

**Image non disponible.**  
Se reporter à la version papier  
du n° 356 de la revue *Découverte*

Première carte d'une exoplanète

# SPITZER DÉVOILE HD 189733b

On sait désormais que l'étoile HD 189733 possède au moins une planète. Une telle découverte est devenue aujourd'hui très banale. Ce qui l'est moins, c'est que l'on a pu mesurer les variations de l'éclat infrarouge de cette planète et en reconstituer ainsi une carte sommaire. Est alors apparue l'image d'un monde dynamique aux vents violents...

PAR JOHAN KIEKEN, MÉDIATEUR SCIENTIFIQUE

AU DÉPARTEMENT D'ASTRONOMIE-ASTROPHYSIQUE DU PALAIS DE LA DÉCOUVERTE

**A**u cœur de la constellation estivale du Petit Renard, non loin de la superbe nébuleuse planétaire M27, se tapit une étoile à l'éclat si modeste qu'elle ne se dévoile qu'aux jumelles.

Cette étoile, à peine plus légère et plus froide que le Soleil, a pour doux matricule HD 189733 et se situe à une soixantaine d'années lumière de nous.

## HD 189733b, UNE PLANÈTE SI DISCRÈTE

HD 189733 présente la particularité de posséder une planète, HD 189733b, détectée à la fois par la méthode des vitesses radiales et la méthode des transits<sup>(1)</sup>. La combinaison de ces deux méthodes a permis aux astronomes de déterminer précisément les caractéristiques physiques et orbitales de cette planète (tableau).

HD 189733b est donc une géante gazeuse,

de densité inférieure à 1, qui gravite très près de son étoile, à moins de cinq millions de kilomètres. On lui décerne le titre de *Jupiter chaud*. Une centaine de planètes de ce type a déjà été détectée.

## SPITZER

Le télescope spatial *Spitzer* de la NASA est le plus grand télescope infrarouge jamais lancé (fig. 1). Opérationnel depuis 2003, il permet de mesurer le rayonnement des astres entre 3  $\mu\text{m}$  et 180  $\mu\text{m}$ . C'est donc l'instrument idéal pour étudier l'Univers « froid » caractérisé par des températures s'étalant de quelques dizaines à quelques centaines de kelvins<sup>(2)</sup>. *Spitzer* est à l'origine d'avancées majeures dans la compréhension de la physique des planètes du

## HD 189733b, une géante gazeuse

**1,15 fois plus grande  
que Jupiter.**



(1) Pour plus de détails sur ces deux méthodes, il est conseillé au lecteur de se reporter à l'article *Transits planétaires* paru dans le numéro n° 342 (novembre 2006) de la revue *Découverte*.

Nom de la planète	HD 189733 b
Distance à son étoile	0,0312 ( $\pm$ 0,0004) u.a.
Période orbitale	2 j 5 h 14 min 45 s ( $\pm$ 2 s)
Excentricité de l'orbite	$\sim$ 0
Inclinaison de l'orbite	85,61° ( $\pm$ 0,04)
Masse	1,15 ( $\pm$ 0,046) $M_{\text{Jupiter}}$
Rayon	1,137 ( $\pm$ 0,006) $R_{\text{Jupiter}}$

**Tableau. Paramètres physiques et orbitaux de l'exoplanète HD 189733b. La distance à son étoile est donnée en unité astronomique (u.a.). 1 u.a.  $\sim$  150 millions de kilomètres. L'inclinaison de l'orbite par rapport à notre ligne de visée est proche de 90° avec, pour conséquence, un transit planétaire. Enfin, la masse et le rayon de la planète sont donnés relativement à ceux de Jupiter :  $M_{\text{Jupiter}} = 1,8986 \cdot 10^{24}$  kg = 317,8  $M_{\text{Terre}}$  et  $R_{\text{Jupiter}} = 71\,492$  km = 11,2  $R_{\text{Terre}}$ .**



système solaire et des exoplanètes, des disques protoplanétaires, de la formation des étoiles et des galaxies.

Travaillant dans un domaine de longueur d'onde où le contraste entre les planètes et les étoiles est beaucoup moins intense qu'en lumière visible, *Spitzer* est rapidement devenu l'égérie des chasseurs d'exoplanètes. En mai 2007, ses données à 8  $\mu\text{m}$  furent ainsi utilisées par Heather Knutson (*Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics* à Cambridge, Massachusetts, États-Unis) et ses collègues pour établir la toute première carte d'une exoplanète, HD 189733b.

### LA MÉTHODE

Notre planète présente la particularité d'être proche du plan dans lequel circule HD 189733b autour de son étoile. Nous pouvons donc la voir passer, transiter devant elle (fig. 2). Pour l'observateur terrestre, le transit se traduit par une diminution périodique et mesurable de l'éclat de l'étoile (sur la figure 2a)).

Ce transit dit *primaire* a permis de confirmer la nature planétaire de HD 189733b en 2007, après sa découverte par la méthode des vitesses radiales deux ans plus tôt. Environ une demi-période après le transit, la planète passe derrière l'étoile (sur la figure 2b)). On mesure alors également une baisse de luminosité, puisque occultée, la planète ne contribue plus à l'éclat total du système étoile-planète.

Ce transit *secondaire* est toutefois moins profond que le transit primaire.

### PREMIERS RÉSULTATS

De la différence entre le flux infrarouge mesuré juste avant le transit secondaire (système étoile + planète) et pendant le transit secondaire (étoile seule), les astronomes déduisent l'énergie émise par l'hémisphère de la planète tournée vers l'étoile. Ils peuvent alors calculer sa température moyenne<sup>(3)</sup>. Cette technique a été récemment utilisée pour contraindre les propriétés atmosphériques de quelques exoplanètes présentant des transits. Grâce à elle, des équipes d'astronomes ont été en mesure d'évaluer les températures des hémisphères éclairés de trois *Jupiter chauds* (HD 209458b, TrES-1 b en 2005 et – déjà – HD 189733b en 2006), toutes les trois comprises entre 1 000 et 1 200 K. Les nouvelles données de Knutson lui ont permis de calculer une température moyenne de  $1\,205,1 \pm 9,3$  K (soit environ 930 °C) pour l'hémisphère éclairé de HD 189733b. Une confirmation donc... mais il y a beaucoup plus !

### DE L'IMPORTANCE D'UN SUIVI PRÉCIS

De par sa proximité à son étoile, HD 189733b est très certainement bloquée en rotation : elle doit effectuer une révolution dans le

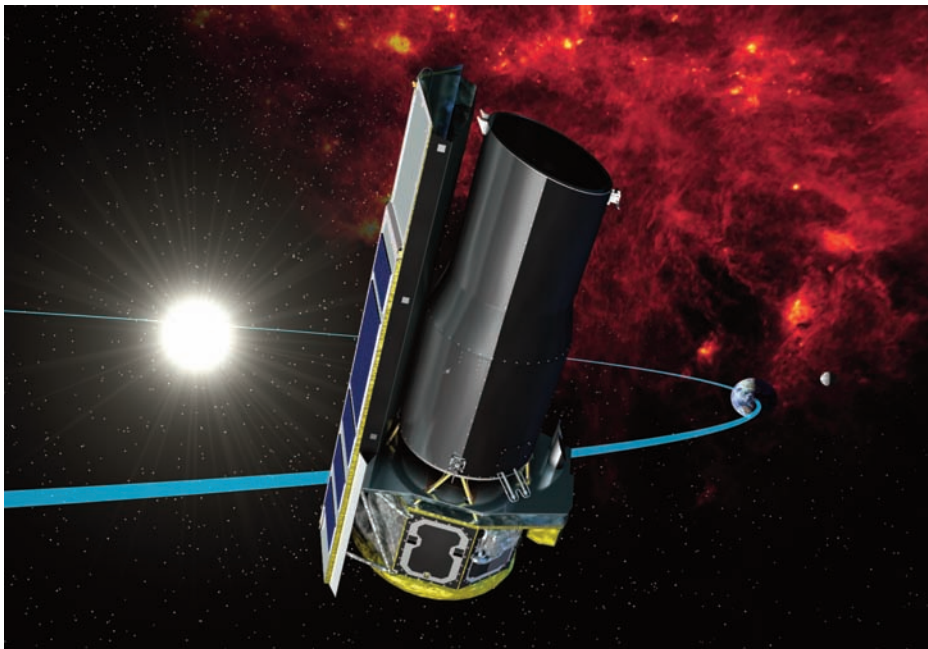
(2) La température thermodynamique se mesure en kelvin (K). Pour obtenir la température en degrés Celsius (°C), il suffit d'ôter 273,15 à la valeur numérique de la température thermodynamique. Ainsi, à titre d'exemple, 10 K = -263,15 °C, 100 K = -173,15 °C et 1 000 K = 726,85 °C.

(3) En fait, ce qui est calculé ici est la *température de brillance* : c'est la température que devrait avoir un corps noir pour reproduire l'intensité du rayonnement mesuré à une longueur d'onde donnée, ici 8  $\mu\text{m}$ . Dans le reste de l'article, on assimilera température et température de brillance.

même temps qu'elle fait un tour sur elle-même. C'est un phénomène que l'on rencontre dans notre système solaire, à une autre échelle : la Terre, par un puissant effet de marée, a ralenti la Lune peu après sa formation et l'a forcée à nous présenter depuis la même face. Il en va de même pour les satellites galiléens autour de Jupiter ou encore de Titan autour de Saturne. Les astronomes s'accordent donc à penser que HD 189733b doit toujours présenter la même face à son étoile et que seule cette face doit être chauffée. Ils s'attendent également à ce que le signal infrarouge détecté varie périodiquement en fonction de la contribution des côtés jour et nuit à la luminosité totale du système étoile-planète sur une révolution de la planète. L'apport majeur de *Spitzer* tel qu'il a été utilisé par Knutson est justement d'avoir précisément mesuré cette luminosité infrarouge du système étoile-planète pendant une révolution presque complète.

Ainsi, entre a) et b) sur la figure 2, on note une très légère augmentation proche de 0,1 % de l'éclat infrarouge du système étoile-planète. L'explication de ce phénomène réside dans le fait qu'en tournant autour de son étoile, la planète exhibe un cycle de phases. Entre a) et b), elle nous présente donc progressivement son hémisphère éclairé et chaud. Sa température, comme nous l'avons déjà vu, est proche de 1 200 K. Knutson et ses collègues ne se sont pas arrêtés là : ils ont estimé la température moyenne de l'hémisphère le moins chaud – qui ne coïncide pas exactement avec le côté nuit comme nous le verrons – à  $973 \pm 33$  K (soit 700 °C).

Cette mesure fournit une indication fondamentale sur l'efficacité du transport de chaleur depuis les zones chaudes vers les zones plus froides, par l'intermédiaire de vents zonaux ou de *jet streams*. En effet, avec un hémisphère toujours éclairé et



**Figure 1. Vue d'artiste du télescope Spitzer dans son orbite héliocentrique.**

© Avec l'aimable autorisation de NASA / JPL-Caltech.

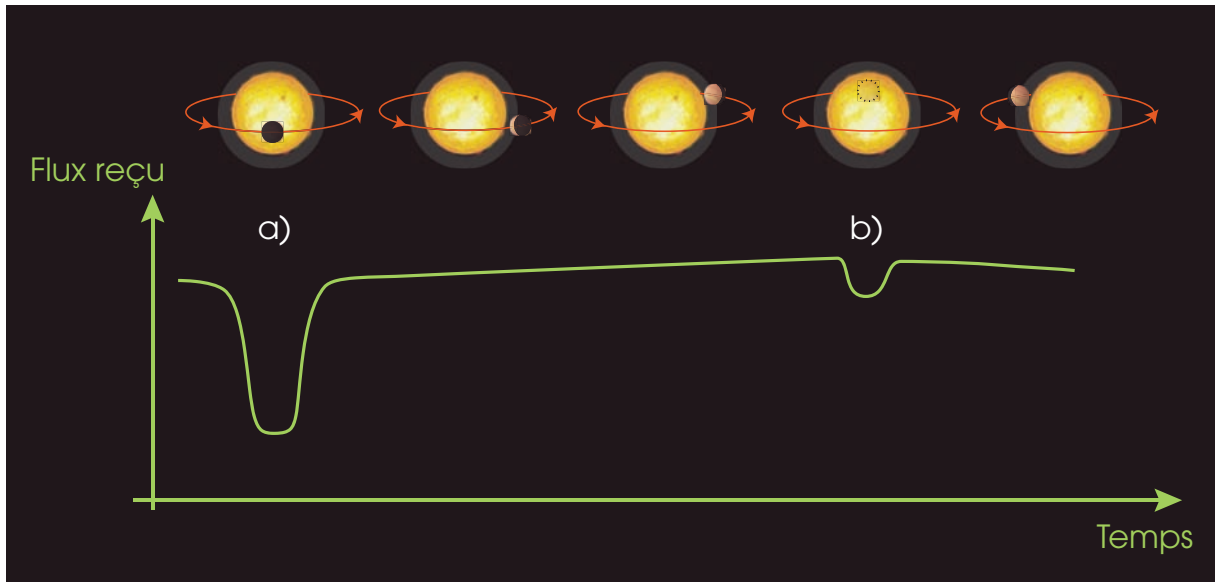


Figure 2. Représentation schématique du transit planétaire de HD 189733b observé par Spitzer. © M. Goutaudier.

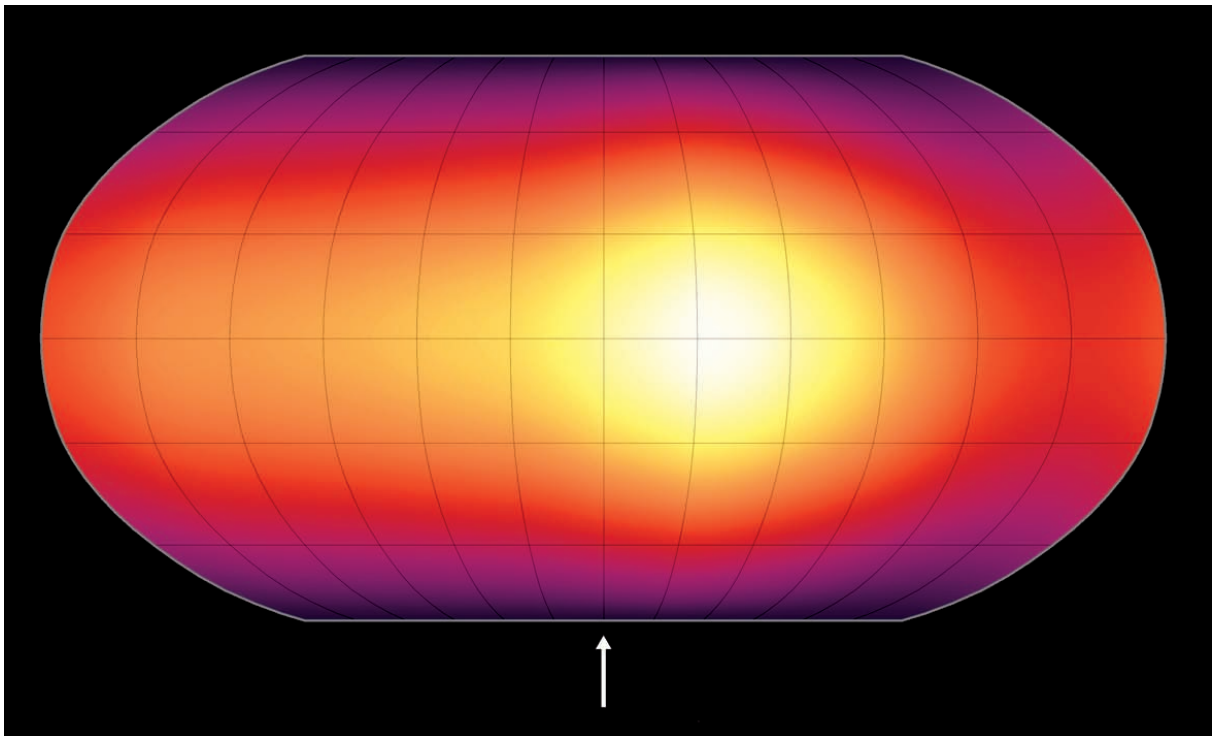


Figure 3. Carte des températures de l'exoplanète HD 189733b, telle qu'elle a pu être reconstituée d'après les mesures effectuées par le télescope *Spitzer*. La flèche désigne la longitude du point subsolaire. On remarque que le point le plus chaud de l'hémisphère éclairé ne coïncide pas avec lui. © Avec l'aimable autorisation de NASA / JPL-Caltech / H. Knutson (Harvard-Smithsonian CfA).

# « Nous avons réalisé la carte des températures de la surface d'une planète si lointaine que sa lumière met soixante ans à nous parvenir. »

Heather Knutson



l'autre plongé dans une perpétuelle obscurité, on peut s'attendre à l'existence d'un très fort contraste de température. Or, Knutson a montré que ce contraste est relativement faible. Seulement 350 K séparent la zone la plus chaude de la zone la moins chaude.

Il semble nécessaire d'invoquer ici des vents très puissants ( $10 \text{ km.s}^{-1}$  !), seuls susceptibles de redistribuer aussi efficacement la chaleur accumulée côté jour sur l'ensemble de la planète.

## PREMIÈRE CARTE D'UNE EXOPLANÈTE

Enfin, Knutson a créé un modèle de l'exoplanète HD 189733b. Elle l'a découpé en bandes de longitude de  $30^\circ$  à qui elle a assigné des températures pouvant varier afin de reproduire au mieux le flux infrarouge mesuré. Le résultat est, en un sens, une image de l'exoplanète à  $8 \mu\text{m}$  (fig. 3). Surprise : le point situé en permanence sous l'étoile – le point subsolaire – n'est pas le point le plus chaud ! Ce dernier se trouve à  $30^\circ$  à l'est du point subsolaire. De même, le point le plus froid n'est pas dans la direction opposée à l'étoile : il se trouve décalé de  $30^\circ$  vers l'ouest.

Ainsi, le point le plus chaud et le plus froid semblent curieusement situés dans le même hémisphère ! L'existence d'un flux minimal et maximal sur un seul et même hémisphère suggère une circulation atmosphérique complexe et encore non comprise. Les théoriciens ont donc du pain sur la planche pour les années à venir...

La réalisation de la première carte d'une exoplanète, aussi sommaire soit-elle, représente une grande avancée. Il faut garder à l'esprit qu'il y a seulement quinze ans, le monde scientifique attendait encore l'annonce de la première détection irréfutable d'une exoplanète ! Il semble toutefois qu'il faille tempérer notre enthousiasme et que l'avenir proche risque de ne pas être aussi prolifique en matière de découverte. En effet, HD 189733 est le système qui présente le contraste le plus favorable entre une étoile et une planète parmi les systèmes exhibant des transits. C'est également l'un des systèmes les plus proches de nous. Aussi, les astronomes ne devraient pas obtenir de courbes de luminosité infrarouge plus précises avant au moins cinq années et le lancement du télescope spatial *James Webb* de la NASA, le successeur de *Hubble*. La balle est maintenant dans le camp des théoriciens... car, si la présence d'une planète géante comme HD 189733b aussi près de son étoile peut trouver une explication dans le phénomène de *migration*, il leur reste encore à saisir puis à expliquer sa météorologie fantasque. Notons enfin que *Spitzer* et *Hubble* ont permis très récemment la découverte de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de vapeur d'eau dans l'atmosphère de cette planète. Or, en raison des températures élevées, l'élément carbone devrait se trouver majoritairement sous forme de monoxyde de carbone (CO), encore non détecté à ce jour, et non sous forme de méthane. Voilà un autre mystère en attente d'être résolu. J. K.

## Johan Kieken

Titulaire d'un DEA d'astrophysique, Johan Kieken a effectué trois années de thèse dans le domaine de la planétologie. Il a intégré le Palais de la découverte en 2005 en tant que médiateur scientifique au sein du département d'astronomie-astrophysique. Il assure à ce titre des séances de planétarium et des exposés pour le grand public.

## CONCLUSION