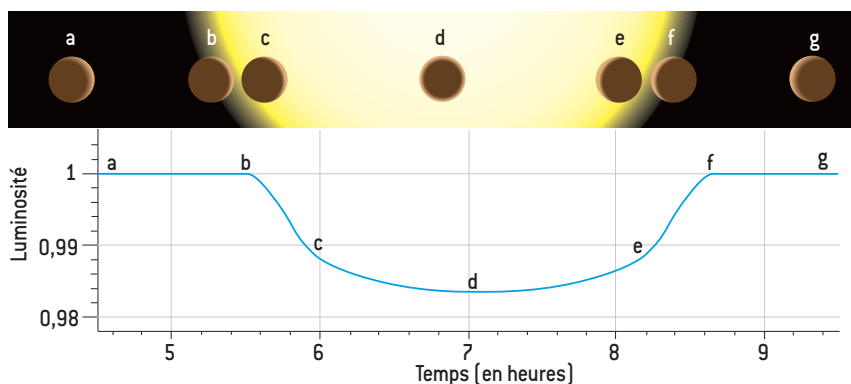
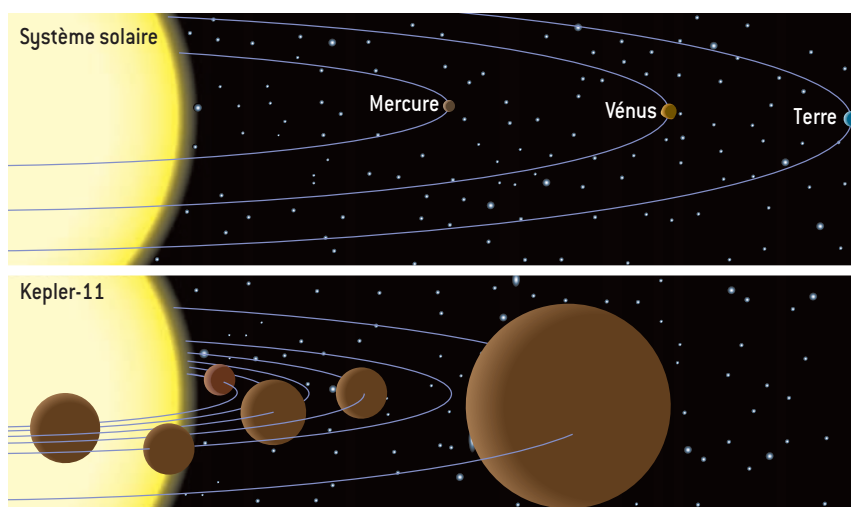
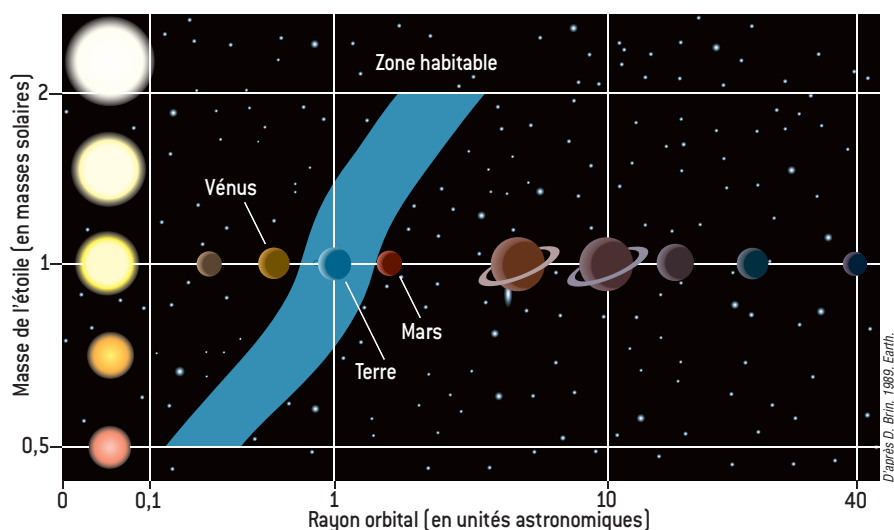




4. LA MÉTHODE DES TRANSITS est utilisée par les satellites *Kepler* et *CoRoT* pour découvrir des planètes extrasolaires. Lorsqu'une telle planète passe devant son étoile, elle bloque une partie de la lumière stellaire. La durée et l'amplitude de la baisse de luminosité pendant ce transit révèlent les caractéristiques de la planète.



5. LES SYSTÈMES PLANÉTAIRES SONT TRÈS DIVERS. Le système *Kepler 11* (en bas) abrite par exemple six planètes géantes, dont cinq sont plus proches de l'étoile que Mercure ne l'est du Soleil (en haut), et la dernière est à l'intérieur de l'orbite de Vénus. Notre Système solaire n'est sans doute pas la norme dans l'Univers (ces représentations ne sont pas à l'échelle).



6. LA ZONE HABITABLE D'UNE ÉTOILE, la plage de distance où la température autorise le maintien d'eau liquide, varie en fonction de la masse et de l'âge de l'étoile (bande bleue). Si la zone habitable est trop proche de l'étoile, une planète s'y trouvant se synchronisera par effet de marée et finira par présenter toujours la même face à son étoile. Quant aux étoiles trop massives, elles se consomment vite, et leur zone habitable ne persiste pas assez longtemps pour qu'une vie intelligente apparaisse.

entre autres, ont proposé un ensemble de conditions nécessaires, qu'on peut regrouper en quatre critères essentiels : stabilité de l'étoile, habitabilité et présence d'eau, masse et composition.

Pour remplir le critère de stabilité, l'étoile hôte doit avoir une taille et un rayonnement stables durant les milliards d'années nécessaires à l'évolution de formes de vie intelligente. C'est le cas du Soleil, mais il n'est pas représentatif de la majorité des étoiles. Plus de 90 pour cent d'entre elles sont plus petites, et beaucoup n'atteignent pas le dixième de sa masse. Or les petites étoiles sont plus froides. La zone habitable – la bande orbitale où les températures permettent à l'eau de subsister sous forme liquide – est donc plus proche de l'étoile.

Et lorsqu'une planète est très près de son étoile, elle a tendance à être piégée par les effets de marée dans une résonance synchrone, c'est-à-dire à présenter toujours la même face à l'étoile (comme la Lune vis-à-vis de la Terre). L'un des hémisphères de la planète est alors perpétuellement plongé dans l'ombre et le froid, tandis que l'autre, toujours exposé à l'étoile, est une fournaise. Il semble improbable que la vie se développe sur de telles planètes, bien que certains soutiennent qu'elle pourrait se nicher à la frontière entre la partie éclairée et la partie obscure.

Une étoile ni trop grosse ni trop petite

À l'autre bout de l'échelle, les étoiles de masse beaucoup plus élevée que le Soleil sont elles aussi peu adaptées : plus une étoile est massive, moins elle vit longtemps. Une étoile de deux masses solaires ne brûle de l'hydrogène de façon stable (phase dite « séquence principale ») que pendant 1,8 milliard d'années, soit cinq fois moins longtemps que le Soleil et quelques milliards d'années de moins qu'il n'en a fallu à la vie intelligente pour apparaître sur Terre. Les étoiles de huit masses solaires explosent en supernovae après quelques dizaines de millions d'années à peine. En fin de compte, moins de dix pour cent des étoiles se situent dans un intervalle de masse correspondant à une durée de vie acceptable, soit 0,7 à 1,7 masse solaire.

En outre, l'âge de l'étoile aussi a son importance. Une étoile trop jeune n'a pas encore laissé le temps à la vie d'évoluer, et une étoile trop vieille voit sa luminosité

augmenter (le Soleil sera 40 pour cent plus lumineux dans 3,5 milliards d'années) ; sa zone habitable se décale donc vers l'extérieur. Autre problème : la plupart des étoiles – dont les deux tiers des étoiles de type solaire – vivent en couples au sein d'un système binaire. Des planètes peuvent être en orbite autour de l'une ou l'autre étoile, ou des deux, mais l'influence gravitationnelle complexe d'une étoile compagnon perturberait sans doute la longue période de gestation d'une planète dans la zone habitable.

Des orbites bien ajustées

La deuxième condition pour le développement d'une vie intelligente sur une planète est l'habitabilité : une planète doit résider dans la zone habitable de son étoile ou permettre la conservation de l'eau à l'état liquide par un mécanisme quelconque. Son orbite doit aussi être stable et suffisamment circulaire pendant plusieurs milliards d'années. Or la découverte la plus remarquable sur les planètes extrasolaires est la diversité de leurs orbites : certaines sont extrêmement elliptiques, d'autres sont très serrées autour de l'étoile (on parle de « jupiters chauds »), etc.

La présence de jupiters chauds dans un système n'exclut pas qu'il y ait une planète de type terrestre plus loin de l'étoile, dans la zone habitable, mais cela complique les choses. On pense que les planètes se forment à bonne distance de l'étoile par accréation progressive de matériaux du disque protoplanétaire. Une fois leur cœur rocheux formé, les planètes géantes auraient tendance à migrer vers des orbites plus serrées en raison de l'interaction avec le matériau du disque. Lors de cette migration, elles perturbent et éjectent certainement les petits corps rocheux présents dans la zone habitable. Certains pourraient néanmoins subsister.

Un autre paramètre est l'excentricité de l'orbite, c'est-à-dire la forme plus ou moins allongée de la trajectoire elliptique. L'excentricité détermine les variations annuelles de la distance par rapport à l'étoile, et donc d'« ensoleillement ». De fortes variations orbitales n'empêchent pas forcément la présence d'eau liquide, mais pourraient entraver le développement de systèmes biologiques. Dans un système multiple, une orbite excentrique augmente aussi la probabilité d'interactions gravi-

tationnelles avec les autres planètes et ainsi le risque d'une évolution chaotique de l'orbite. L'orbite de la Terre est pratiquement circulaire. Sur les quelque 500 planètes extrasolaires actuellement confirmées et dont les paramètres orbitaux sont déterminés, seules 11, soit 2,2 pour cent, ont une excentricité inférieure ou égale à celle de la Terre. La moitié d'entre elles voient leur distance à l'étoile varier de 20 pour cent au cours d'une révolution, et pour 20 pour cent d'entre elles, cette distance varie du simple au double !

Un paramètre connexe est l'obliquité de la planète, c'est-à-dire l'angle entre son axe de rotation propre et celui de l'orbite. L'obliquité de la Terre, égale à 23,5 degrés, résulte d'une collision avec un objet de la taille de Mars dans sa jeunesse – impact dont est née la Lune. L'obliquité de la Terre est à peu près stabilisée par l'attraction exercée par la Lune. Elle explique les saisons, chaque pôle étant alternativement orienté vers le Soleil et recevant alors davantage de lumière. La valeur de l'obliquité est telle que le climat à la surface de la Terre n'est ni trop chaud ni trop froid tout au long de l'année.

Des chercheurs ont calculé que si l'obliquité de la Terre atteignait 90 degrés, une partie importante de sa surface deviendrait inhabitable (un hémisphère serait en permanence tourné vers le Soleil, l'autre restant dans l'ombre). Aucune autre planète de notre Système solaire n'a une obliquité aussi stable. Celle de Mars vaut actuellement environ 25 degrés, mais elle aurait varié de façon chaotique entre 0 et 60 degrés.

Les modèles actuels de formation des planètes de la taille de la Terre suggèrent qu'en raison des collisions en tous sens aux stades précoces de la formation planétaire, des obliquités initiales élevées devraient être fréquentes ; cependant, leur évolution ultérieure reste à mieux comprendre.

Le bon mélange chimique

L'axe de rotation des étoiles elles-mêmes peut aussi être incliné par rapport au plan orbital des planètes. Les données suggèrent pour l'instant que les étoiles abritant des jupiters chauds ont des obliquités importantes, résultant probablement de fortes perturbations gravitationnelles dans ces systèmes extrêmes.

✓ BIBLIOGRAPHIE

W. J. Borucki *et al.*, **Characteristics of Kepler planetary candidates based on the first data set**, *The Astrophysical Journal*, vol. 728, article 117, 2011.

D. Sasselov et D. Valencia, **Des super-Terres accueillantes**, *Pour la Science*, n° 396, octobre 2010. http://bit.ly/pls396_sasselov

F. Raulin Cerceau, **Sur la piste des extraterrestres**, *Dossier Pour la Science* n° 60, juillet-septembre 2008. http://bit.ly/doss60_raulin

P. Ward et D. Brownlee, **Rare Earth : Why Complex Life is Uncommon in the Universe**, Springer-Verlag, 2000.