

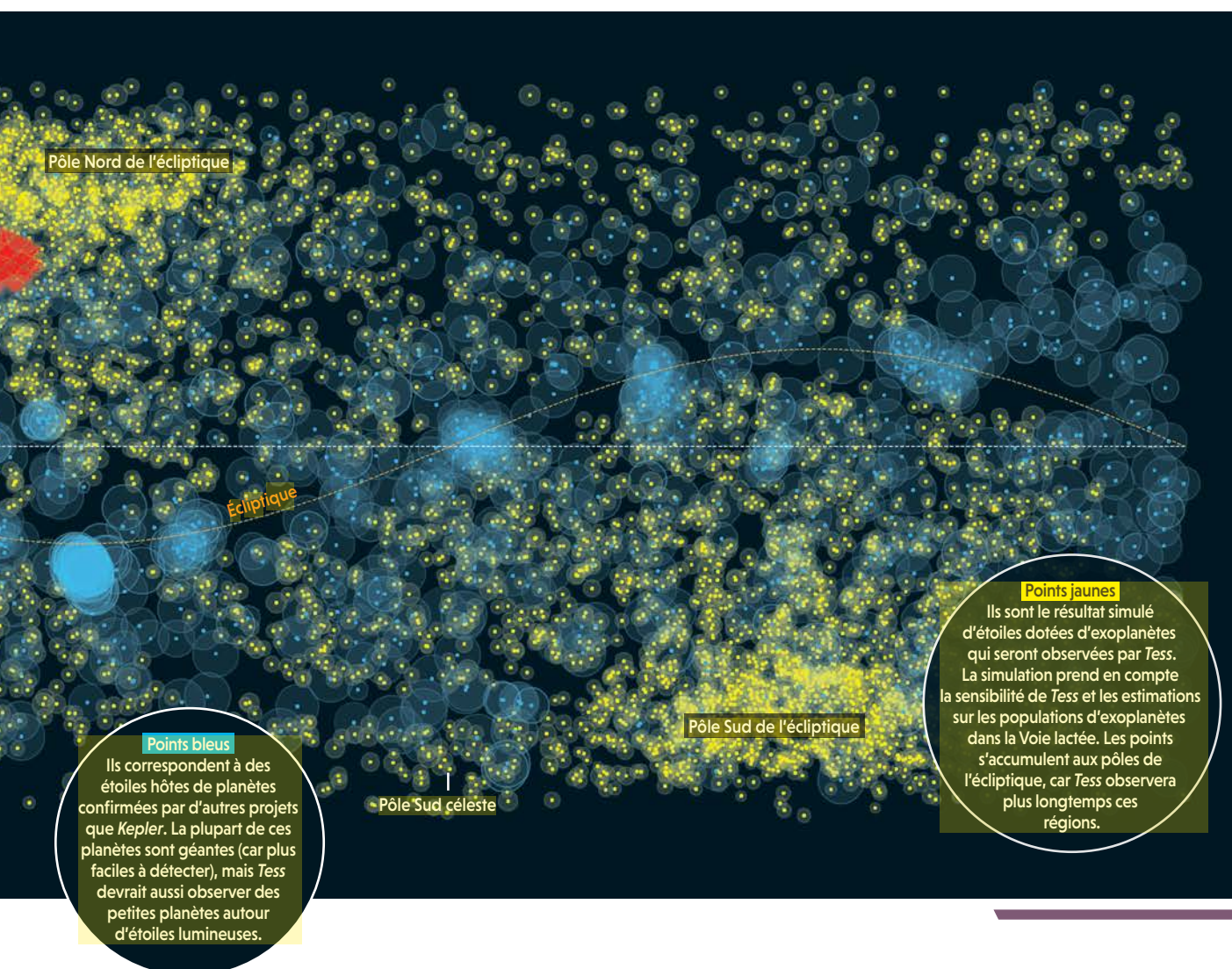
Les transits d'exoplanètes sont rares. *Kepler* n'a observé qu'un faible nombre d'éclipses planétaires par rapport au nombre d'étoiles observées. Elles se présentent sous la forme de brèves et périodiques baisses de luminosité. Chacune trahit l'existence d'une planète qui est, par chance, presque parfaitement alignée avec son étoile dans la ligne de visée du télescope. Dans une telle configuration, qui est exceptionnelle, une mini-éclipse se produit à chaque fois que la planète passe devant l'étoile. L'ampleur de la baisse de luminosité indique la taille de la planète par rapport à celle de l'étoile. Plus une planète est grosse, plus elle occulte de la lumière et donc plus elle est facile à détecter.

Vue de loin, la planète Jupiter passant devant le Soleil provoquerait une variation de luminosité d'environ 1%, alors que la Terre induirait une baisse de 0,01%. Si cette dernière était une exoplanète, il serait impossible de mesurer un effet aussi faible depuis le sol, car l'atmosphère terrestre perturbe trop la lumière provenant des étoiles. C'est pourquoi on fait appel à des télescopes spatiaux.

Le satellite *Kepler* a mis en évidence près de 5000 candidates au titre d'exoplanète, dont plus de 2500 ont été confirmées par des analyses ultérieures (voir l'encadré ci-dessous). La plupart des mondes découverts par *Kepler* se répartissent en trois catégories: les super-Terres, de la taille de la Terre ou un peu plus grandes, les mini-Neptunes, un peu plus petites que la planète géante glacée du Système solaire, et les géantes gazeuses, semblables à Jupiter par leur taille.

La plupart des systèmes planétaires identifiés par *Kepler* ne contiennent qu'une seule planète connue, mais plusieurs centaines de ces systèmes en hébergent plusieurs. Et récemment, une étoile qui héberge huit planètes, comme le Soleil, a été repérée. Ces nombres reflètent en partie la réelle distribution des planètes autour des étoiles, mais aussi certains biais observationnels de *Kepler*, qui détecte plus facilement des grosses planètes en orbite rapprochée autour de leur étoile.

Certaines des découvertes de *Kepler* ont été particulièrement surprenantes. De mon point de vue, l'une des observations les plus >



Source : archives des exoplanètes de la Nasa; L. G. Bouma et al., en ligne, arXiv:1705.08891, 24 mai 2017 (pour les cibles de *Tess*)

Y captivantes est celle de « systèmes solaires miniatures ». Ceux-ci hébergent jusqu'à six planètes entassées sur des orbites plus proches de leur étoile que celle de Mercure autour du Soleil. Et cette configuration est loin d'être rare. Si vous prenez au hasard dans le ciel une étoile du même type que le Soleil, vous avez 50% de chances qu'elle héberge une planète plus grande que la Terre sur une orbite plus rapprochée que Mercure. Personne n'avait anticipé que de telles planètes pouvaient être monnaie courante. En réalité, certaines des théories de formation des planètes les plus abouties suggéraient même que ces configurations étaient rares.

La mission *Kepler* a aussi découvert des planètes rares, mais si extrêmes qu'elles n'avaient été imaginées que par les auteurs de science-fiction. L'une de mes préférées est KOI 1843.03, une planète de la taille de la Terre si proche de son étoile que la température de la face éclairée y atteint plusieurs milliers de degrés. Sa surface est probablement couverte d'un océan de magma, qui ne serait pas sans rappeler la planète imaginaire Mustafar de la saga *Star Wars*. KOI 1843.03 suit une orbite si rapprochée de l'étoile qu'elle accomplit un tour en 4,25 heures.

Autre exemple: avec ses deux étoiles, l'exoplanète Kepler-16b ressemble à Tatooine, un autre monde de l'univers de *Star Wars*. La planète évolue autour des deux étoiles qui tournent l'une autour de l'autre. Citons aussi le système de l'étoile Kepler-36, où deux planètes évoluent quasiment sur la même orbite, ce qui les amène à interagir l'une avec l'autre de façon chaotique. Ainsi, même si nous connaissions la position au mètre près de ces planètes à un instant donné, nous serions incapables de calculer la position qu'elles occuperont dans une vingtaine d'années. C'est un exemple astrophysique de chaos déterministe, ou « effet papillon »: même en partant de conditions initiales très proches, l'évolution du système conduit à des configurations très différentes. Sur Terre, la révolution scientifique a débuté en comprenant le mouvement des planètes. Imaginez à quel point cela serait compliqué pour les éventuels savants qui vivent dans le système Kepler-36!

L'une des questions qui motive les astrophysiciens est de savoir si les planètes comparables à la Terre en taille et en masse sont rares dans l'Univers. Les scientifiques cherchent surtout des mondes qui, potentiellement, renferment des océans d'eau liquide. Pour satisfaire ce dernier point, les planètes doivent se trouver à une certaine distance de l'étoile qui leur fournit de la chaleur: trop éloignées, l'eau y serait gelée, trop proches, l'eau n'y existerait que sous forme de vapeur. L'intervalle des distances acceptables est dénommé « zone habitable » par les astrophysiciens, qui supposent que l'eau est un élément essentiel à l'émergence de la vie, comme cela a été le cas sur Terre. Mais cela ne signifie

pas qu'une planète située dans la zone habitable de son étoile contienne de l'eau liquide, que les conditions y soient réellement propices à la vie et que la vie s'y soit développée. Malgré la dizaine de candidates découvertes dans la zone habitable de leur étoile par *Kepler*, il est trop tôt pour dire si la Terre est une planète banale ou rare. Des analyses plus précises des données recueillies sont nécessaires.

ÉLARGIR L'HORIZON

La mission *Kepler* a été un succès malgré certaines limitations: le télescope ne pointait que dans une seule direction et n'observait qu'une petite fraction de la voûte céleste (1/400° pour être précis). Pour compenser la faible taille angulaire de la zone inspectée, *Kepler* devait examiner les étoiles proches dans cette région mais aussi celles plus lointaines afin d'obtenir un échantillon assez fourni, qui se prête à des analyses statistiques. Ainsi, une étoile typique du catalogue de *Kepler* se situe à 1 000 années-lumière.

Certes, il est spectaculaire de pouvoir détecter une exoplanète aussi lointaine. Mais la distance nuit à la qualité des observations. Plus une étoile est lointaine, moins elle est lumineuse, ce qui limite la précision des données recueillies, voire rend impossible certaines mesures. Par exemple, nous sommes incapables d'estimer la masse de la plupart des planètes du catalogue *Kepler*. Le signal du transit permet de



La planète KOI 1843.03 est si proche de son étoile qu'elle est couverte d'un océan de magma



calculer le diamètre de la planète, mais pas sa masse. Cela laisse une grande inconnue sur le type de planète auquel on a affaire. S'agit-il d'une planète dense et rocheuse comme la Terre? Ou d'une planète diffuse et gazeuse comme Jupiter et Saturne? Ou de quelque chose d'intermédiaire? Seule la combinaison des informations de masse et de diamètre nous permettrait de répondre avec certitude.

Pour déterminer la masse d'une planète, le moyen habituel est de mesurer les infimes mouvements de l'étoile en réaction à la petite attraction gravitationnelle de la planète. En effet, le