

La frénésie des planètes habitables

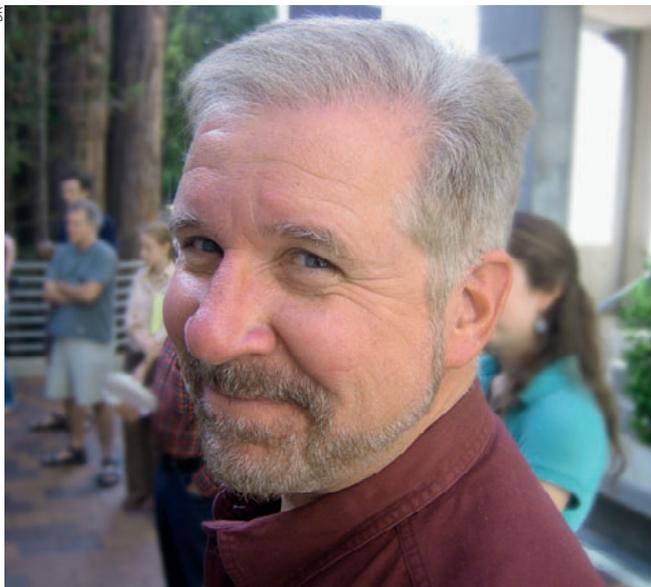
"Rocheuse", "habitable", "habitée" : la quête d'une planète propice à la vie bat son plein, mais la surenchère des annonces guette les astrophysiciens. Il faut donc garder la tête froide. Les débats qui ont récemment agité la communauté des chasseurs d'exoplanètes nous rappellent que la traque reste extrêmement difficile.

David Fossé

LE 12 septembre 2010, l'astrophysicien Greg Laughlin et le spécialiste en sciences sociales Samuel Arbesman⁽¹⁾ publient en ligne un article qui fait sensation : *"Nous prédisons la découverte de la première planète semblable à la Terre pour la première moitié de 2011, la date la plus probable étant mai 2011."* Un optimisme

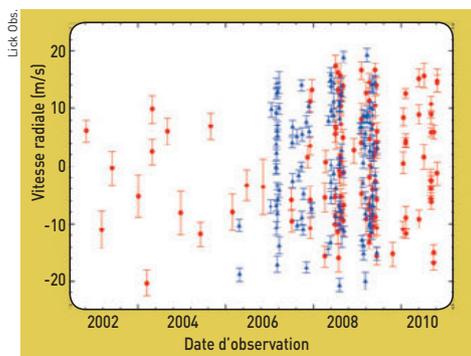
fondé sur leur analyse statistique du rythme des découvertes de planètes extrasolaires depuis 1995 (voir infographie p. 40). Coup de pub ou reflet fidèle de l'état d'esprit qui règne chez les chasseurs d'exoplanètes ? Moins de trois semaines après, le 29 septembre 2010, tous les projecteurs se braquent sur l'équipe de Steven Vogt (observatoire Lick,

L. Brete/C&E Photos



E. Martin/C&E Photos





C'est dans ce type de données que les chasseurs d'exoplanètes comme Steven Vogt (à gauche) ou Geoffrey Marcy (ci-contre) trouvent leurs proies. Ici, huit ans de mesure de la vitesse radiale de l'étoile Gliese 581 sont recensés (en rouge, les données du spectromètre Harps ; en bleu, celles de Harps). Les astronomes en ont extrait plusieurs planètes, chacune imprimant à l'étoile une vitesse sinusoïdale (voir "Les méthodes de chasse" page 43).

Californie). Vogt annonce rien moins que la première découverte "vraiment solide" d'une planète potentiellement habitable ! [zone habitable : lire p. 42]. Une détection réalisée grâce au télescope de 10 m Keck. À une vingtaine d'années-lumière de la Terre, un monde de 3,1 masses terrestres tourne autour de la naine rouge Gliese 581 — une étoile un tiers plus petite que le Soleil, cent fois moins lumineuse, et qui compte déjà quatre planètes à son actif. Dans son article scientifique, l'équipe évoque l'avènement d'une "seconde ère de découvertes", après celle des Jupiter chaudes et des Neptune extrasolaires. "Une nouvelle planète pourrait héberger des organismes" titre le *New York Times*. Le web s'enflamme. Et Steven Vogt en rajoute, déclarant même que, selon lui, "les chances de vie sur cette planète sont de 100 %" (2). Mais dès le 11 octobre, c'est la douche froide. À Turin, au congrès de l'Union astronomique

internationale, le chasseur d'exoplanètes Francesco Pepe présente la synthèse de six ans de traque autour de Gliese 581. Malgré la précision du spectromètre de l'ESO Harps, concurrent direct de l'instrument Hirise installé sur le Keck, son équipe ne voit "aucun indice de la présence d'une cinquième planète sur une orbite de 37 jours, comme annoncé par Vogt". À l'instar du grand chasseur d'exoplanètes américain Geoffrey Marcy, qui estime que "les données de l'équipe de Harps sont excellentes", la majorité des chercheurs tombe d'accord : "La planète n'existe pas." Depuis, Steven Vogt campe pourtant sur ses positions : "Je confirme notre analyse et nos données. Et quiconque les analysera de façon indépendante arrivera aux mêmes conclusions. D'ailleurs, en quinze ans, avec plusieurs centaines d'exoplanètes détectées, notre équipe n'a encore jamais publié ●●● SUITE PAGE 42

Bestiaire planétaire

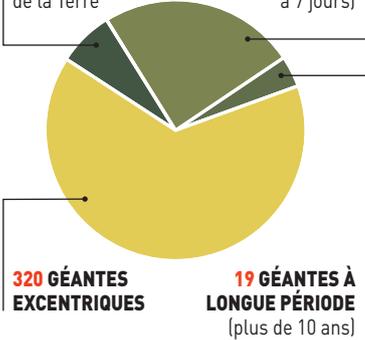
LE CHIFFRE

496

C'est le nombre d'exoplanètes découvertes au 26 octobre 2010

Les types d'exoplanètes

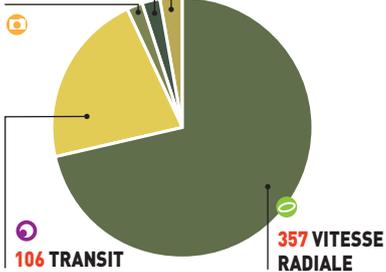
35 SUPER-TERRE (entre 2 et 15 fois la masse de la Terre)
122 JUPITER OU NEPTUNE CHAUDES (révolution inférieure à 7 jours)



320 GÉANTES EXCENTRIQUES
19 GÉANTES À LONGUE PÉRIODE (plus de 10 ans)

Les méthodes de détection

10 CHRONOMÉTRAGE
12 IMAGERIE
11 MICROLENTILLE



106 TRANSIT
357 VITESSE RADIALE

Une recherche en plein essor



LA PLUS COMMUNE

HD 8574 b

Les planètes géantes gazeuses, d'une masse comprise entre 0,5 et 5 fois celle de Jupiter, et circulant une orbite excentrique, représentent les deux tiers des exoplanètes connues. HD 8574 b est l'une d'elles. Elle tourne en 227 jours autour de son étoile sur une orbite allongée, et sa masse est le double de celle de Jupiter.

LA PLUS LÉGÈRE

Gliese 581 e

La masse de Gliese 581e, située à 20 années-lumière de nous, est seulement le double de celle de la Terre. Mais elle est aussi infiniment plus chaude ! Elle tourne en seulement 3 jours autour de l'étoile. À titre de comparaison, Mercure boucle sa révolution autour du Soleil en 88 jours.

LA PLUS CHAUDE

Corot 7 b

Corot 7 b affiche une densité comparable à celle de la Terre. Mais elle est peu susceptible d'abriter la vie, car elle détient le record de la planète la plus chaude. Elle est si proche de son étoile qu'elle en fait le tour en seulement 20 heures ! Sa surface est probablement en fusion.

LA PLUS "FONDUE"

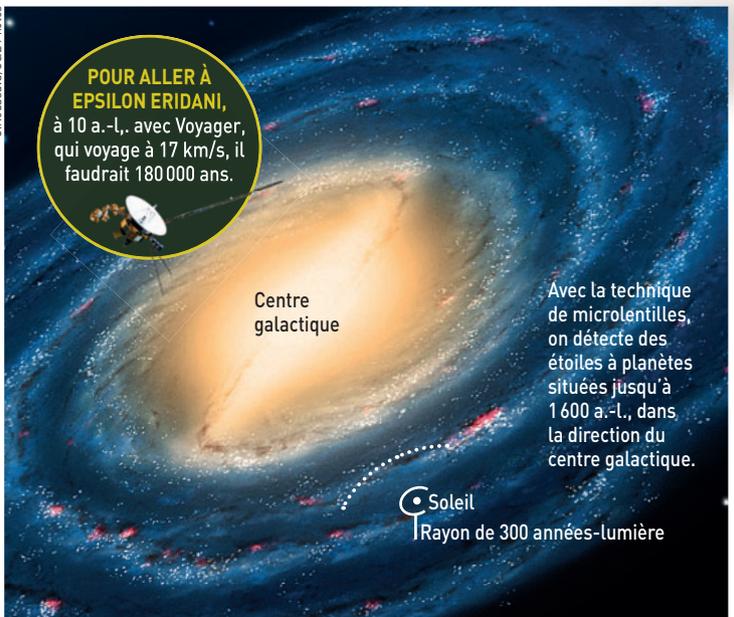
Gl 1214 b

Gl 1214 b est 5 fois plus massive et 2,5 fois plus grande que la Terre. Peu dense, elle doit être en bonne partie composée de glace. Mais elle est très proche de son étoile. Toute cette glace a donc sûrement fondu, peut-être transformée en un monumental océan recouvrant la planète.

Où les chercher

La plupart des exoplanètes détectées tournent autour d'étoiles proches, dans un rayon de 300 années-lumière (a.-l.). Car plus l'étoile est brillante, donc proche, plus il est aisé de mesurer les variations de sa vitesse ou de sa luminosité (lire p. 43). La technique des microlentilles débute des planètes beaucoup plus lointaines. On vise des étoiles près du centre de la Voie lactée. Les étoiles "loupes", responsable de la variation d'éclat, surtout lorsqu'elles sont accompagnées d'une planète, se trouvent vers 1 600 années-lumière.

O. Hodasava/C&E Photos



POUR ALLER À EPSILON ERIDANI, à 10 a.-l., avec Voyager, qui voyage à 17 km/s, il faudrait 180 000 ans.

Centre galactique

Avec la technique de microlentilles, on détecte des étoiles à planètes situées jusqu'à 1 600 a.-l., dans la direction du centre galactique.

Soleil
Rayon de 300 années-lumière



LA PLUS EXTRÊME

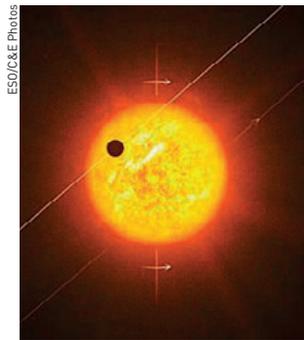
HD 80606

  La plupart des exoplanètes connues naviguent sur une orbite très allongée. Leur distance à leur étoile varie donc beaucoup au cours de leur révolution. HD 80606b est le cas le plus extrême. Sa distance à son étoile oscille entre 5 et 127 millions de kilomètres. Sa température, mesurée par le satellite Spitzer, varie entre 500 et 1 200 °C.

LA PLUS CHAOTIQUE

Wasp 8 b

  Toutes les planètes ne sont pas sagement alignées avec l'équateur de leur étoile. Certaines circulent sur une orbite complètement chaotique. L'orbite de Wasp 8 b est si inclinée qu'elle est quasiment polaire et la planète tourne dans le sens inverse de son étoile.



ESO/C&E Photos

LA PLUS MASSIVE

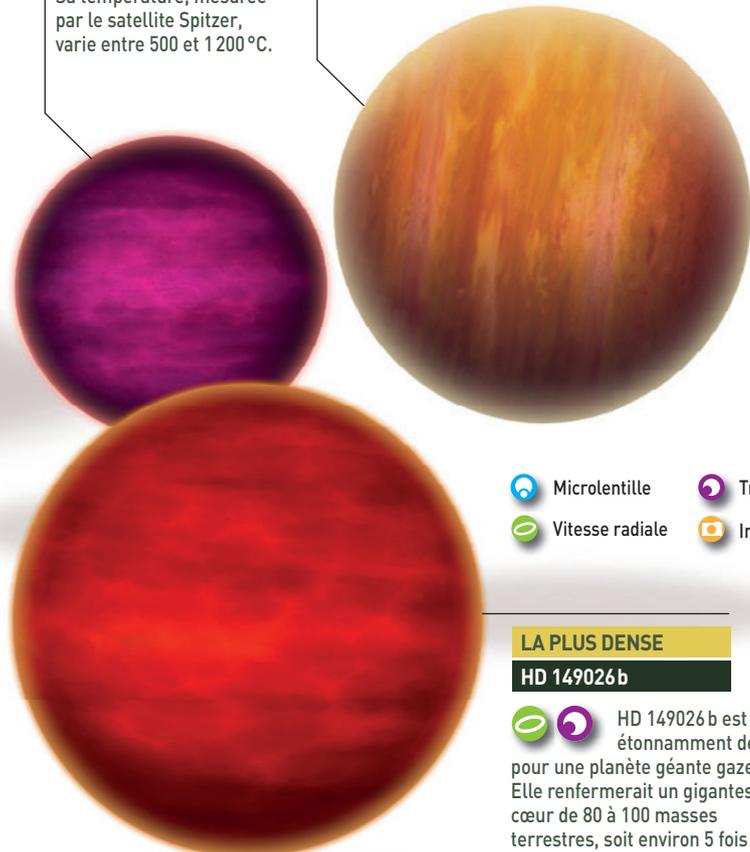
Corot 3 b

 Avec 21 fois la masse de Jupiter, c'est la plus grosse planète connue. Mais est-ce vraiment une planète ? Pas sûr... La limite, encore très discutée, entre une planète et une naine brune (une petite étoile, donc) serait à 13 masses joviennes. Dans ce cas, une vingtaine de corps quittera le cortège des exoplanètes.

LA PLUS GONFLÉE

Wasp 17 b

  Wasp 17 b est moitié moins massive que Jupiter, mais presque deux fois plus grande. Elle est donc la moins dense des planètes connues. Wasp 17 b boucle sa révolution en 3,3 jours. Elle est donc si proche de son étoile que les intenses effets gravitationnels dus à la masse de celle-ci la font gonfler.



-  Microscopie
-  Vitesse radiale
-  Transit
-  Imagerie

LA PLUS DENSE

HD 149026 b

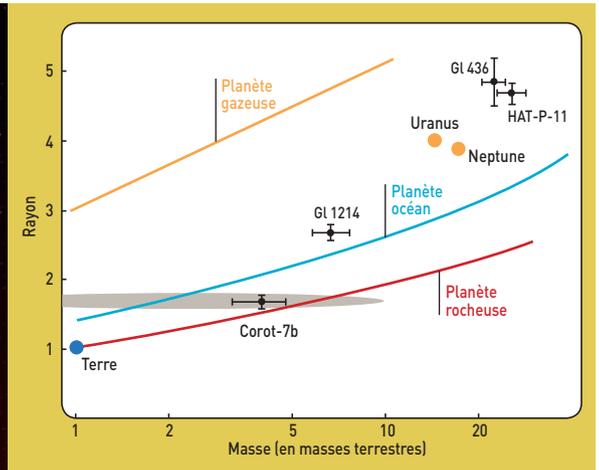
  HD 149026 b est étonnamment dense pour une planète géante gazeuse. Elle renfermerait un gigantesque cœur de 80 à 100 masses terrestres, soit environ 5 fois plus gros que celui de notre Jupiter.



* Allemagne, Angleterre, Danemark, Espagne, France, Italie, République tchèque

Qui les trouve ?

Parmi les télescopes chasseurs d'exoplanètes, on trouve les géants de la planète — comme le Keck (10 m), à Hawaï, ou encore le VLT (8 m), au Chili —, mais aussi des instruments plus petits. Ceux du programme HAT mesurent 1,8 m, ceux du programme Tres, 10 cm ! Le programme Super Wasp utilise, lui, 8 caméras grand champ. Enfin, de nombreux télescopes amateurs sont mobilisés partout dans le monde. Dans l'espace, Corot et Kepler trouvent des planètes, Spitzer et Hubble les analysent.



Pourquoi mesurer le rayon et la masse d'une planète ? Afin de déterminer sa densité, donc sa nature ! Corot 7b est la première planète pour laquelle une composition rocheuse a été annoncée, en 2009. Les cinq réévaluations de sa masse réalisées depuis (rassemblées dans la zone grisée) sont toutefois compatibles avec différentes compositions.

ESO/C&E Photos

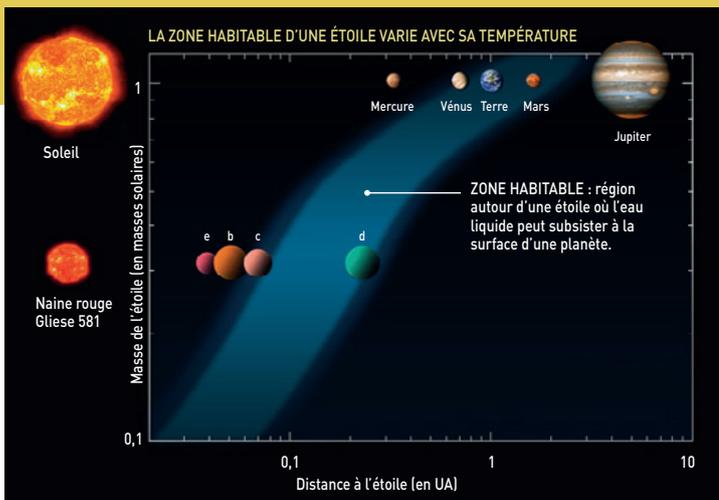
... SUITE DE LA PAGE 39 de fausse détection ni d'erratum." Pêché d'orgueil ? Peut-être. Mais c'est surtout que Steven Vogt sait bien qu'accoucher d'une petite planète est un exercice délicat (lire p. 44, en haut). Poussés aux limites de leur capacité, les meilleurs spectromètres donnent souvent des résultats ambigus, discutables. Bref : qui laissent de confortables marges d'interprétation.

Grosse Terre ou petite Neptune ?

Le cas de la planète Corot 7b, à ce titre, est intéressant. Début 2009, grâce au satellite français Corot, Alain Léger⁽³⁾ et ses col-

lègues annoncent la détection par transit d'une planète de 1,6 rayon terrestre autour d'une étoile à peine moins massive que le Soleil. Quelques mois plus tard, au terme d'une mobilisation sans précédent de Harps (106 mesures de 30 à 60 minutes concentrées sur 4 mois !), le Suisse Didier Queloz et son équipe publient la masse de l'objet. Compte tenu de son volume, ses 4 à 5,6 masses terrestres placent clairement Corot 7b dans la catégorie des planètes rocheuses, d'une densité comparable à celle de la Terre. Comme la nouvelle venue tourne très près de son étoile, elle n'est bien

sûr pas habitable. Mais c'est la toute première planète tellurique confirmée ! Depuis le 23 août, un article signé par trois spécialistes issus des équipes de Corot et de Harps sème pourtant le doute. "Corot 7b pourrait être une mini-Neptune [une planète gazeuse, NDLR] plutôt qu'une super-Terre", écrivent Frédéric Pont, Suzanne Aigrain et Shay Zucker⁽⁴⁾. Pis, "il est difficile d'être confiant dans le fait que Corot 7b rassemble les conditions pour être confirmée comme planète", estiment les trois astronomes. Ils préviennent donc les théoriciens : jusqu'à plus ample informé, "les modèles qui se fondent sur



La zone habitable d'une naine rouge, étoile plus froide que notre Soleil, est bien plus proche de ce petit astre que la distance Terre-Soleil (1 UA).

La zone habitable, terrain de chasse des exobiologistes

↳ La zone habitable ? "C'est la zone, autour d'une étoile, où le climat d'une planète peut permettre à l'eau de couler en surface", répond Franck Selsis, du laboratoire d'astrophysique de Bordeaux. Elle est très mal nommée, "car on peut chercher l'eau liquide sous la surface d'une planète, et donc hors de la zone habitable" (par exemple, sur le satellite de Jupiter Europe). Cependant, elle reste un concept important pour les exobiologistes : "C'est dans cette zone, en présence d'eau liquide, que le gaz carbonique peut jouer le rôle de régulateur climatique qu'il a eu sur la Terre tout au long de son histoire." Par ailleurs, une vie présente en surface peut utiliser le rayonnement de son étoile et modifier profondément la composition de la surface, des océans et de l'atmosphère. Autrement dit, les signatures atmosphériques de la vie, les seules que l'on puisse espérer détecter à distance, sont sans doute plus faciles à voir pour les planètes situées dans la zone habitable de leur étoile.

Franck Selsis 2007/ESO/C&E Photos

Cinq méthodes de chasse

la nature rocheuse de Corot 7b pourraient bien être bâtis sur du sable”.

À l'origine de la controverse ? D'abord le fait que Corot 7 soit une étoile active. En effet, la présence de taches et de facules sur un disque stellaire peut mystifier un spectromètre et mimer une vitesse radiale. C'est un parasite qui se superpose au signal que l'on veut mesurer. Or, Frédéric Pont précise : “Dans le cas de Corot 7, la variabilité stellaire est au moins dix fois plus importante que la vitesse radiale imprimée à l'étoile par sa planète”, de l'ordre de 3 à 4 m/s selon Queloz et ses collègues. Par conséquent, la façon dont on corrige les données de cette variabilité est cruciale ! Frédéric Pont et ses collègues ont mis au point une nouvelle stratégie qui, selon eux, donne de meilleurs résultats.

Par ailleurs, “HARPS est optimisé pour des étoiles dont l'éclat dépasse la magnitude 8”, reprend Frédéric Pont. Dans cette gamme, sa précision est inégalée. Mais, à la magnitude de Corot 7 (11,7), il semble que la qualité de ses données décroisse. Du coup, explique le chercheur, la confiance à leur accorder est moindre. Corot 7b serait donc moins bien ancrée dans le monde des exoplanètes qu'on ne le pense. Une analyse “pénétrante” ou “sans grand intérêt” ? Les chasseurs de planètes extrasolaires sont divisés. Si Geoffrey Marcy pense que “la première planète définitivement rocheuse reste à découvrir”, Jean-Philippe Beaulieu, ●●●

Pour Jean-Philippe Beaulieu, spécialiste de la recherche des exoplanètes par microlentille, “détecter une super-Terre autour d'une étoile de type solaire par vitesse radiale est un exercice très difficile”. Voilà sans doute pourquoi la nature de l'exoplanète Corot 7b reste discutée.

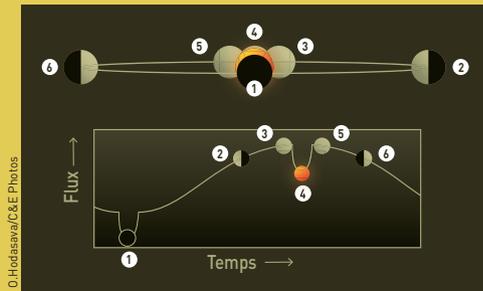


A. Poilleux/C&E Photos

LA VITESSE RADIALE

Malgré sa faible masse, une planète exerce une influence gravitationnelle sur son étoile. Le phénomène se traduit pour un observateur terrestre par un très léger mouvement de va-et-vient de l'étoile, perceptible dans son spectre lumineux. Quand l'étoile s'éloigne, son spectre est décalé vers le rouge, quand elle se rapproche, il est décalé vers le bleu.

LES TRANSITS

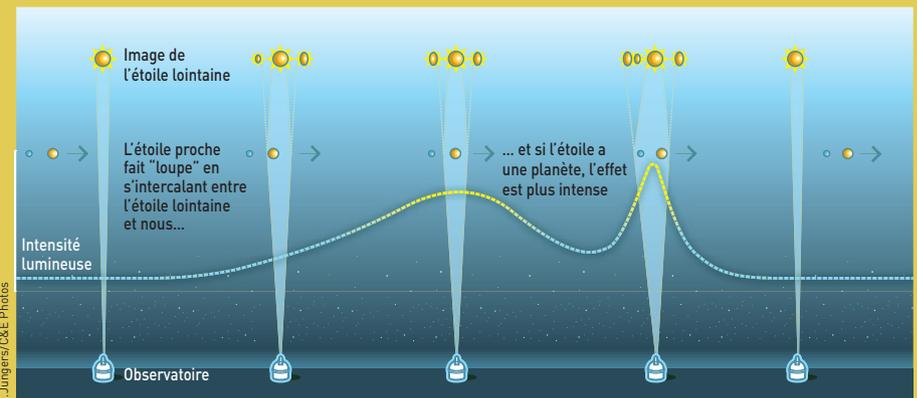


O. Hodasawa/C&E Photos

En passant devant son étoile, une planète en diminue légèrement l'éclat. Une infime baisse de luminosité que captent les télescopes au sol, ou, avec plus de précision encore, les satellites tels que Corot et Kepler. Cette méthode fournit la taille, proportionnelle à la baisse d'éclat. Si l'on connaît également sa masse, grâce à la méthode des vitesses radiales, on en déduit sa densité, indicatrice de sa composition.

LES MICROLENTILLES

Lorsqu'une étoile passe devant une autre, elle en dévie les rayons lumineux et les focalise, d'où une brève augmentation d'éclat. Or, ce sursaut lumineux est encore plus intense si l'étoile à l'avant-plan possède une planète. Cette méthode a permis de découvrir les plus petites exoplanètes connues à ce jour. À noter toutefois qu'elle est encore entachée d'une grande incertitude concernant la masse de la planète.



S. Jungers/C&E Photos

L'IMAGERIE

C'est la méthode la plus prometteuse. Et la plus difficile à mettre en place. Car recueillir la lumière d'une planète noyée dans l'éclat de son étoile revient à distinguer depuis Paris un ver luisant à côté d'un phare situé à Marseille ! Pour y parvenir, les astronomes munissent leurs télescopes à la fois d'instruments bloquant la lumière de l'étoile et d'autres permettant d'obtenir des images de haute résolution. Voir article page 45

LE CHRONOMÉTRAGE

Dans certains cas particuliers, on détecte une planète en mesurant une variation dans le temps d'arrivée d'un signal régulier émis par l'étoile. Par exemple, lorsqu'il s'agit d'un pulsar, on mesure le temps d'arrivée de son faisceau. Lorsqu'il s'agit d'une étoile binaire, on chronomètre les éclipses mutuelles au sein du couple. Dans un cas comme dans l'autre, si les signaux sont en retard ou en avance, c'est sans doute qu'une planète perturbe le système.



L. Weisstein/C&E Photos

Grâce au spectromètre Harps, l'astronome suisse Didier Queloz et son équipe ont déterminé en 2009 la masse et la densité de Corot 7b, la première planète de densité terrestre jamais découverte. Très difficile, la mesure a été rediscutée depuis.

... de l'IAP, se dit "pas convaincu par cette réanalyse". Didier Queloz, lui, relativise en plaçant cet article "dans la série de ceux qui rediscutent la masse de Corot 7b" (voir figure p. 42). "Tous ces travaux montrent l'intérêt que soulève cette planète, ainsi que la difficulté de corriger 'correctement' l'activité stellaire", estime-t-il. Pour y parvenir, il espère qu'une nouvelle campagne de mesure conjointe depuis le sol et l'espace sera mise en place "dans un avenir proche". Pourquoi pas ? Les données du satellite infrarouge Spitzer, qui s'est déjà tourné vers Corot 7b, semblent confirmer l'existence de la petite planète... Quoiqu'il en soit, la chasse aux exoplanètes "terrestres" promet encore quelques foires d'empoigne... Le satellite américain Kepler a plusieurs centaines de candidates planètes en réserve et Geoffrey Marcy annonce "des résultats solides d'ici quelques mois" sur le

Le flair du chercheur d'or

Comment les astronomes dénichent-ils des planètes à partir de la mesure de la vitesse radiale d'une étoile ? Sur le principe, rien de plus simple (voir p. 43). Dans les faits toutefois, et surtout pour les petites planètes, le "signal" gravitationnel est très faible : s'il est de l'ordre de 59 m/s pour 51 Peg b, la première exoplanète en 1995, il frôle à peine 4 m/s pour Corot 7b⁽¹⁾ ! Pour ces chercheurs d'or que sont les chasseurs d'exoplanètes, le défi consiste à isoler un si faible mouvement au milieu de différents parasites, bref, trouver la pépite ! "Pour chaque planète d'un système extrasolaire, nous avons cinq paramètres à déterminer", précise Debra Fischer, chargée de la recherche d'exoplanètes à l'observatoire Lick. La masse et la période orbitale de la planète, mais aussi l'excentricité de son orbite, sa phase, et enfin son orientation. "Si l'un de ces paramètres est incorrect, alors on peut introduire artificiellement du faux signal dans les données." Le pire des cas consistant à voir finalement des planètes là où il n'y en a pas. Ce danger guette particulièrement les astronomes "quand le signal est faible et qu'il y a apparemment beaucoup de planètes autour d'une étoile", conclut l'astrophysicienne.

(1) Pour comparaison, la Terre (planète de 1 masse terrestre à 150 millions de kilomètres de son étoile) imprime au Soleil un mouvement de seulement 10 cm/s.

front des planètes rocheuses. Mais Suzanne Aigrain s'attend déjà à ce que "la confirmation de la nature des plus petits objets reste problématique". Harps, installé au Chili, n'a pas accès au champ pointé par Kepler (dans la constellation boréale du Cygne). Le télescope Keck, lui, est à Hawaï. Mais il est réputé être un poil moins précis...

Donner un jumeau à Harps

La solution serait la mise en service rapide de Harps North, la réplique améliorée de l'instrument star de la chasse aux exoplanètes. Mais elle n'est prévue aux Canaries qu'en 2012, un an avant la fin officielle de la mission Kepler. Et puis surtout, la question de la correction de l'activité des étoiles reste ouverte. "Si Harps a eu tant de mal à confirmer l'existence de Corot 7b en vitesse radiale, c'est parce qu'elle était une cible imposée,

ayant d'abord été détectée par transit", souligne Xavier Bonfils, du laboratoire d'astrophysique de Grenoble. Dans les recherches d'exoplanètes par vitesse radiale, les étoiles actives sont en effet éliminées d'office... Il faudra donc soit raffiner les procédures de correction de l'activité des étoiles, soit procéder à l'envers : chercher des transits pour les petites planètes découvertes par vitesse radiale (voir encadré) !⁽⁵⁾

Ultime facteur à ne pas négliger : "La grosse pression qui pèse sur les équipes de recherche d'exoplanètes, confie Debra Fischer, responsable de la recherche d'exoplanètes à l'observatoire Lick. Au moment où nous rendons publiques nos données, nous voulons être sûrs d'en avoir tiré le maximum, sous peine de rater une découverte !" Et au risque éventuellement de la survendre ? "Il faut intéresser le public, mais ne pas créer de déceptions", prévient Suzanne Aigrain.

Dans leur "prédiction scientométrique", Greg Laughlin et Samuel Arbesman précisent leurs chiffres sur la détection d'une nouvelle Terre : elle a 66 % de chance de se produire avant fin 2013, le chiffre monte à 75 % fin 2020, et n'atteint 95 % qu'en 2264 ! Voilà peut-être de quoi tempérer les enthousiasmes. ●

(1) L'un de l'université de Californie à Santa Cruz et l'autre de l'université Harvard.

(2) Voir l'article de Discovery News du 29 septembre 2010 (<http://news.discovery.com/space/earth-like-planet-life.html>).

(3) Institut d'astrophysique spatiale d'Orsay.

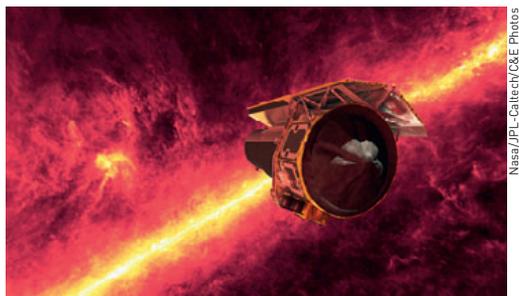
(4) Respectivement des universités d'Exeter, d'Oxford et de Tel-Aviv.

(5) Évidemment, les deux pistes sont explorées !

Spitzer à la rescousse

Pour dénicher les super-Terre, Michaël Gillon a choisi une voie originale. Plutôt que de confirmer par vitesse radiale les planètes découvertes grâce à leur transit, il fait l'inverse ! "Avec Spitzer, je cherche à repérer le transit des planètes de faible masse trouvées par Harps et qui circulent à moins d'un vingtième de la distance Terre-Soleil de leur étoile, parmi les astres situés à moins de 150 années-lumière", explique l'astronome de l'université de Liège. Pour chacune de ces planètes, la probabilité de transit est de "5 à 10 %" et le catalogue de cibles compte 25 étoiles pour le moment. "Nous venons aussi d'installer un télescope automatisé à La Silla pour faire ce suivi sur la plupart des super-Terre et des Neptune repérées par Harps", poursuit-il. Le nom de ce télescope de 60 cm ? Trappist, pour Transiting Planets and Planetesimals Small Telescope.

Le satellite infrarouge Spitzer sert désormais à traquer les planètes extrasolaires par la méthode des transits (voir page 43).



NASA/JPL-Caltech/C&E Photos

+ W À voir sur Internet

Testez la stabilité de votre système planétaire www.alieneartths.org/online/starandplanetformation/planetfamilies.php (en anglais)

Une course aux limites des télescopes

Étudier en détail une exoplanète

suppose un nouveau bon technologique : la capacité d'en tirer le portrait. Si quelques photos de ce genre ont déjà été réussies, la technique est encore balbutiante. Malgré des obstacles énormes, les astronomes sont aujourd'hui optimistes.

Yaël Nazé
FNRS

Keck Obs.

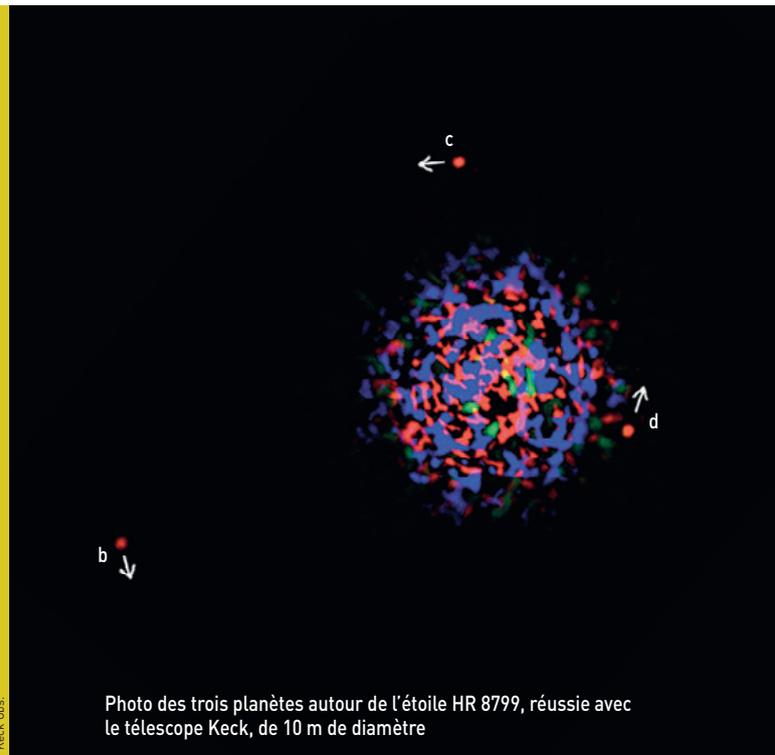
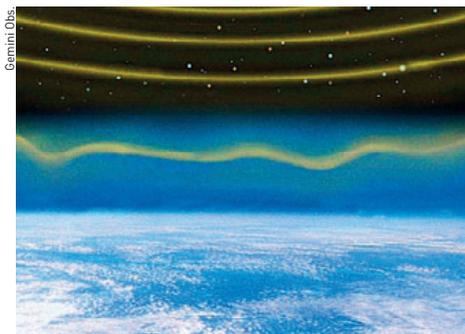


Photo des trois planètes autour de l'étoile HR 8799, réussie avec le télescope Keck, de 10 m de diamètre

NOUS sommes habitués à voir les choses en grand : chaises, arbres, personnes... Tout, dans notre environnement immédiat, occupe une bonne partie de notre champ de vision. Il en va tout autrement en astronomie, science du détail par excellence ! Pour vous en convaincre, tendez le bras : votre main, doigts écartés, couvre alors sur le ciel un angle de 20° entre le pouce et l'auriculaire ; la largeur de l'index vaut, elle, 1° environ (ci-dessous). En comparaison, le Soleil et la Lune sous-tendent un angle de 0,5° (ou 30 minutes d'arc), Mars n'atteint que 24 secondes d'arc quand elle est au plus près de la Terre, les satellites galiléens de Jupiter se contentent au mieux de 3 secondes d'arc... Et si des extraterrestres situés à une trentaine d'années-lumière regardaient par ici, la distance Soleil-Jupiter ne serait pour eux que de 0,5 seconde d'arc !

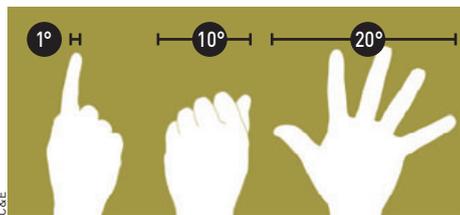


L'atmosphère distord les ondes lumineuses !

DISTINGUER DES ANGLES aussi petits est impossible à l'œil. Mais les télescopes y parviennent. En effet, si l'image d'un objet lointain créée par un instrument optique est une petite tache (et non un point), la dimension de cette tache dépend de la taille de l'instrument et du type de lumière utilisés. De manière générale, on parle de résolution angulaire, et celle-ci vaut, en secondes d'arc et pour la lumière visible, 125 divisé par le diamètre de l'instrument, exprimé en millimètres. Donc, plus le télescope est grand, plus les détails observables seront fins. Un télescope de 100 mm distingue des détails de 1 seconde d'arc, alors qu'un instrument de 10 m est capable de voir des objets séparés de seulement 0,01 seconde d'arc !

Ce tableau idyllique doit être nuancé, car la Terre est entourée d'une bonne couche protectrice, l'atmosphère. Or, la lumière en provenance des astres y rencontre des zones turbulentes de pressions et de températures variées. Les ondes lumineuses arrivent donc très déformées sur nos détecteurs. Conséquence : un temps de pose de quelques secondes fera apparaître une bonne grosse tache d'environ 1 seconde d'arc, quel que soit le diamètre de l'instrument. Et une pose extracourte révélera une constellation de petites taches, les tavelures (*speckles* en anglais), qui chacune correspondent à l'image créée par une cellule atmosphérique.

UNE PREMIÈRE SOLUTION pour obtenir malgré tout une bonne image est la *lucky imaging*. Il s'agit de "mitrailler" l'objet désiré et de regarder toutes les poses extracourtes. À certains moments, l'atmosphère se calme un peu, et la constellation de tavelures ne comporte plus que quelques taches, dont une domine clairement. Il suffit alors de sommer les "bonnes" images pour obtenir une image assez correcte de l'objet. Dans le même ordre d'idées, on peut aussi observer en même temps, ou juste l'une après l'autre, l'étoile désirée et une étoile-référence : connaissant alors à chaque instant la forme de la constellation de taches grâce à la référence, ●●●



Les doigts permettent d'estimer de grands angles, mais en astronomie, les angles sont encore bien plus petits ! Pour rappel, 1° = 60' d'arc = 3 600" d'arc

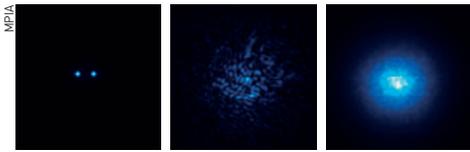
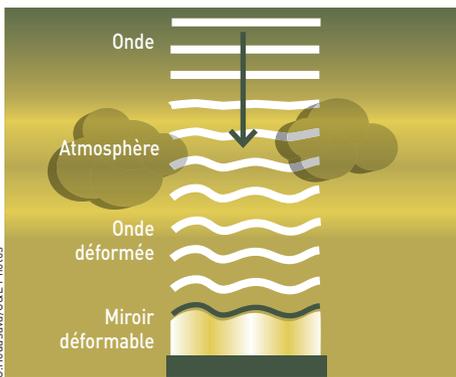


Image parfaite d'un système stellaire (à gauche), le résultat d'une pose courte (au milieu) et celui d'une pose longue (à droite).

... on peut retrouver la forme réelle de l'objet étudié (étoile avec astre compagnon, entourée d'un disque, etc.).

UNE DEUXIÈME SOLUTION est de se battre contre l'atmosphère. On peut bien sûr décider de "passer outre" cette encombrante couche, en utilisant un télescope spatial, mais c'est plutôt cher. Aujourd'hui, il existe heureusement une arme pour la combattre depuis le sol : l'optique adaptative. Son principe est simple : puisque les ondes lumineuses



Principe de l'optique adaptative : compenser les effets de l'atmosphère sur la lumière stellaire grâce à un miroir déformable.

L'optique adaptative permet d'aller aux limites de résolution des télescopes, comme l'illustrent les deux images de la planète Neptune ci-dessous. À gauche, sans optique adaptative, et à droite, avec.

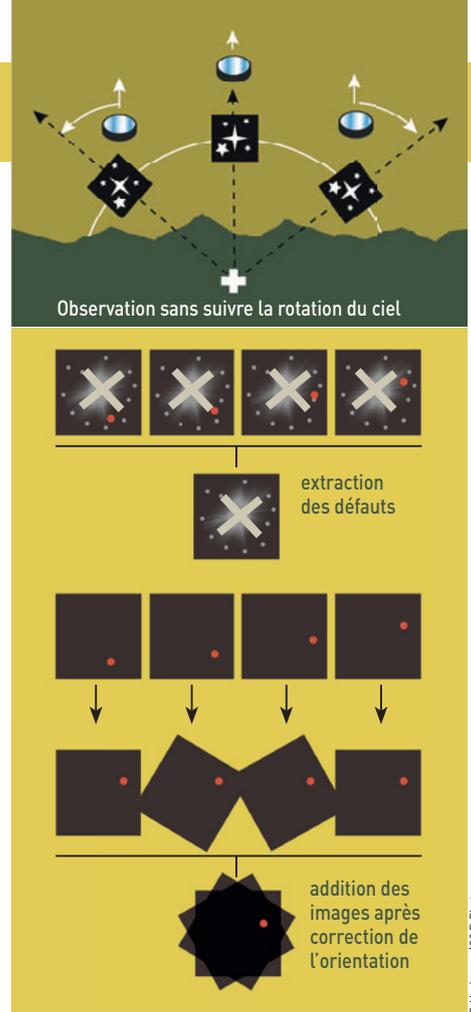


sont déformées, alors déformons un miroir de manière similaire, faisons s'y réfléchir la lumière de sorte qu'à la sortie, ces ondes aient retrouvé leur aspect original... ou presque.

Comme l'atmosphère bouge vite, la forme du miroir doit être ajustée jusqu'à 1000 fois par seconde. Évidemment, ce n'est pas le grand miroir primaire des télescopes qui bouge ainsi, mais un petit miroir additionnel inséré dans le trajet de la lumière. Et cela marche assez bien, comme on peut le voir sur les deux photos de Neptune, en bas.

IL EST MÊME POSSIBLE d'améliorer encore le résultat de l'optique adaptative. En effet, il n'y a pas que l'atmosphère qui perturbe la lumière. La structure du télescope (support du miroir secondaire, imperfections optiques, etc.) impose également sa propre signature dans la "tache" lumineuse produite, sous la forme d'un halo très gênant pour détecter des compagnons proches. Il est toutefois possible de corriger cela grâce à la technique de l'ADI (Angular Differential Imaging), utilisée sur les grands télescopes comme le VLT. Il s'agit ici d'observer l'étoile en gardant la même orientation des détecteurs : la signature des défauts instrumentaux sera toujours identique, mais les astres autour de l'étoile (par exemple, une exoplanète) vont, eux, tourner autour de l'étoile tout comme le reste du ciel. En soustrayant la signature observée dans chaque image, puis en additionnant les images résultantes (chacune tournée de manière à avoir cette fois une orientation céleste constante), les compagnons faiblement lumineux se dévoilent clairement.

DANS LA MÊME VEINE, on peut aussi utiliser la technique SDI (Spectral Differential Imaging). L'idée est ici d'obtenir simultanément des images dans différents filtres : la constella-

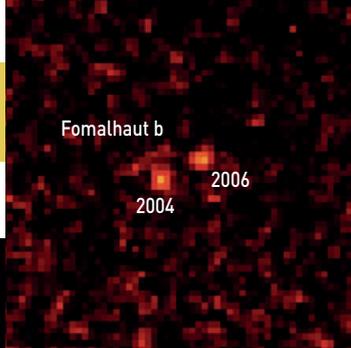
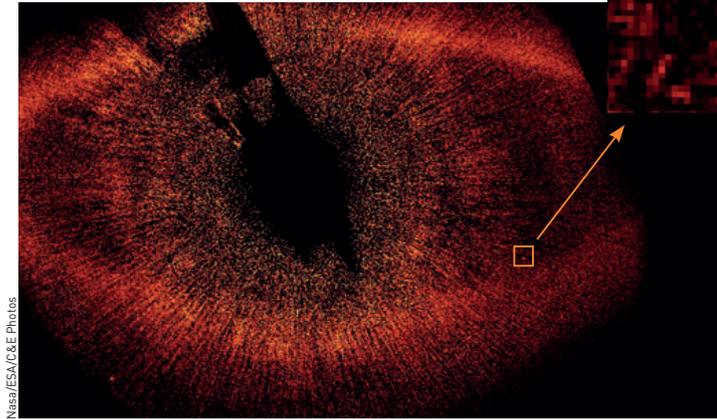


Technique ADI : observer l'objet désiré sans suivre la rotation naturelle du ciel (1re figure), extraire la signature des défauts instrumentaux, la retirer, rendre aux images résultantes leur orientation céleste et les additionner.

tion des tavelures va s'étirer aux plus grandes longueurs d'onde, mais un compagnon réel restera, lui, à la même position. En corrigeant l'étoile de sa constellation de taches dans chaque image, on permet à ses compagnons d'apparaître plus facilement. Si l'un des filtres correspond à une zone absorbée par le compagnon (bandes de méthane, par exemple, pour les naines brunes et les planètes géantes), l'effet d'amplification sera renforcé (ci-dessous).



Grâce à la technique SDI, l'astre de faible masse qui accompagne l'étoile SCR1845 se distingue clairement.



Masquer une étoile permet de révéler les structures alentour. Une planète a ainsi été repérée dans le disque de poussières entourant l'étoile Fomalhaut. Le déplacement de l'astre, baptisé Fomalhaut b, a été observé en l'espace de deux ans.

IL RESTE TOUTEFOIS un problème : les télescopes ne sont pas extensibles à l'infini... Même si des télescopes de 30 m de diamètre, voire 100 m, sont envisageables, personne ne se risque à imaginer des télescopes de 1 km de diamètre ! Pour améliorer encore la résolution, la seule solution est l'interférométrie : les faisceaux lumineux de petits télescopes éloignés sont combinés et la résolution atteinte dépend alors de la séparation entre télescopes, et non de leur taille individuelle. Cette technique n'est pas simple à mettre en œuvre dans le domaine visible (le VLTI est un des pionniers), mais elle est couramment utilisée en radio.

Si on atteint la résolution voulue, le problème est-il réglé pour discerner une exoplanète ? Hélas non... Les exoplanètes sont non seulement proches de leur étoile, mais elles sont aussi beaucoup moins lumineuses. Dans le domaine visible, la Terre est un milliard de fois moins lumineuse que le Soleil et Jupiter 100 millions de fois moins lumineuse. Dans l'infrarouge, le contraste n'est plus "que" d'un million... Cette différence énorme revient à essayer de distinguer, depuis Paris ou Bruxelles, un papillon de nuit voletant autour d'un phare situé à... Athènes !

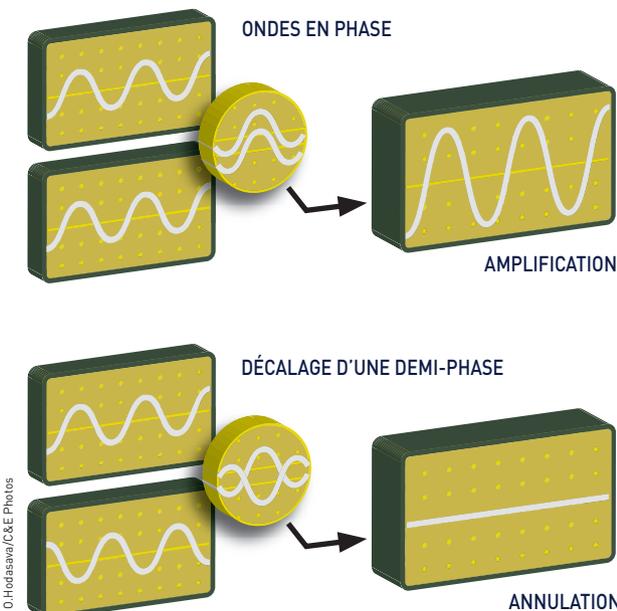
Outre les techniques améliorant la résolution, il va falloir utiliser des moyens pour "éteindre" l'étoile au maximum... Si les méthodes ADI et autres ont déjà été évoquées, il existe une solution plus efficace encore : la coronagraphie. Sous ce nom un rien barbare se cache tout d'abord un phénomène naturel. Lors des éclipses de Soleil, la Lune vient occulter le disque solaire, révélant la couronne solaire, atmosphère extérieure un million de fois moins lumineuse et donc inobservable en d'autres temps.

Partant de cette observation, le Français Bernard Lyot proposa dans les années 1930 de recréer des éclipses artificielles grâce à

un masque opaque judicieusement placé. Le coronographe artificiel était né. L'idée fit florès, et pas seulement pour l'observation du Soleil, d'ailleurs : c'est grâce à cette technique que l'on détecte le disque de poussières entourant d'autres étoiles (comme Bêta Pic ou Fomalhaut, ci-dessus). Le télescope spatial Hubble dispose d'un tel coronographe, et l'utilise pour chasser les exoplanètes.

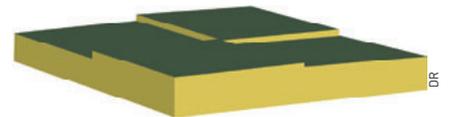
LES MASQUES OPAQUES ont cependant un inconvénient : ils sont généralement assez gros, cachant les abords immédiats des étoiles — donc leurs planètes proches ! À la fin du siècle dernier, grâce aux Français Roddier et

Une onde et sa jumelle décalée d'une demi-phase forment une interférence destructrice ; leur somme est partout nulle. Contrairement à l'intuition, additionner de la lumière et de la lumière permet donc d'"éteindre" une source.



O. Hodasaver/C&E Photos

Rouan, de nouveaux types de coronographes virent le jour : les coronographes de phase, tel le "quatre quadrants". Ces coronographes se composent d'un masque... transparent. Comment bloquer la lumière stellaire, dans ces conditions ? Très simplement : le masque est peut-être transparent, mais pas inactif ! Il change par zone (chaque quadrant dans le "quatre quadrants") la phase des ondes lumineuses. Une étoile placée au centre du champ de vue voit alors la moitié de sa lumière inchangée et l'autre moitié déphasée d'une demi-période. Lorsque ces deux parties sont recombinaées sur le détecteur, elles s'annulent l'une l'autre ! La lumière du compagnon éventuel, elle, ne subit pas ce déphasage et atteint le détecteur sans problème, éblouissant le chasseur de planètes.



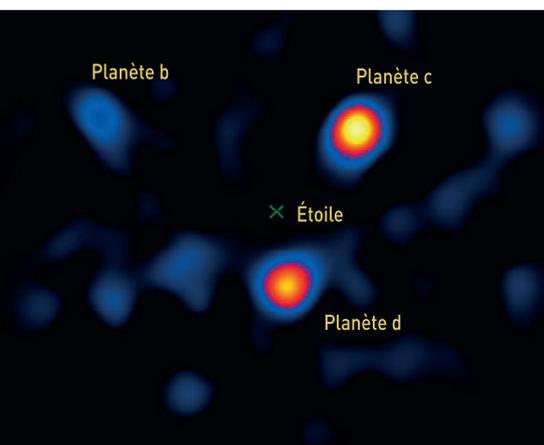
Exemple d'un masque de phase "quatre quadrants" fonctionnant à une longueur d'onde donnée : des "marches" d'épaisseur bien choisie permettent ici de créer le déphasage adéquat.

ÉVIDEMMENT, avoir un masque en deux ou quatre parties implique de construire des frontières brutales, ce qu'il n'est jamais possible de réaliser parfaitement. Du coup, l'extinction n'est pas parfaite et l'étoile apparaît encore un peu. Il est toutefois possible d'améliorer encore l'idée en utilisant un "vortex optique". Au lieu d'utiliser des déphasages

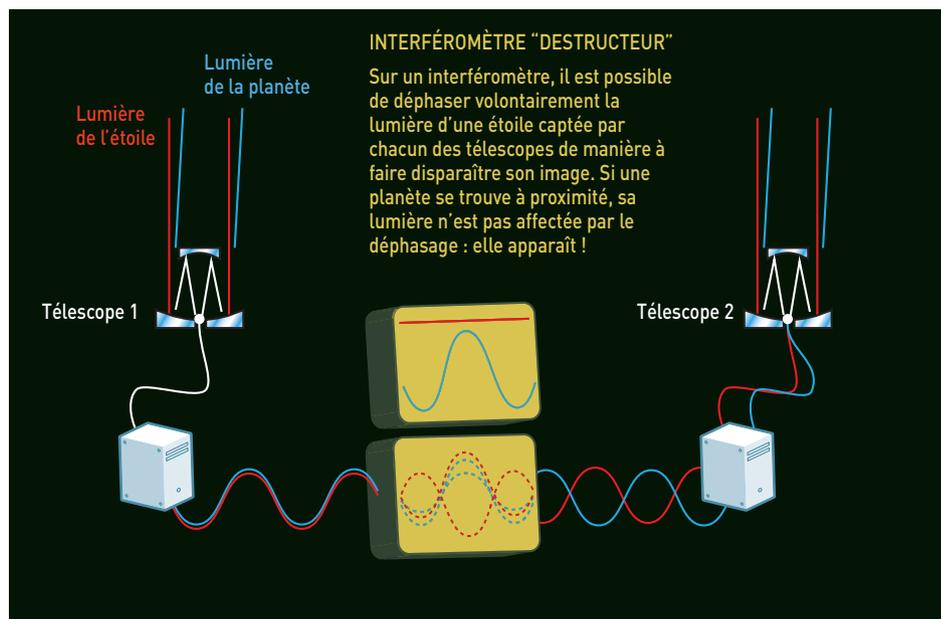
brutaux, le vortex optique déphase progressivement les rayons lumineux en fonction de leur azimut. Il en existe deux versions. La première est un masque dont un côté ressemble un peu à une coquille d'escargot, c'est-à-dire que les "marches" du "quatre quadrants" sont remplacées par une spirale montante.

Problème : quand la spirale a fait un tour, elle est revenue à son point de départ, mais bien plus haut — le problème de construction d'une grosse marche vient de nouveau gâcher la perfection du système. L'autre version, plus efficace, a été imaginée par un ●●●

Image des exoplanètes de HR8799 obtenue avec un coronographe-tourbillon : bien que prise avec un télescope bien plus petit que l'image ci-dessus, les planètes sont clairement visibles, grâce à l'efficacité de ce coronographe prometteur.



Nasa/JPL-Caltech/Palomar Obs.



O.Hodasava/C&E Photos

... astronome liégeois, Dimitri Mawet, qui l'a construit au JPL avec des polymères à cristaux liquides (la même technique que celle utilisée pour les écrans TV 3D). Cette configuration utilisant les propriétés de polarisation naturelle de la lumière présente l'avantage d'être un masque plat (sans les "escaliers" toujours imparfaits des autres coronographes modernes). En janvier 2010, surprise dans le petit monde exoplanétaire : le concept théorique du vortex, démontré jusque-là seulement en laboratoire dans des conditions idéales, fonctionne parfaitement sur le ciel. Mieux : utilisé sur une petite partie (1,5 m de diamètre) du vénérable télescope de 5 m Palomar, il donne des résultats tout à fait capables de rivaliser avec les images obtenues avec les modernes Keck et Gemini — soit des télescopes sept fois plus grands ! On ne peut qu'imaginer ce que donnerait un tel instrument placé sur les plus grands télescopes, tel le 42 m envisagé par l'ESO. Le futur risque d'être "tourbillonnant" du côté des coronographes !

ENFIN, IL NE FAUDRAIT PAS oublier ces télescopes ultragrands, les interféromètres. Bien sûr, les techniques mentionnées ci-dessus sont toujours valables, mais il est bien plus simple et plus élégant d'utiliser les propriétés de la lumière, à la base du principe

d'interférométrie ! Prenons un interféromètre à deux télescopes. Chacun récolte la lumière de l'étoile (et de ses compagnons), puis ces deux faisceaux lumineux sont recombinaés. Pour éteindre l'étoile, il suffit de les combiner suivant le mode "destructeur" évoqué ci-dessus — on parle d'interférométrie d'annulation (*nulling*). Le compagnon, lui, ne se trouve pas exactement dans la même direction que l'étoile et sa lumière ne subit donc pas les effets de déphasage destructeur : il peut donc apparaître dans toute sa gloire.

VOIR LES EXOPLANÈTES n'est donc pas une utopie, mais bien une réalité. Il est vrai que les planètes photographiées jusqu'ici sont loin d'être ordinaires. Massives (une dizaine de fois la masse de Jupiter), éloignées de leur étoile (souvent des centaines d'unités astronomiques), et jeunes (quelques millions d'années — le contraste étoile-planète étant bien plus favorable dans ce cas), elles maximisent les chances de succès. Toutefois, ne soyons pas pessimistes : il faut commencer par des cas simples pour améliorer la technique et, bientôt peut-être, contempler une autre "Terre"... ●

+ C À écouter sur www.cieletespaceradio.fr/dec.652

Le point sur l'actualité 2010 en matière de planètes extrasolaires, de zone habitable et d'exobiologie.



La première image d'une exoplanète a été dévoilée en 2004 (et confirmée en 2005). Obtenue par le VLT équipé d'optique adaptative (voir texte), il s'agit d'une très grosse planète croisant au large de la naine brune 2M1207

ESO