

prochaine génération de télescopes spatiaux ne sera pas en service, ces exoplanètes resteront les références en matière d'atmosphères exoplanétaires. Elles illustrent déjà la richesse des informations qu'il est possible d'obtenir.

Ainsi, Frédéric Pont et David Sing, de l'Université d'Exeter, et leurs collègues ont étudié le spectre optique de HD 189733b au moyen du télescope spatial *Hubble*. Selon leurs résultats, l'atmosphère de cette exoplanète présenterait de la diffusion Rayleigh (le processus de diffusion de la lumière qui donne sa couleur au ciel terrestre, vu depuis le sol).

Quant au jupiter chaud HD 209458b, il apparaît nettement plus gros que ne le prévoient les calculs d'évolution d'une exoplanète qui se refroidit après sa formation. Selon l'une des idées avancées pour expliquer l'inflation du rayon, les atmosphères de jupiters chauds partiellement ionisées se comporteraient comme des circuits électriques géants qui, en présence d'un champ magnétique, obéissent à la loi de Lenz (le système réagit de façon à s'opposer aux variations du flux magnétique). Des courants électriques et des forces opposées seraient alors induits par les vents horizontaux, d'où la dissipation d'énergie

L'AUTEUR



Kevin HENG est astrophysicien à l'Institut d'astronomie de l'École polytechnique fédérale de Zurich, en Suisse.

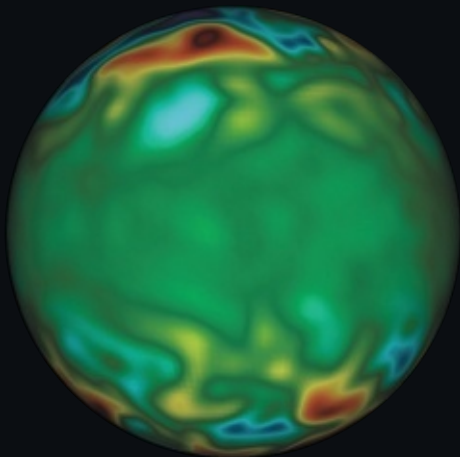
Article publié avec l'aimable autorisation de *American Scientist*.

DES DYNAMIQUES ATMOSPHÉRIQUES DIFFÉRENTES

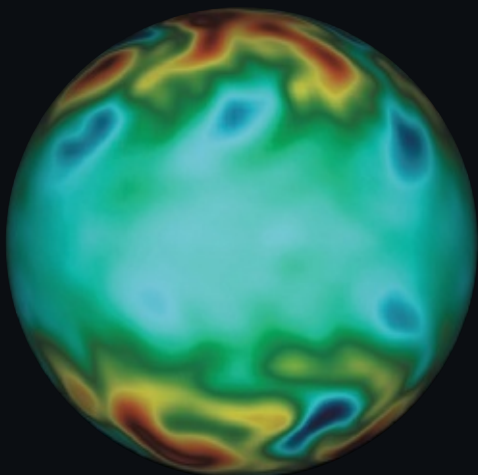
Des simulations numériques reproduisent la dynamique de l'atmosphère des exoplanètes. Adaptées des modèles terrestres, elles sont modifiées en fonction de la configuration spécifique de l'exoplanète, de sa distance à son étoile, de sa période de révolution et des vents à sa surface. Une planète de type Terre (a et b), avec une température de l'ordre de 300 kelvins (27 °C), présente de nombreuses fluctuations locales de température. Un jupiter chaud est une planète géante gazeuse très proche de son étoile. Les effets de marée ont conduit à une synchronisation de

sa rotation avec un hémisphère toujours orienté vers l'étoile (c), dont la température est de l'ordre de 3 000 kelvins, et une face orientée vers l'espace (d) où la température est voisine de 1 000 kelvins. L'atmosphère a un régime stable, traversé par des vents forts de l'ordre de un kilomètre par seconde, qui transfèrent une partie de la chaleur de la face éclairée vers la face sombre. Les simulations mettent en évidence ces phénomènes de transfert de chaleur (les couleurs des échelles de températures sont différentes entre les figures de la planète de type Terre et le jupiter chaud).

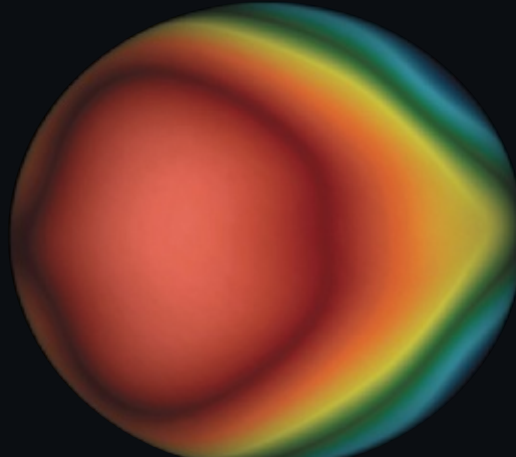
a



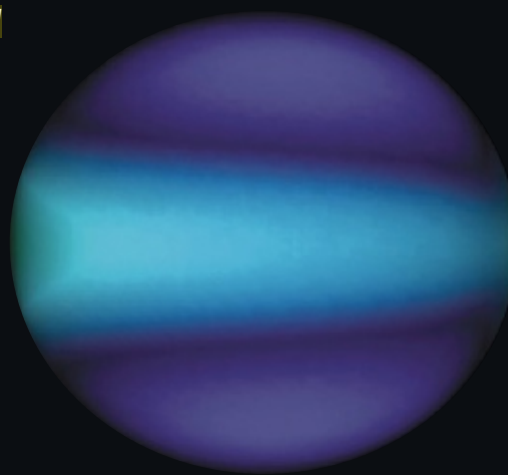
b



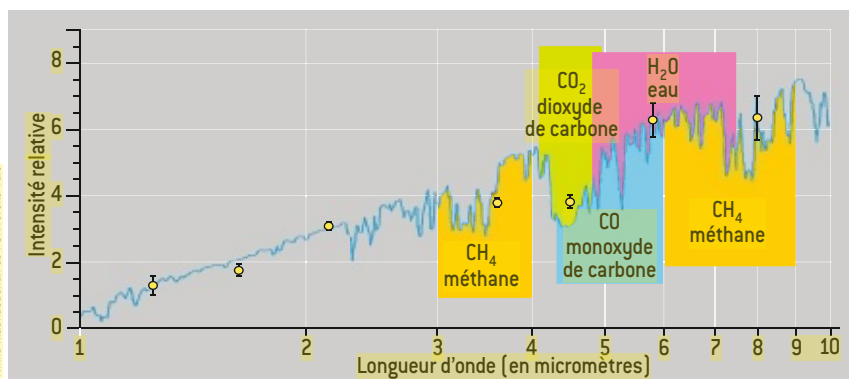
c



d



Kevin Heng



4. LE SPECTRE D'UNE EXOPLANÈTE, ici le cas d'un jupiter chaud, WASP-12b, permet d'étudier la composition chimique de son atmosphère. Certaines raies sont caractéristiques de composés tels que le méthane, le dioxyde de carbone, le monoxyde de carbone ou l'eau. Les données (points jaunes) sont compatibles avec un modèle de spectre d'émission (courbe bleue).

mécanique en chaleur, et cette dernière dilaterait certains jupiters chauds. Il reste toutefois à montrer que les jupiters chauds présentent un champ magnétique, à l'instar de la Terre et de certaines des planètes du Système solaire.

L'étude des jupiters chauds est importante parce que nous avons assez de données pour tester nos hypothèses et nos modèles d'atmosphères, ce qui permet d'affûter nos outils théoriques avant de les appliquer à des exoplanètes comparables à Neptune ou même à la Terre, pour lesquelles les données sont actuellement rares, voire inexistantes.

Pour de nombreux chercheurs, l'objectif est de détecter le spectre d'une exoplanète de type terrestre en orbite autour d'une étoile ressemblant au Soleil, où régneraient des conditions favorables au développement de la vie. Pour l'heure, une telle quête reste hors d'atteinte, et ne devrait même pas être à la portée de la prochaine génération de télescopes spatiaux.

En attendant, pour des astronomes tels que David Charbonneau, de l'Université Harvard, et Jill Tarter, de l'Institut SETI, une voie prometteuse pour détecter des superterres potentiellement habitables (des exoplanètes de type tellurique ayant une masse et un rayon un peu supérieurs à ceux de la Terre) consisterait à les traquer autour de naines rouges (ou étoiles de type M).

Ces minuscules cousines de notre Soleil, deux à dix fois moins massives, représentent environ les trois quarts de la population stellaire de notre voisinage galactique. Il y a plusieurs avantages à les scruter. Leur température est inférieure à celle des étoiles de type solaire, ce qui implique que même 10 à 100 fois plus proches de l'étoile, leurs éventuelles exopla-

nètes pourraient conserver de l'eau liquide à leur surface. Et la proximité de l'étoile facilite la détection de ces planètes par les techniques astronomiques actuellement disponibles, à savoir la méthode du transit et celle des vitesses radiales.

Mais il y a un prix à payer : on s'attend à ce que les planètes soient en rotation synchronisée et qu'elles présentent des hémisphères où règne en permanence le jour ou la nuit, un peu comme leurs homologues joviens chauds. Les théoriciens craignent en conséquence que leur atmosphère ne disparaisse à cause de la condensation des molécules du côté nocturne et froid.

Du point de vue expérimental, la prochaine étape consiste à construire des télescopes spatiaux spécialement dévolus à la mesure des spectres d'exoplanètes sur de longues périodes et avec une résolution élevée. Plusieurs projets sont à l'étude, tels ECHO (*Exoplanet Characterization Observatory*) et FINESSE (*Fast Infrared Exoplanet Spectroscopy Survey Explorer*), proposés respectivement aux agences spatiales européenne et américaine. Si de telles missions se concrétisent, dans une décennie ou deux, elles nous livreront une mine d'informations spectrales et temporelles sur des centaines d'exoplanètes, à partir desquelles nous pourrions mieux connaître leurs atmosphères.

Des cycles de température

Nous pourrions ainsi discerner des variations de températures correspondant à des phénomènes périodiques. Une telle étude a été réalisée pour l'atmosphère terrestre, couvrant des échelles de temps allant de moins d'une journée (variations diurnes) à plusieurs millénaires (les cycles de Milankovitch, correspondant aux variations de l'orbite terrestre qui modifient la quantité de lumière reçue par la planète). Étant donné les nombreuses contraintes à satisfaire, il est vraisemblable que les missions spatiales ne pourront pas construire des spectres de puissance sur plus de quelques mois. Mais, de toute façon, il est probable que la partie intéressante de ces spectres est, pour les exoplanètes en orbite serrée comme les jupiters chauds ou les super-terres, concentrée sur des périodes plus courtes. Quoi qu'il en soit, ces mesures seront une étape supplémentaire dans la connaissance du climat des exoplanètes. ■

BIBLIOGRAPHIE

K. K. Heng *et al.*, Atmospheric circulation of tidally locked exoplanets: A suite of benchmark tests for dynamical solvers, *MNRAS*, vol. 413, pp. 2380-2402, 2011.

I. A. G. Snellen *et al.*, The orbital motion, absolute mass and high-altitude winds of exoplanet HD 209458b, *Nature*, vol. 465, pp. 1049-1051, 2010.

D. Charbonneau *et al.*, A super-Earth transiting a nearby low-mass star, *Nature*, vol. 462, pp. 891-894, 2009.

Exoplanètes, des centaines de nouveaux mondes à explorer, *Dossier Pour la Science*, n° 64, juillet-septembre 2009.

H. A. Knutson *et al.*, A map of the day-night contrast of the exoplanet HD 189733b, *Nature*, vol. 447, pp. 183-186, 2007.

I. M. Held, The gap between simulation and understanding in climate modeling, *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 86, pp. 1609-1614, 2005.