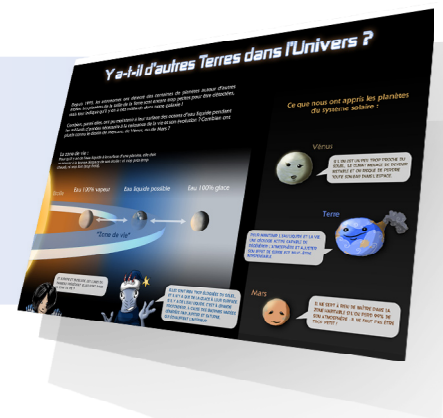


## Panneau 11

# Y a-t-il d'autres Terres dans l'Univers ?



### ► Comment détecte-t-on les planètes autour des autres étoiles ?

Il est extrêmement difficile d'observer directement une planète à côté d'une étoile brillante, qui éblouit l'observateur. Typiquement une étoile comme le Soleil est un milliard de fois plus lumineuse que la Terre dans le domaine du visible. Observer une planète comme la Terre autour d'une étoile comme le Soleil, mais située à la distance des étoiles les plus proches, revient à chercher à observer un ver luisant situé à une trentaine de centimètres d'un phare de marine placé à Marseille, alors que l'observateur se situe à Paris.

Heureusement, il n'est pas nécessaire de « voir » une planète pour la détecter. On peut plus facilement déceler l'influence de la planète sur la lumière émise par l'étoile. Plusieurs méthodes sont utilisées :

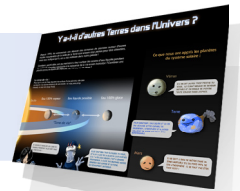
- **Par détection du mouvement de l'étoile** : On dit couramment qu'une planète tourne autour de son étoile. En réalité, le couple étoile – planète est en orbite autour du centre de gravité commun. Si l'on considère par exemple le couple Soleil – Jupiter, le centre de masse se situe environ à la surface du Soleil (à 700 000 km du centre). En d'autres termes, l'influence gravitationnelle de Jupiter fait légèrement osciller le Soleil autour de ce point, avec une période de 11,2 ans. Un observateur très lointain pourrait donc observer un mouvement de révolution du Soleil et en déduire la présence de Jupiter, ainsi que sa masse et sa distance au Soleil. Comment détecte-t-on ce mouvement ? La méthode utilisée jusqu'à présent a consisté à mesurer l'oscillation de l'étoile le long de la ligne de visée par l'intermédiaire de l'effet « Doppler-Fizeau » qui fait varier la fréquence du rayonnement émis par l'étoile selon que celle-ci s'approche (l'objet paraît plus bleu) ou s'éloigne (l'objet paraît plus rouge) de nous. C'est comme cela que la première planète extrasolaire a été détectée en 1995. Depuis, plus de 300 planètes ont été découvertes par cette méthode. A l'avenir, des télescopes spatiaux ultra-précis seront capables de détecter directement le mouvement de l'étoile en détectant son déplacement dans le ciel, et ainsi la présence d'une planète.
- **Par des détections du transit de la planète devant l'étoile** : Il s'agit de détecter la diminution de la luminosité de l'étoile si la planète passe devant son disque en provoquant une micro éclipse. On parle alors de transit planétaire. Pour que le transit soit observable, il faut avoir la chance d'observer le système planétaire « par la tranche », c'est-à-dire dans le plan contenant l'étoile et la planète. Ainsi, pour une planète située à 0,05 unité astronomique de son étoile (5% de la distance Terre-Soleil), la probabilité d'observer effectivement un transit n'est que de 10 %. Cette probabilité tombe à 0,5 % pour une planète à la distance de la Terre (1 ua) et n'est que de 0,1 % pour une planète à la distance de Jupiter (5 ua). L'observation est donc très aléatoire ! C'est pourquoi les programmes de recherche de planètes par cette méthode se font de manière statistique, en observant simultanément un grand nombre d'étoiles, typiquement plusieurs milliers. C'est notamment la stratégie utilisée par les télescopes spatiaux CoRoT et Kepler, actuellement en fonctionnement dans l'espace. En mars 2009, une soixantaine de planètes ont été détectées par cette méthode.
- **D'autres méthodes** ont pu être utilisées pour détecter quelques planètes, comme l'augmentation de la luminosité d'une étoile de fond lorsqu'une autre étoile passe sur la ligne de visée provoquant un effet de « lentille gravitationnelle », conséquence de la relativité générale d'Einstein ! L'analyse de la variation de la luminosité de l'étoile source permet d'étudier la structure de l'étoile lentille et en particulier de déterminer si elle possède des planètes.



### ► Que nous enseignent les découvertes de planètes extrasolaires ?

Au mois de mars 2009, 342 exoplanètes avaient été découvertes, regroupées dans 290 systèmes planétaires, dont 37 systèmes multiples comportant parfois jusqu'à 5 planètes. On détecte actuellement plusieurs dizaines de planètes par an. Qu'avons-nous appris concernant la possibilité d' « autres terres dans

# Panneau 11 - Y a-t-il d'autres Terres dans l'Univers ?



l'Univers » ?

- **Les planètes sont abondantes.** Les méthodes de détection actuelles sont encore peu sensibles. D'une part, elles ne s'appliquent bien qu'aux étoiles peu variables. D'autre part, de nombreuses planètes échappent aux méthodes actuelles (les trop petites, celles trop éloignées de leur étoile). Malgré cela, si l'on ne considère que les étoiles peu variables, plus d'une étoile sur quatre semble dotée d'une ou plusieurs planètes détectables. Rien n'interdit de penser que toutes les étoiles ont des planètes.
- **Les petites planètes semblent particulièrement nombreuses.** La plupart des méthodes actuelles tendent à favoriser la détection des planètes les plus grosses. Malgré cela, la part de petites planètes détectées est de plus en plus importante, suggérant que les planètes de type tellurique sont abondantes dans notre galaxie, qui compte plusieurs centaines de milliards d'étoiles. Il y a donc au moins des dizaines de milliards de planètes d'une taille comparable à celle de la Terre
- **Les systèmes planétaires sont divers.** Même autour des étoiles qui ressemblent au Soleil, la configuration des systèmes est très variée avec souvent des orbites excentriques, et des planètes géantes très proches de leur étoile. Plus d'un tiers des planètes géantes connues sont plus proches de leur étoile que Mercure. Dans ces systèmes, on pense que les planètes géantes ont « migré » vers l'étoile dans le passé.
- Aussi, **notre système solaire n'est pas typique**, car il est caractérisé par des orbites quasi-circulaires pour presque toutes les planètes, et des planètes géantes qui n'ont quasiment pas « migré »

## ➤ Y a-t-il d'autres Terre, propices à la vie ?

Tout indique donc qu'il existe de nombreuses planètes telluriques dans la « zone de vie », où l'eau pourra être liquide à la surface de la planète à condition que cette eau ou que les gaz de l'atmosphère n'aient pas été perdus dans l'espace et que l'effet de serre de l'atmosphère ne soit ni trop fort, ni trop faible pour permettre un climat propice à la présence d'eau liquide. Mais il est encore très difficile de déterminer si les mécanismes qui ont permis l'émergence de la vie telle que nous la connaissons sont communs ou exceptionnellement rares, car par définition, notre point de vue est biaisé puisque nous vivons sur une planète et dans un système planétaire qui ont « fonctionné ».

Rappelons quelques caractéristiques qui pourraient donner à la Terre un caractère exceptionnel :

- La Terre a évolué au sein d'un système solaire particulièrement stable, où toutes les orbites sont quasiment circulaires.
- Le climat de la Terre est stabilisé par des mécanismes géophysiques impliquant notamment le processus de tectonique des plaques capable de recycler l'atmosphère. Nous ne savons pas si la tectonique des plaques est un processus commun ou exceptionnel.
- L'axe de rotation de la Terre est particulièrement stable, notamment grâce à la présence d'un gros satellite, la Lune. Son « obliquité » (l'inclinaison de l'axe de l'orbite sur le plan de l'orbite) n'a varié que de  $\pm 1,3^\circ$ , ce qui est peu mais qui a néanmoins déclenché des variations climatiques comme les cycles glaciaires/interglaciaires. Qu'auraient été les variations climatiques avec des changements d'obliquité allant de 0 à plus de  $60^\circ$ , comme pour Mars ? Le développement de la vie terrestre aurait pu être fortement compromis.

## ➤ Qu'allons-nous apprendre à l'avenir ?

- Dans les années à venir, les méthodes de détection par télescope depuis la Terre vont compléter nos statistiques sur les planètes extrasolaires, avec une précision croissante.
- De nouveaux **télescopes spatiaux** vont améliorer notre capacité



## Panneau 11 - Y a-t-il d'autres Terres dans l'Univers ?



à détecter des planètes telluriques. Par exemple, depuis fin 2006, la mission française **CoRoT** du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) observe en continu plus de 12 000 étoiles durant des périodes d'environ 150 jours avec une précision sur la mesure de luminosité voisine de 0,07 % sur 1 heure. Plusieurs planètes ont déjà été découvertes par CoRoT. Cette mission spatiale a été suivie par la mission **Kepler** de la NASA (lancée dans l'espace le 6 mars 2009) dont les objectifs sont identiques, mais qui bénéficie d'un télescope plus grand et de temps d'observation plus longs sur le même champ. Ceci permettra la détection de plus petites planètes à plus grande distance de leur étoile.

- Après la détection de planètes telluriques, l'étape suivante consistera à **caractériser le climat, la température et l'atmosphère sur certaines de ces planètes en obtenant des spectres des atmosphères**. Ceci nécessite la mise en œuvre de nouvelles techniques d'observation depuis l'espace (« coronographes » ou « interféromètres ») encore en cours de développement. Plusieurs projets sont à l'étude à la NASA et à l'ESA (European Space Agency). D'ici une vingtaine d'années, nous devrions donc être capables d'étudier l'environnement sur des exoplanètes telluriques, et peut-être de détecter d'autres Terres...
- **Peut-on imaginer pouvoir obtenir l'image de la surface d'une exoplanète dans un avenir proche ?** La réponse est ... non. Par exemple, pour obtenir l'image d'une planète autour d'une étoile proche avec une résolution de 100 km, les astronomes estiment qu'il faudrait au moins un réseau de plusieurs dizaines, voire des centaines de télescopes spatiaux dont la distance entre les deux plus éloignés atteindrait 4000 km. La surface cumulée de tous les miroirs de ces télescopes devrait être au moins égale à 90 000 m<sup>2</sup>, c'est-à-dire environ 15 fois la surface d'un terrain de football. Le plus grand télescope scientifique actuellement en vol est le Hubble Space Telescope dont la surface collectrice effective est d'environ 4 m<sup>2</sup>. Obtenir l'image de la surface d'une exoplanète, même avec une résolution limitée apparaît donc comme un objectif à très long terme.