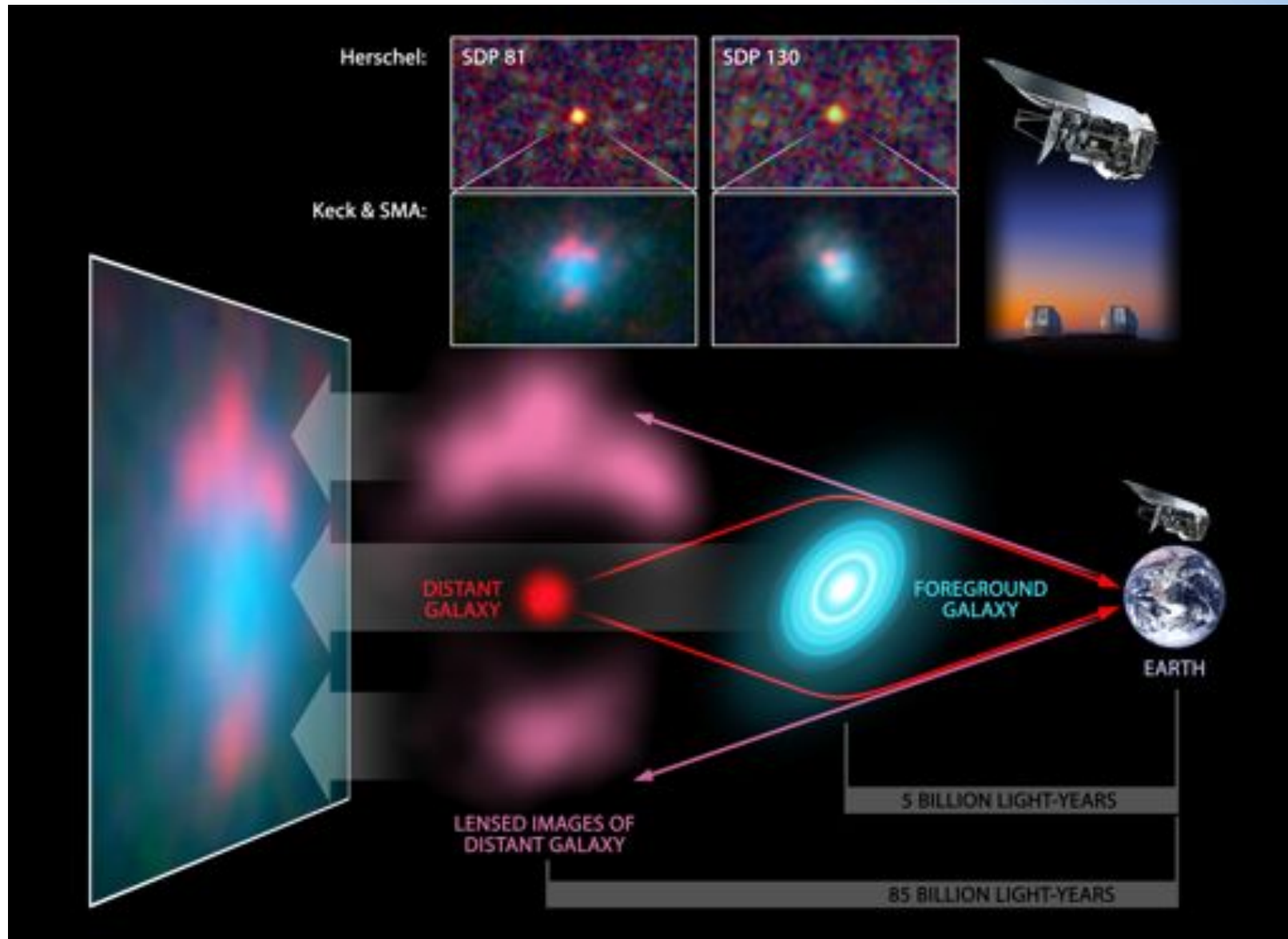


200 milliards de planètes dans notre galaxie ?

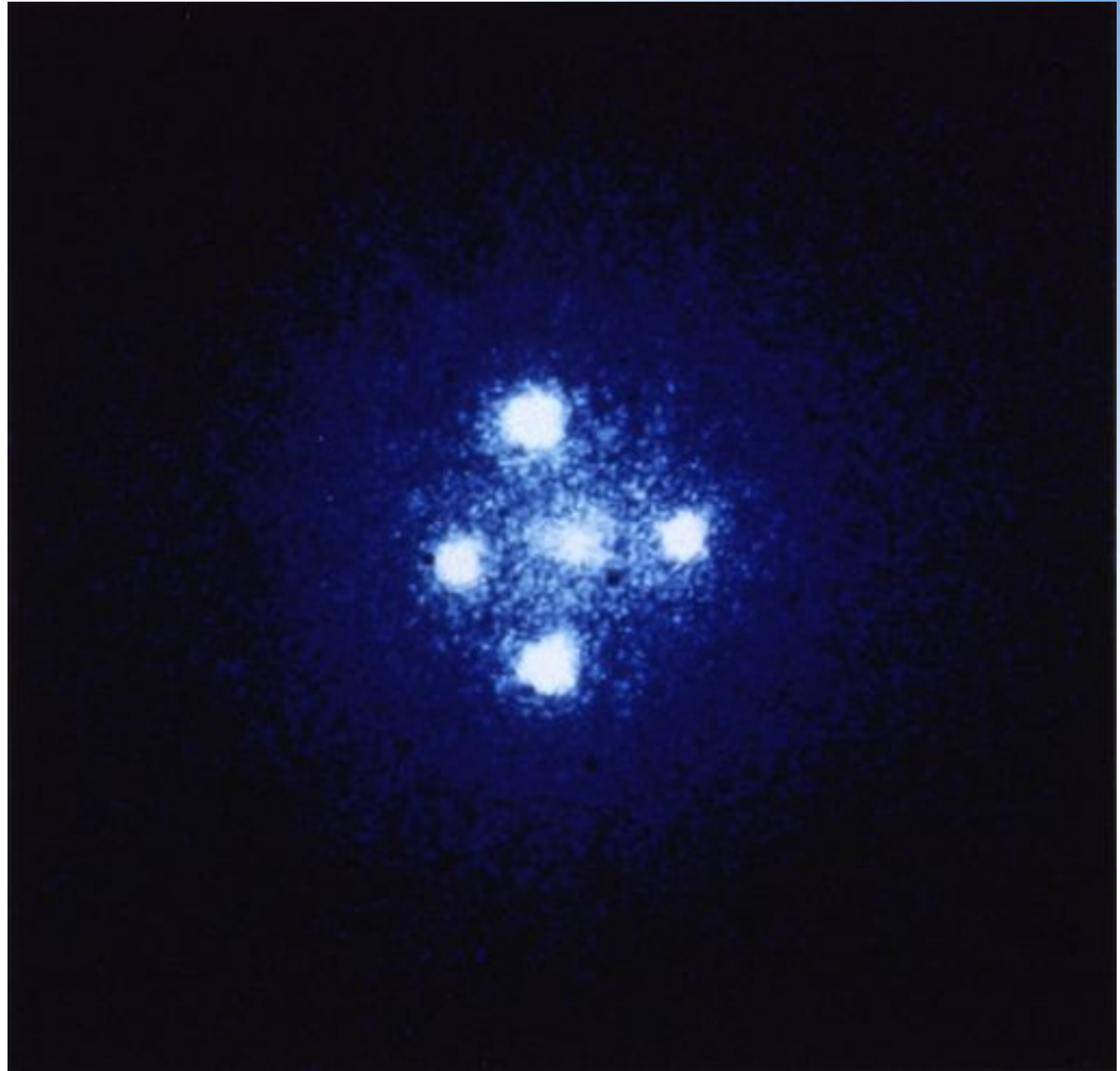


Cassan et al. 2012, Nature

Détection par lentille gravitationnelle

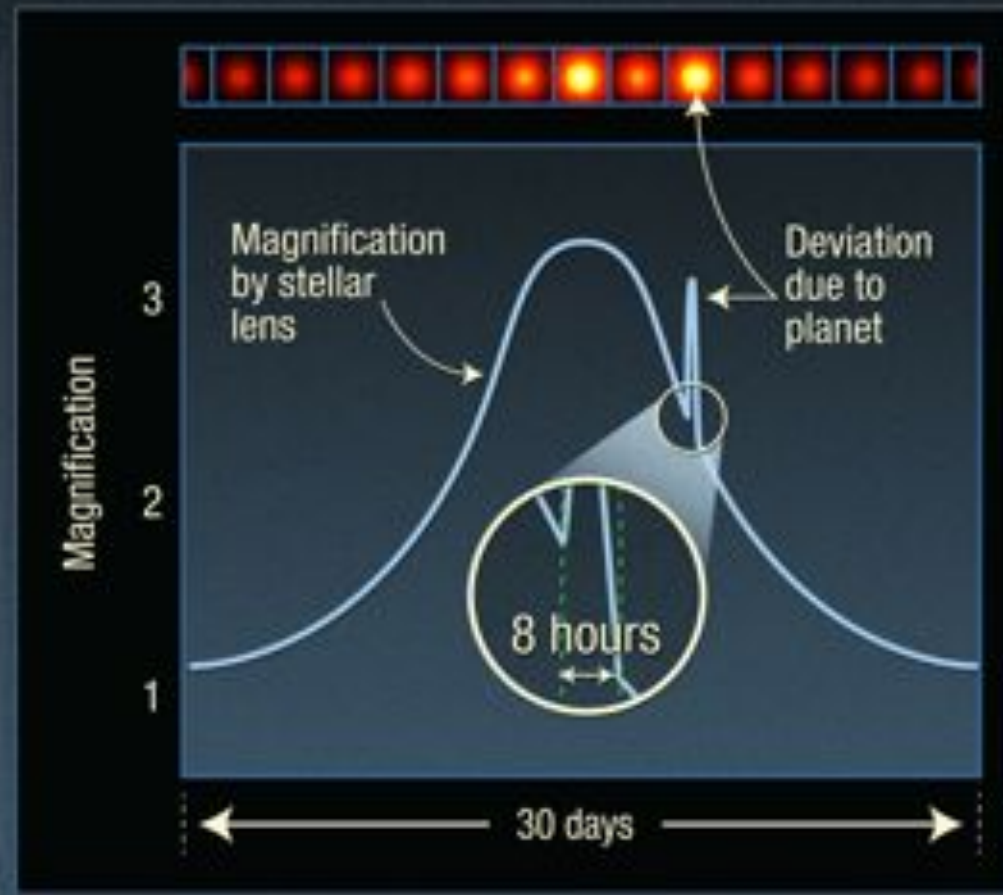
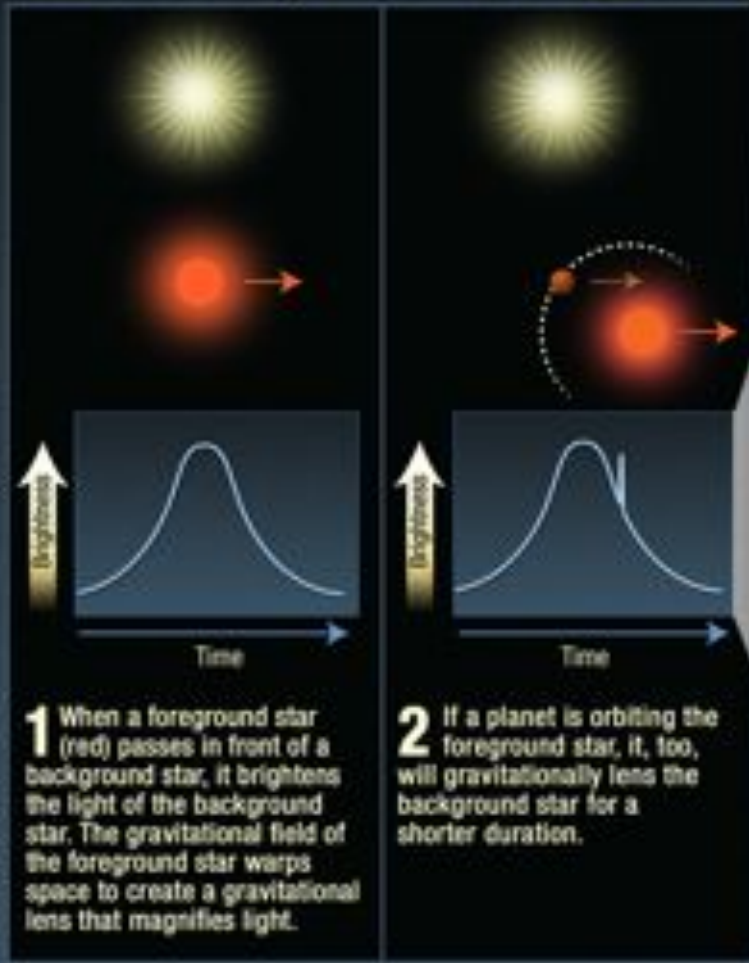


Croix d'Einstein

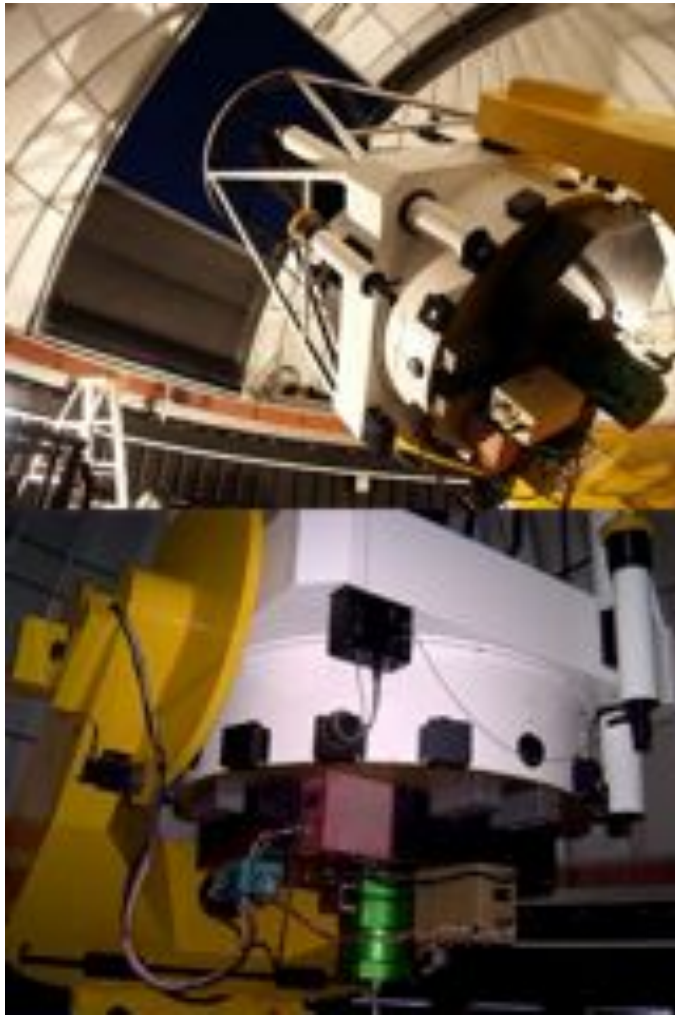


Détection des exoplanètes par micro-lensing

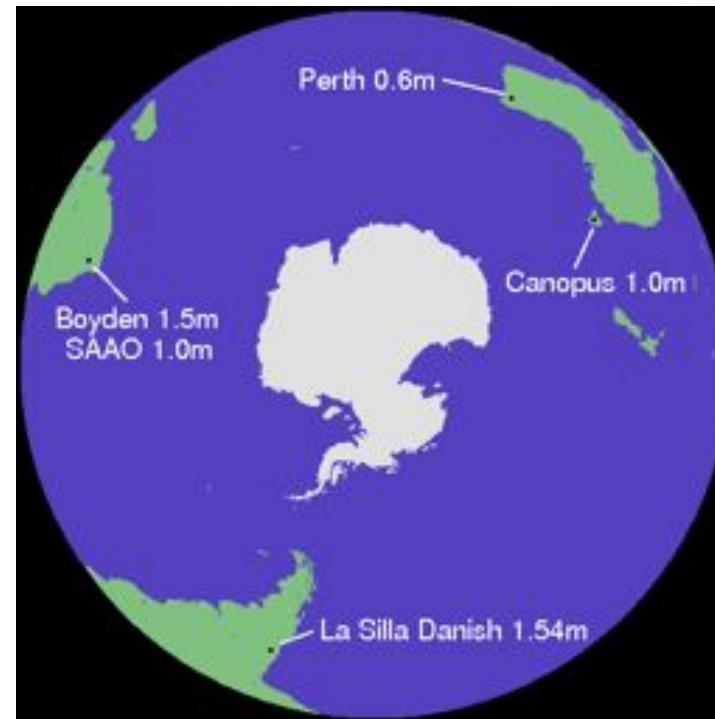
Extrasolar planet detected by gravitational microlensing



Télescopes pour micro-lensing



Petits télescopes au sol, ~ 1 m de diamètre.



Etudes statistiques

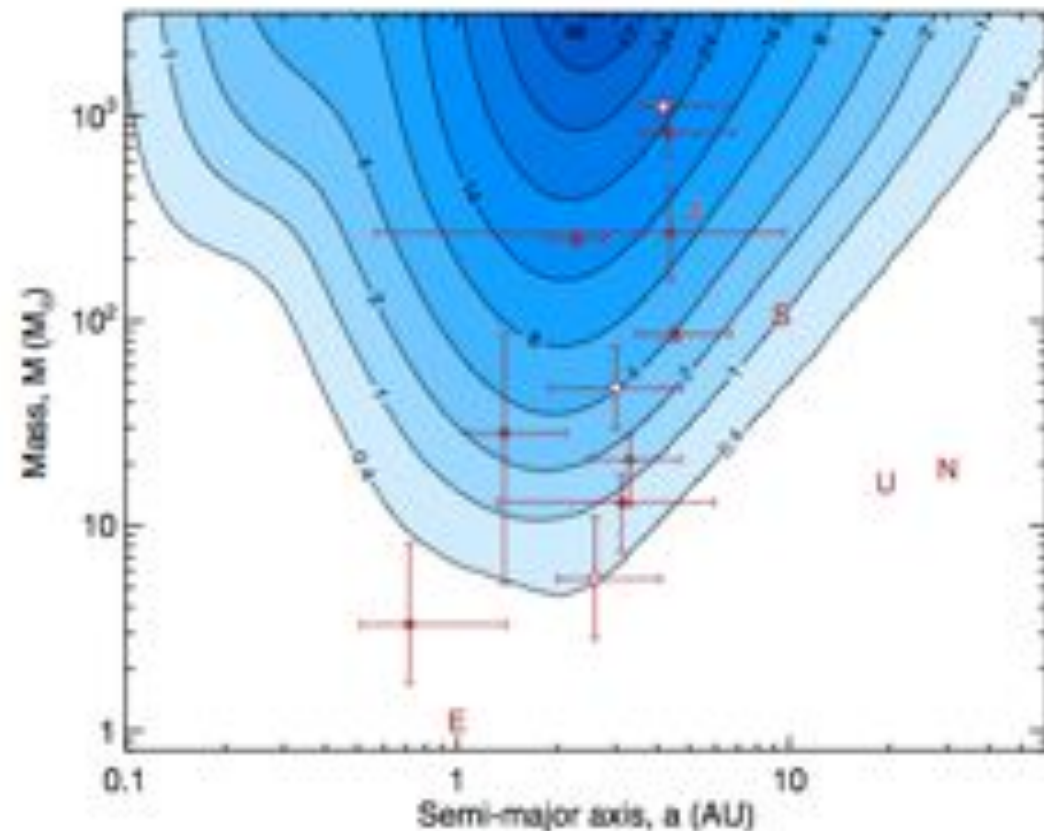
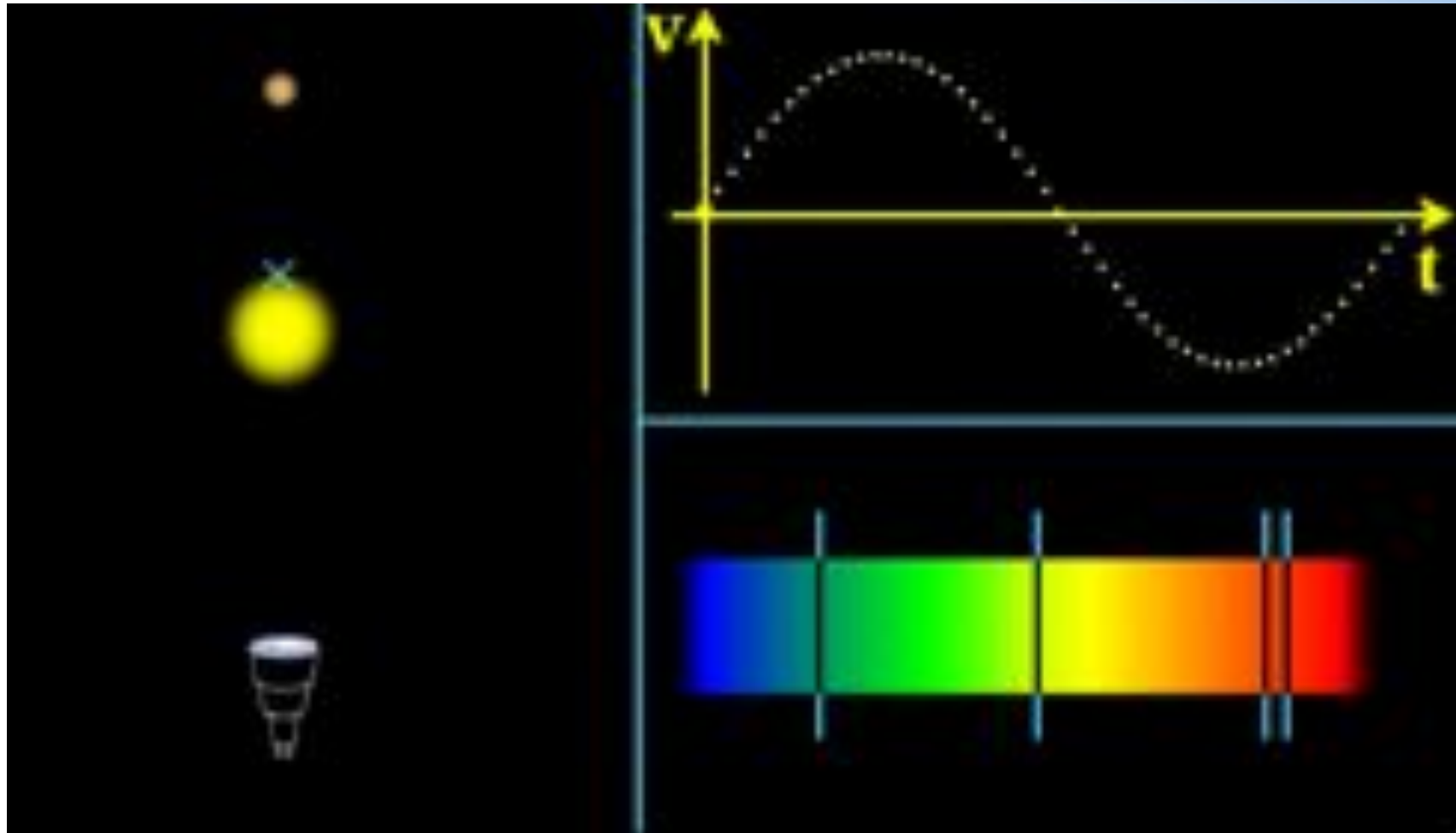


Figure 1: Survey-sensitivity diagram. Blue contours, expected number of detections from our survey if all lens stars have exactly one planet with orbit size a and mass M . Red points, all microlensing planet detections in the time span 2002–07, with error bars (s.d.) reported from the literature. White points, planets consistent with PLANET observing strategy. Red letters, planets of our Solar System, marked for comparison: E, Earth; J, Jupiter; S, Saturn; U, Uranus; N, Neptune. This diagram shows that the sensitivity of our survey extends roughly from 0.5 AU to 10 AU for planetary orbits, and from $5 M_\oplus$ to $10 M_J$. The majority of all detected planets have masses below that of Saturn, although the sensitivity of the survey is much lower for such planets than for more massive, Jupiter-like planets. Low-mass planets are thus found to be much more common than giant planets.

Détection par vitesse radiale



Exoplanètes: révolutions ou avancées scientifiques ?

- Nouveauté scientifique ?
- Production de faits scientifiques significatifs ?
- Les faits concordent avec la théorie ?
- Construction d'instruments pour cela ?

Séance #3: les découvertes scientifiques, révolutions ou simples avancées ?

1. Le concept des révolutions scientifiques de Kuhn
2. Les exoplanètes
3. **Big Bang, énergie noire et matière noire**

