

PRN « PLANETS »

L'UNIVERS EST PLEIN DE MONDES

**LE PÔLE DE RECHERCHE
NATIONAL PLANETS,**
CODIRIGÉ PAR L'UNIVERSITÉ
DE GENÈVE, PERMETTRA
SANS DOUTE À LA SUISSE
DE CONSERVER POUR
AU MOINS UNE DÉCENNIE
ENCORE LE LEADERSHIP
MONDIAL DANS LA
DÉCOUVERTE ET L'ÉTUDE
DES EXOPLANÈTES

NOTRE SEULE GALAXIE ABRITERAIT AU MOINS 100 MILLIARDS DE PLANÈTES

Le 6 octobre 1995, l'annonce de la découverte de la première planète située hors du système solaire par Michel Mayor et Didier Queloz relançait une quête vieille de plus de deux mille ans : celle d'un autre monde habitable. Depuis, la chasse aux exoplanètes a débouché sur l'identification (et la confirmation) de plus de 1700 de ces objets célestes apportant une foule de nouvelles connaissances – et de nouvelles questions – aux spécialistes de la planétologie. Au point qu'il est aujourd'hui temps de franchir une nouvelle étape en s'attachant non plus uniquement à la découverte de nouvelles planètes, mais également à leur caractérisation physique et chimique. Un gigantesque chantier auquel le Pôle de recherche national (PRN) PlanetS est destiné à apporter une contribution essentielle. Entretien avec Stéphane Udry, professeur au Département d'astronomie (Faculté des sciences) et codirecteur du Pôle.

Campus : Sur le plan scientifique, quels sont les principaux objectifs du PRN « PlanetS » ?

En fait, c'est l'évolution même de la science qui dicte nos priorités. Ces vingt dernières années ont été consacrées à la quête de nouvelles planètes et ont été marquées par un climat de forte concurrence entre les différents groupes impliqués dans ces recherches. Mais nous sommes aujourd'hui à un tournant dans la mesure où pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, il devient possible d'apporter des réponses scientifiques et objectives aux questions qui

entourent l'unicité de la vie. Face à cet enjeu majeur, les grandes orientations sont fixées et chaque membre de la communauté scientifique engagé dans cette voie sait ce qui l'attend pour les deux prochaines décennies. Chacun est également conscient que cette nouvelle étape implique la coopération de toutes les forces en présence. C'est dans cette dynamique que s'inscrit la création de PlanetS. Un petit pays comme la Suisse ne peut pas en effet se permettre d'avoir plusieurs centres d'excellence en compétition sur les mêmes thématiques. Porté par une très forte cohérence scientifique, ce PRN permet à chacun de ses membres, qu'il soit Genevois, Bernois ou Zurichois, de développer des axes de recherche complémentaires.

Concrètement, cela signifie que vous espérez être capable de définir les conditions favorables à l'apparition de la vie sur une autre planète que la nôtre au cours des douze ans impartis au Pôle ?

Exactement. Ce qui implique que nous devons non seulement être capables d'identifier les planètes qui peuvent être de bonnes candidates mais également de comprendre

VUE D'ARTISTE DE L'ÉTOILE GLIESE 581 ET TROIS DE SES PLANÈTES, DÉCOUVERTES À L'AIDE DU SPECTROGRAPHE GENEVOIS HARPS.

CELLE DU PREMIER PLAN, GLIESE 581 C A UNE MASSE DE 5 FOIS CELLE DE LA TERRE ET ACCOMPLIT LE TOUR ENTIER DE SON ORBITE EN 13 JOURS.

comment ces planètes se sont formées, comment elles interagissent avec leur étoile et de quoi est constituée leur atmosphère. En conséquence, les activités de PlanetS s'articulent autour de trois thèmes principaux : l'origine, l'évolution et la caractérisation des systèmes planétaires.

Quelles sont les principales difficultés de l'exercice ?

La première tient au fait que tout est interconnecté. Si on veut analyser l'atmosphère d'une planète, qui dépend de sa gravité, on a besoin de connaître sa masse et son rayon. De la même manière, pour comprendre sa structure interne, il faut connaître sa taille, sa masse et sa densité. Or, les techniques de mesure actuelles n'apportent en général que des informations partielles. Enfin, on ne peut pas non plus négliger la dynamique du système, domaine dans lequel il reste encore beaucoup de choses à comprendre. La seconde difficulté est liée à la nature même de ce qui a été découvert depuis vingt ans.

Qu'entendez-vous par là ?

Les résultats que nous avons obtenus montrent qu'une étoile sur deux possède une ou plusieurs planètes gravitant autour d'elle. En extrapolant, cela signifie que notre seule galaxie abriterait au moins 100 milliards de planètes. Or, la principale surprise que nous avons connue depuis la découverte de 51 Peg, c'est la très grande diversité qui prévaut parmi les corps célestes. Si bien que même après avoir détecté plusieurs milliers de nouvelles planètes, il reste difficile d'établir des catégories pertinentes sur le plan statistique. Autant dire que l'on est encore loin de disposer de suffisamment de données observationnelles.

Comment comptez-vous dépasser ces divers obstacles ?

Nous allons tenter d'y parvenir, d'une part, en optimisant les ressources à disposition afin de consacrer les bons instruments au suivi des bonnes étoiles. Puis en faisant converger différentes techniques vers les mêmes objets, nous devrions déjà augmenter nettement la confiance que nous pouvons avoir dans nos résultats et mieux trier les différents signaux que nous captons. D'autre part, nous pourrions dans quelques années recourir à une nouvelle génération d'instruments dont le lancement dans l'espace ou l'installation sur Terre est prévu à partir de 2017 afin de combler les manques actuels.

Par exemple...

La méthode actuellement la plus prolifique dans la détection d'exoplanètes est celle dite des transits (lire en page 36),

grâce surtout au satellite américain KEPLER, qui a déniché à lui seul plus de 4000 candidats. L'inconvénient majeur de cette approche, c'est que la nature planétaire des objets découverts doit être systématiquement confirmée de manière indépendante. En effet, la mesure d'un transit fournit la taille du corps mais pas sa masse. Du coup, on ne sait pas s'il s'agit vraiment d'une planète ou d'une petite étoile, qui peut avoir la taille de Jupiter, ou encore d'une naine blanche, au diamètre similaire à celui de la Terre. Le problème, c'est que les étoiles suivies par KEPLER sont souvent trop faibles pour être étudiées par d'autres techniques comme celle dite des vitesses radiales qui permet d'obtenir la masse. C'est pourquoi les projets suisse CHEOPS (lire en page 40) et européen PLATO, deux futurs satellites spécialisés dans la mesure de transits, vont se concentrer sur des étoiles brillantes avec l'espoir de découvrir des dizaines de milliers de nouvelles planètes à portée de télescope et de compléter les données de

nombreuses autres déjà connues. Parallèlement, les astronomes de PlanetS participent à la construction de nouveaux spectrographes (dont ESPRESSO, prévu pour 2017) destinés à la mesure de la vitesse radiale des étoiles et de l'étude de l'atmosphère de leurs éventuels compagnons (lire en page 36).

Avec ces nouveaux outils, sera-t-il possible d'observer des planètes similaires à la Terre et se trouvant à une distance suffisante d'une étoile de type solaire pour que la vie soit envisageable ?

Oui. C'est le but du projet PLATO, un observatoire spatial de l'Agence spatiale européenne, auquel nous participons également et dont le lancement est prévu pour 2024. Cela dit, les instruments actuels ne le permettent pas. Plus les planètes sont petites par rapport à leur étoile et plus elles en sont éloignées, plus il est difficile de les détecter. Pour l'instant, on peut trouver des Terre dans la zone habitable de petites étoiles comme les naines rouges ou les naines M. Dans ces cas, les distances planète-étoile sont relativement petites. Mais faire de même autour d'une étoile aussi massive que le Soleil, c'est une autre paire de manches.

Quand on découvre une planète évoluant dans la zone habitable de son étoile, il faut encore déterminer si l'atmosphère de cette planète est compatible avec la vie. Est-ce possible aujourd'hui ?

Des études d'atmosphères d'exoplanètes existent déjà. Elles exploitent en général la lumière qui provient directement

LA FICHE TECHNIQUE DE «PLANETS»

DIRECTEUR: WILLY BENZ, PROFESSEUR À L'INSTITUT DE PHYSIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE BERNE

CODIRECTEUR: STÉPHANE UDRY, PROFESSEUR AU DÉPARTEMENT D'ASTRONOMIE DE L'UNIVERSITÉ DE GENÈVE

PROJETS DE RECHERCHE PILOTÉS PAR DES ÉQUIPES GENEVOISES:

- DÉTECTION ET CARACTÉRISATION DES SYSTÈMES PLANÉTAIRES ET DE LEUR ARCHITECTURE (STÉPHANE UDRY)

- ÉTUDES ET CARACTÉRISATION DES ATMOSPHÈRES PLANÉTAIRES: THÉORIE, OBSERVATIONS ET DÉVELOPPEMENTS INSTRUMENTAUX (FRANCESCO PEPE)

FINANCEMENT DU FONDS NATIONAL POUR LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE: 17,6 MILLIONS DE FRANCS POUR QUATRE ANS



du corps céleste quand on a la chance de pouvoir l'observer grâce à la technique dite de l'imagerie directe. On peut aussi essayer d'isoler et d'analyser la faible portion du rayonnement d'une étoile qui passe à travers l'atmosphère d'une planète lorsque cette dernière effectue un transit (lire en page 36). Toutefois, indépendamment de la méthode utilisée, le principal défi consistera à bien comprendre les résultats obtenus.

C'est-à-dire ?

Si les choses se passent comme sur Terre, la présence de gaz carbonique (CO₂) et d'eau indiquera que la planète est habitable et si l'on y trouve de l'ozone, on aura la preuve qu'elle est habitée. Cependant, les choses pourraient très bien se passer différemment.

Dans quelle mesure ?

Il n'est pas certain que le cycle du CO₂, si essentiel sur Terre, revêt la même importance sur une planète dont la masse est cinq fois supérieure. Et quel pourrait être le rôle de la tectonique des plaques sur de tels mondes, pour autant qu'elle existe ? Ces questions sont au cœur de nombreuses études actuelles, mais il n'existe pas encore de réponse définitive.

Peut-on imaginer un monde où le vivant fonctionnerait sur la base d'une chimie différente de celle qui prévaut sur Terre ?

Théoriquement, oui, mais la nature a tendance à toujours choisir les solutions les plus simples. Il se trouve que les éléments de base de la vie terrestre sont les plus abondants dans l'Univers (hydrogène, carbone, azote, oxygène...). Donc si l'on retrouve les mêmes ingrédients sur d'autres planètes et que les lois de la physique et de la chimie sont identiques (ce qui est une hypothèse de base), alors il n'y a pas de raison de

HD 69830 EST UNE ÉTOILE UN PEU MOINS MASSIVE QUE LE SOLEIL COMPTANT TROIS COMPAGNONS COMPARABLES À NEPTUNE (DÉCOUVERTS PAR LES ASTRONOMES GENEVOIS) ET D'UN DISQUE DE POUSSIÈRES OU D'ASTÉROÏDES.

VUE D'ARTISTE DE
KEPLER 20E, LA PLUS
PETITE EXOPLANÈTE
DÉCOUVERTE À CE
JOUR PAR LE SATELLITE
AMÉRICAIN KEPLER.
SON RAYON VAUT
0,87 FOIS CELUI DE LA
TERRE ET ACCOMPLIT
SON ORBITE EN UN PEU
PLUS DE 6 JOURS.

ELLE FAIT PARTIE D'UN
SYSTÈME COMPTANT AU
MOINS CINQ PLANÈTES
TOUTES TRÈS PROCHES
DE LEUR ÉTOILE,
LÉGÈREMENT PLUS PETITE
QUE LE SOLEIL ET
SITUÉE À UNE DISTANCE
DE 950 ANNÉES-LUMIÈRE.



penser que la vie, si elle devait apparaître, aurait une base tellement différente.

La constitution du PRN PlanetS assure-t-elle à la Suisse un leadership durable dans le domaine des exoplanètes ?

Ce pôle, qui devrait à terme se transformer en un Institut national des sciences planétaires, va nous permettre de rester sur le devant de la scène pour une bonne dizaine d'années. A l'heure actuelle, il n'existe pas d'autre projet dédié aux exoplanètes disposant d'une telle force de feu. Et puis, au-delà du Pôle, nous sommes également engagés dans l'instrumentation du futur, comme PLATO ou le spectrographe qui devrait être installé sur l'E-ELT (European Extremely Large Telescope) de 40 mètres de diamètre, avec laquelle se fera la science de haut niveau de demain.

Malgré ces atouts, l'idée de PlanetS a mis du temps à se faire accepter...

En effet, nous avons dû nous y reprendre à trois reprises pour convaincre la Confédération. La première fois, lors du tout premier appel à projet, on nous a reproché de faire de la science-fiction, alors que la plupart des projets que nous proposons sont depuis devenus réalité. Il y a 4 ans, nous sommes arrivés dans les 13 derniers candidats, mais nous n'avons finalement pas été retenus.

À l'intérieur du PRN, chaque groupe a sa spécialité. Dans les grandes lignes, comment se répartissent les tâches ?

Aucun des deux partenaires qui partagent la direction du pôle, à savoir les universités de Genève et de Berne, n'aurait pu se lancer sans l'autre. Nos activités sont complémentaires et c'est une des raisons d'être du PRN. Les équipes

genevoises se concentreront sur l'observation, le développement des instruments nécessaires aux mesures que nous souhaitons réaliser et le développement de modèles théoriques qui permettront de les interpréter. De son côté, l'équipe de Willy Benz, professeur à l'Institut de physique de l'Université de Berne et directeur du Pôle, est surtout active dans la réalisation de modèles théoriques de formations planétaires, qu'il s'agisse de leur structure interne mais aussi de leur atmosphère. D'autres groupes bernois participent à PlanetS, notamment au niveau de l'exploration du système solaire.

Qu'en est-il des autres partenaires de PlanetS, l'Université et l'École polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ) ?

La spécialité de l'équipe de Michael Meyer, professeur à l'EPFZ, est la gestation des planètes. Sa tâche consiste à étudier des disques proto-planétaires afin d'augmenter nos connaissances sur les conditions initiales nécessaires à la formation d'une planète. Les chercheurs zurichois vont aussi se pencher sur la détection d'objets célestes très jeunes. Lorsque les planètes sont en formation, elles sont en effet beaucoup plus brillantes que les plus anciennes. Elles sont donc plus facilement repérables, notamment dans l'infra-rouge. Ce volet de la recherche est indispensable. Une des choses les plus surprenantes que nous avons apprises depuis la découverte de 51 PEG, il y a 20 ans, c'est la très grande diversité des exoplanètes : des systèmes à plusieurs étoiles, d'autres extrêmement compacts, des planètes gravitant très près de leur étoile, bref beaucoup d'exemples qui ne collent pas avec les modèles théoriques existants. Il s'agit donc d'en développer de nouveaux, qui soient à même de rendre compte de ce qui se passe non seulement dans le système solaire, mais également ailleurs.

EXOPLANÈTES

UNE HISTOIRE DU ZÉRO À L'INFINI

L'HUMANITÉ S'INTERROGE AU MOINS DEPUIS L'ANTIQUITÉ SUR L'EXISTENCE POSSIBLE D'AUTRES MONDES. AU FIL DES SIÈCLES, LA RÉPONSE DE LA SCIENCE À CETTE QUESTION A VARIÉ DU TOUT AU TOUT JUSQU'À LA DÉCOUVERTE DE 51 PEG B PAR DEUX ASTRONOMES GENEVOIS, MICHEL MAYOR ET DIDIER QUELOZ. RÉCIT

Le 6 juillet 1995 marque une date clé dans l'histoire de l'astronomie. Ce soir-là, deux chercheurs de l'Université de Genève, Michel Mayor et Didier Queloz, ont un rendez-vous dans le ciel de Provence. Ils attendent le retour dans l'hémisphère Nord de 51 Pegasi, une étoile autour de laquelle semble graviter un étrange corps céleste repéré quelques mois plus tôt et qui pourrait bien être la première planète jamais détectée en dehors du système solaire. Le suspense dure le temps de pointer le télescope dans la bonne direction, avant que l'ordinateur ne confirme la présence d'une géante gazeuse dont la masse équivaut à la moitié de celle de Jupiter.

La nouvelle est de taille : à 2000 ans d'intervalle, elle confirme ce que le philosophe grec Epicure pressentait de manière totalement spéculative, à savoir que d'autres planètes peuplent le ciel et que nous ne sommes par conséquent probablement pas le seul monde habité du vaste cosmos.

Sur le plan scientifique, cette formidable découverte, qui s'inscrit dans une immense chaîne de savoirs et de questions, a deux conséquences majeures. La première est de remettre en cause la plupart des théories existantes sur la formation des systèmes planétaires, dont le nôtre. La seconde est de relancer une quête à laquelle plus grand monde ne croyait au milieu du XX^e siècle : celle des autres mondes. Récit.

Tout commence avec les Grecs. S'ils n'ont pas à proprement parler inventé l'astronomie, les Hellènes sont en effet les premiers à l'avoir abordée comme une science et non d'un point de vue mythique ou religieux.

Un cosmos vaste A défaut de pouvoir observer directement des planètes en orbite lointaine, les compatriotes d'Aristote, fondant leur raisonnement sur la logique, avaient déjà compris l'essentiel : que la Terre était sphérique – Eratosthène avait d'ailleurs calculé assez précisément son diamètre – et que le système solaire était peuplé d'autres planètes (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne).

Alors que la majorité de ses contemporains estime encore que le ciel est un espace clos sur lequel sont accrochées les étoiles, Epicure (341-270 av. J.-C.) écrit dans sa fameuse lettre à Hérodoté : *«La quantité d'atomes propres à servir d'éléments ou, autrement dit, de causes à un monde, ne peut être épuisée par la*

constitution d'un monde unique, ni par celle d'un nombre fini de mondes, qu'il s'agisse d'ailleurs de tous les mondes semblables au nôtre ou de tous les mondes différents. Il n'y a donc rien qui empêche l'existence d'une infinité de mondes.»

Mise à mal par l'avènement du christianisme, selon lequel le royaume des cieux est, à l'image de Dieu, parfait et immuable, cette conception d'un cosmos vaste connaît

**«LA QUANTITÉ
D'ATOMES PROPRES
À SERVIR D'ÉLÉMENTS
OU, AUTREMENT DIT,
DE CAUSES À UN
MONDE, NE PEUT ÊTRE
ÉPUISEE PAR
LA CONSTITUTION
D'UN MONDE UNIQUE»**



quelques éclipses durant le Moyen Age. Mais c'est pour mieux ressurgir, souvent dans les rangs mêmes de l'Eglise. «*Existe-t-il plusieurs mondes ou n'y en a-t-il qu'un seul ? C'est là l'une des plus nobles et des plus exaltantes questions dans l'étude de la nature*», écrit ainsi au XIII^e siècle Albert le Grand, évêque de Ratisbonne.

Deux siècles plus tard, un autre prélat, Nicolas de Cues, évêque de Brixen (1401-1464), s'interroge dans son livre *De la docte ignorance*: «*Pourquoi la puissance divine se serait-elle contentée de créer un Univers clos alors qu'elle peut tout ?*»

Chanoine, médecin et astronome, le Polonais Nicolas Copernic (1473-1543) franchit un pas supplémentaire en affirmant non seulement que les planètes tournent autour du Soleil mais également en donnant au cosmos des dimensions jamais imaginées jusque-là.

Après avoir mis en doute l'Immaculée conception, contesté la Sainte Trinité et qualifié Jésus-Christ de «mage habile», le dominicain Giordano Bruno (1548-1600) défend à son tour l'idée que les étoiles du ciel sont autant de soleils autour desquels tournent des planètes abritant la vie dans *De l'infini, de l'univers et des mondes* avant d'être brûlé vif sur le Campo de' Fiori à Rome pour hérésie et apostasie.

Difficile d'aller plus loin que des spéculations philosophiques en observant le ciel à l'œil nu. D'où l'immense intérêt suscité par la lunette développée par un autre Italien, Galileo Galilée (1564-1642). Cet instrument révèle en effet à une humanité encore sceptique les reliefs qui creusent la surface de la Lune, les satellites de Jupiter ainsi que nombre de nouvelles étoiles.

L'après-Copernic La cause semble dès lors entendue. Pour le découvreur du secret des anneaux de Saturne, le Hollandais Christiaan Huygens (1629-1695), la thèse de la pluralité des mondes ne fait en tout cas plus de doute. «*Un homme qui est de l'opinion de Copernic, qui fait de notre Terre une planète comme les autres, entraînée autour du Soleil et éclairée par lui, celui-là peut raisonnablement croire, même si cela semble osé, que les autres planètes ont des habitants tout comme la Terre*», écrit-il dans son *Cosmotheoros*. Même son de cloche dans les *Entretiens sur la pluralité des mondes*, ouvrage publié en 1686 par Bernard Le Bouyer de Fontenelle, et dont le succès fait entrer l'astronomie dans les salons.

Un siècle plus tard, Kant et Laplace précisent encore le trait en proposant un ciel fabuleusement profond modelé

LA LUNETTE ASTRONOMIQUE DÉVELOPPÉE PAR GALILÉE AU DÉBUT DU XVII^e SIÈCLE A PERMIS À L'HUMANITÉ DE REGARDER LE CIEL SOUS UN JOUR NEUF.

par la gravitation et peuplé de myriades de galaxies et de nébuleuses.

L'Univers vide Curieusement, au cours de la première partie du XX^e siècle, il n'y a plus grand monde pour soutenir cette idée hormis les auteurs de ce que l'on appelle désormais la science-fiction. Toutes les estimations qui sont alors données par la littérature scientifique font en effet état d'un nombre très limité, voire de l'absence, d'autres systèmes planétaires dans la galaxie.

« Ce revirement s'explique par un raisonnement qui, sans être faux en soi, repose sur une hypothèse erronée », explique Michel Mayor, aujourd'hui professeur honoraire de la Faculté des sciences. Depuis Laplace, on sait que les planètes se forment au sein de disques de matière sans parvenir à comprendre d'où proviennent ces derniers. Vers 1900, James Hopwood Jeans, professeur à Cambridge et grande figure de la cosmologie britannique, parvient à imposer l'idée que ces disques de matière sont arrachés à une étoile par le passage d'un autre astre à proximité. Or, si la chose est possible sur le plan purement physique, la probabilité de rencontre entre deux étoiles est proche de zéro sur la durée de vie d'une galaxie. « Faut être en mesure d'identifier le phénomène physique capable de créer ces disques de matière jusqu'au milieu des années 1950, on a mis très longtemps à sortir de cette hypothèse, complète Michel Mayor. Conséquence : aux yeux de la plupart des spécialistes, les planètes devaient être extrêmement rares en dehors de notre système. »

Fausses alertes Cela n'a pas empêché les scientifiques de continuer à scruter le ciel à la recherche d'autres planètes, parfois avec des moyens considérables, notamment après la découverte de Pluton en 1930.

Et, en 1943, alors que la Deuxième Guerre mondiale bat son plein, plusieurs équipes annoncent qu'elles ont décroché le « jackpot » en découvrant des compagnons autour d'étoiles proches grâce à la méthode de l'astrométrie (lire en page 36). Même s'il s'avère rapidement que ces planètes sont le fruit de détections erronées, sur le coup la nouvelle suscite l'enthousiasme des astronomes. D'autant qu'on comprend au même moment que les disques de matière requis pour la formation des planètes sont les sous-produits inéluctables de la formation des étoiles elles-mêmes.

Cette fois, cela semble certain : le ciel est bel et bien rempli d'autres planètes. Mais dans ce cas où se cachent-elles

et pourquoi diable est-il si difficile de mettre les yeux dessus ? La réponse se fera attendre jusqu'à la découverte de 51 Pegasi b en 1995, après une longue série de fausses alertes supplémentaires.

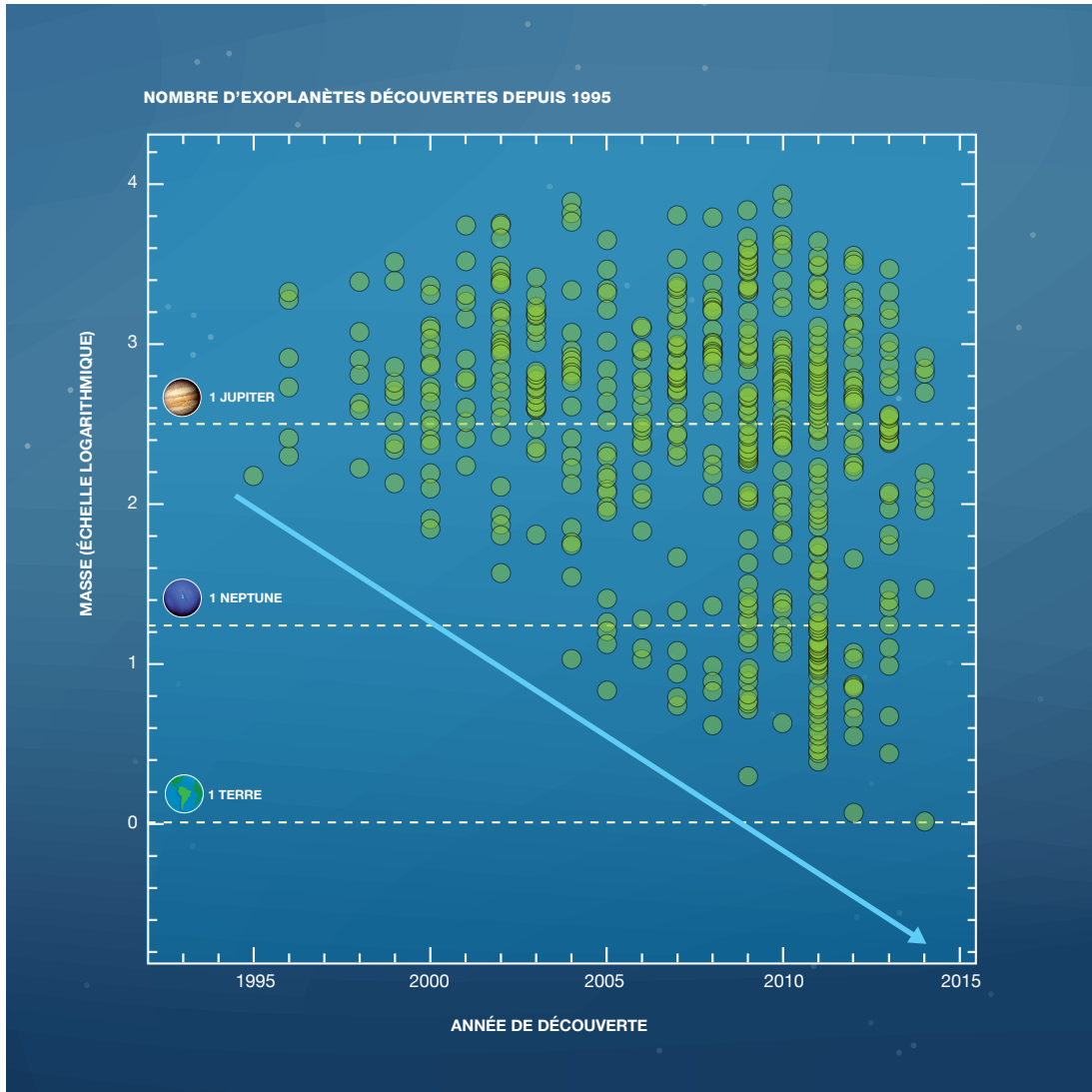
Au milieu des années 1980, Peter van de Kamp, qui suit alors depuis près de quarante ans l'étoile de Barnard, est ainsi certain d'avoir touché au but. Mais, là encore, il s'agit d'erreurs de mesure liées à l'instrumentation. Face à ce nouvel échec, plusieurs équipes décident de changer de technique en passant de l'astrométrie, trop peu précise, à celle dite des « vitesses radiales » (lire en page 36).

« NOTRE CHANCE, C'EST QUE NOUS NE CHERCHIONS PAS SEULEMENT DES PLANÈTES, MAIS AUSSI DES NAINES BRUNES »

MICHEL MAYOR

Elodie et les naines brunes Outre les Américains Geoffrey Marcy et Paul Butler, les Canadiens Gordon Walker et Bruce Campbell, l'équipe de Michel Mayor est elle aussi de la partie, avec un nouvel instrument installé sur le télescope de l'Observatoire de Haute-Provence et baptisé Elodie.

« Nous avons commencé notre campagne d'observation durant le printemps 1994, se souvient le chercheur genevois. Et l'ambiance n'était alors pas franchement à l'optimisme. Les premiers résultats que venaient de publier Campbell et Walker, après avoir étudié pendant une dizaine d'années une vingtaine d'étoiles très brillantes, ne faisaient en effet état d'aucune



planète. De leur côté, Marcy et Butler avaient également fait chou blanc auprès de 25 astres.»

Le problème, c'est qu'ils n'adoptent pas la bonne stratégie de mesure. D'une part, persuadé a priori que la majorité des étoiles doivent avoir une planète géante telle Jupiter, ils décident de concentrer leurs efforts sur un nombre très limité d'étoiles. De l'autre, ils adoptent un rythme de mesure adapté à des périodes orbitales de plusieurs années.

L'ensemble de la communauté scientifique est en effet encore convaincu que les grandes planètes, qui sont les plus faciles à repérer, se trouvent loin de leur étoile, dans une zone où se trouvaient les grains de glace qui ont permis de les constituer et qu'elles ont par conséquent des périodes de rotation autour de leur étoile s'étalant sur des années, voire des dizaines d'années.

«Notre chance a été double, explique Michel Mayor. D'une part, nous disposions d'un instrument équipé d'un système informatique plus performant que celui de nos concurrents. De l'autre, nous ne cherchions pas seulement des planètes mais aussi des naines brunes. Et comme on ne savait quasiment rien à l'époque sur ces étoiles de petite masse, rien n'empêchait de penser qu'elles puissent avoir des orbites courtes. Nous avons donc adopté un calendrier permettant d'observer des objets qui se déplacent rapidement, ce qui s'est avéré être la bonne stratégie.»

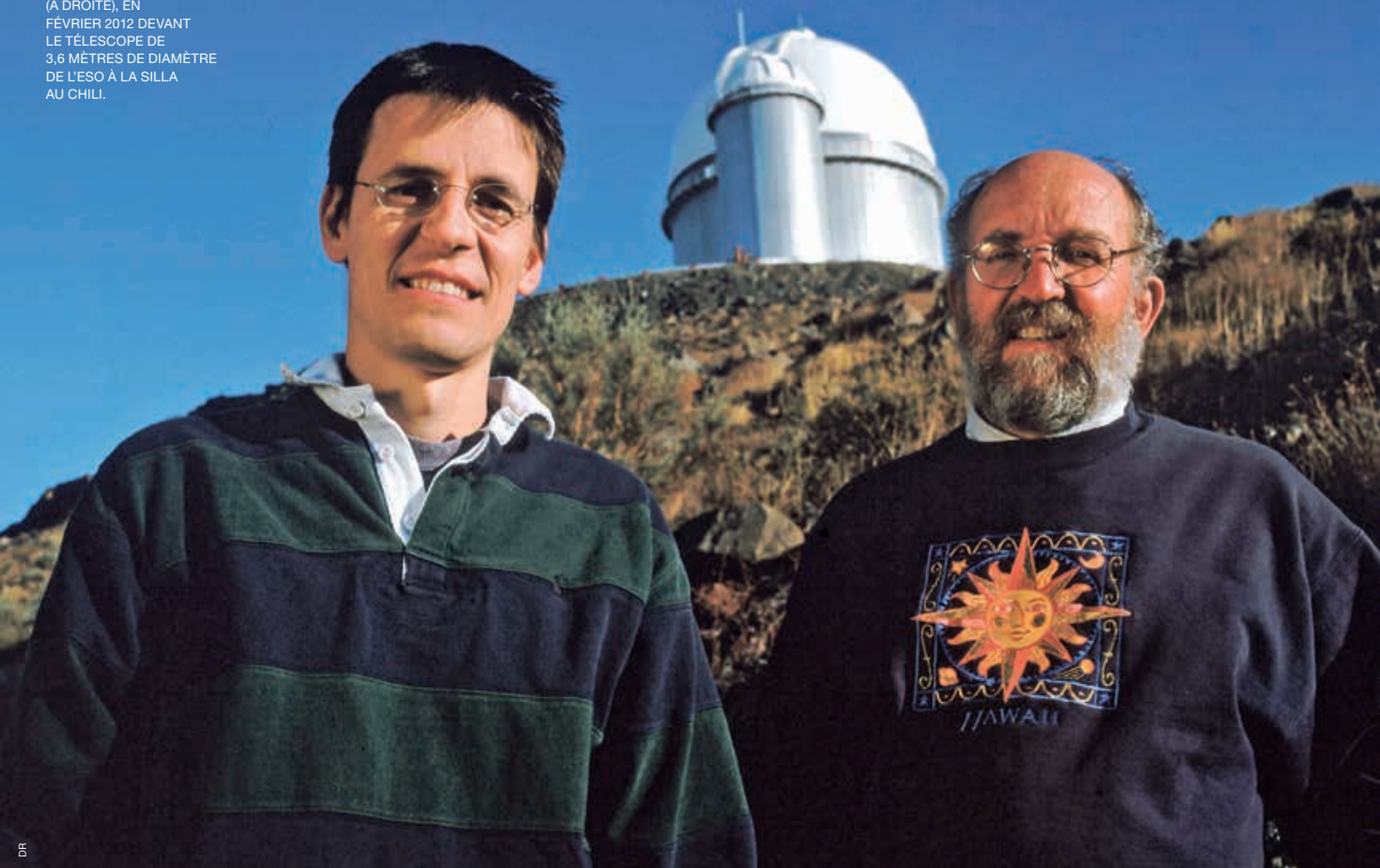
L'énigmatique compagnon Après quelques mois de mesures, 51 Peg b est en effet repérée dès la fin de l'année 1994. Echaudés par les mésaventures de leurs collègues, les deux chercheurs genevois veulent toutefois être certains de leur fait avant d'annoncer leur fabuleuse découverte. «Si nos calculs s'avéraient exacts, nous avions déniché une planète dont les caractéristiques n'avaient été prévues par aucune théorie, puisque cet objet dont la masse équivalait à la moitié de celle de Jupiter était vingt fois plus proche de son étoile que la Terre ne l'est du Soleil et avait une période orbitale de 4,2 jours seulement», commente l'astronome.

Pour en avoir le cœur net, Michel Mayor et Didier Queloz sont contraints d'attendre que 51 Peg et son énigmatique compagnon ne réapparaissent dans le ciel de Provence, ce qui est le cas au début du mois de juillet 1995.

«Didier et moi avons demandé à nos familles de nous accompagner pour fêter l'événement si celui-ci devait se confirmer, ce qui a été le cas dès nos premières nuits d'observation, raconte Michel Mayor. C'est seulement à partir de ce moment-là que nous y avons réellement cru.» Il reste cependant à convaincre la communauté des astronomes qui, à force d'être échaudée, se montre plutôt circonspecte. L'annonce de la découverte, en octobre 1995, a beau faire le tour du monde en quelques heures, la nature imprévue de la nouvelle venue pose en effet question.

**DIDIER QUELOZ ET
MICHEL MAYOR**
(A DROITE), EN
FÉVRIER 2012 DEVANT
LE TÉLESCOPE DE
3,6 MÈTRES DE DIAMÈTRE
DE L'ESO À LA SILLA
AU CHILI.

DR



En réalité, la réponse existe déjà. Elle a été formulée par deux astronomes Peter Goldreich et Scott Tremaine en 1980 déjà et est liée au concept de migration orbitale. *«C'est un développement théorique majeur dont le détail est très complexe, mais dont les idées de base sont relativement simples, résume Michel Mayor. Schématiquement, les planètes géantes comme 51 Peg b ou Jupiter dans notre système solaire naissent à une distance importante de leur étoile, là où le disque d'accrétion contient des grains de glace. Ensuite, ces jeunes planètes s'approchent de leur étoile en spirale durant un temps court – 1 à 2 millions d'années en direction de l'étoile. Une fois qu'il est totalement absorbé, le disque disparaît et l'orbite des planètes se stabilise. C'est ce qui explique la présence de 51 Peg b si près de son étoile.»*

La chasse est lancée Quelques jours à peine après l'annonce officielle de la découverte de la première planète située hors de notre système solaire, les astronomes ont toutes les armes en main pour se lancer dans la quête de nouveaux mondes. Et la chasse sera fructueuse : en janvier 1996, Marcy, qui a entre-temps revisité toutes ses données, annonce la découverte de deux nouvelles exoplanètes (70 Virginis et 47 Ursa Majoris).

Dans les six mois qui suivent, la même équipe double la mise puis les chiffres s'emballent. Alors que les exoplanètes

commencent à se compter par centaines (on en connaît aujourd'hui plus de 1700 de façon certaine, dont plus de 250 détectées par les astronomes genevois), des objets de plus en plus singuliers font leur apparition dans le ciel : systèmes comportant jusqu'à sept planètes tournant autour de la même étoile, planètes gravitant autour de deux étoiles, systèmes composés d'une étoile tournant dans un sens et d'une planète tournant dans l'autre sens, etc. (lire également en page 36).

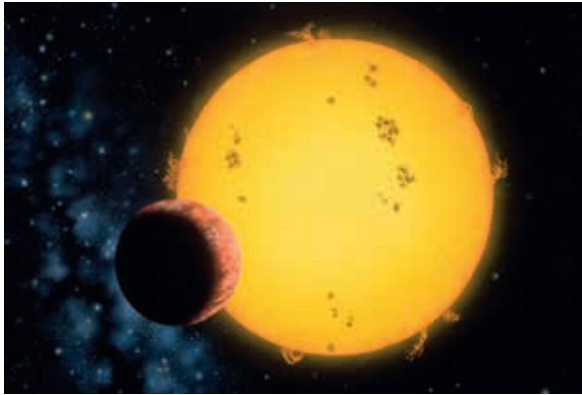
«Ces découvertes ont radicalement transformé notre vision de l'Univers et remis en cause la plupart des choses que l'on croyait savoir à propos de la formation des planètes, conclut Michel Mayor. Mais tout cela était tellement étonnant qu'il a fallu attendre septembre 1999 et la découverte du premier transit – à laquelle notre équipe est associée – pour balayer les doutes des derniers sceptiques, témoigne Michel Mayor. Gordon Walker, par exemple, m'a avoué plus tard que ce n'était qu'à partir de ce moment-là qu'il avait été convaincu de la réalité de ces nouveaux mondes.»

* «Les nouveaux mondes du cosmos. A la découverte des exoplanètes», par Michel Mayor et Pierre-Yves Frei, Seuil 2001, 261 p.

LES MONDES D'AILLEURS

UNE DIVERSITÉ DE SYSTÈMES INATTENDUE

ELLES PEUVENT ÊTRE GROSSES OU PETITES, ACCOMPLIR UNE ORBITE ENTIÈRE EN MOINS D'UN JOUR, TOURNER AUTOUR D'ÉTOILES DOUBLES, FORMER DES SYSTÈMES MULTIPLES TRÈS COMPACTS : LES PLANÈTES EXTRASOLAIRES NE CESSENT D'ÉTONNER LES ASTRONOMES



51 Peg b

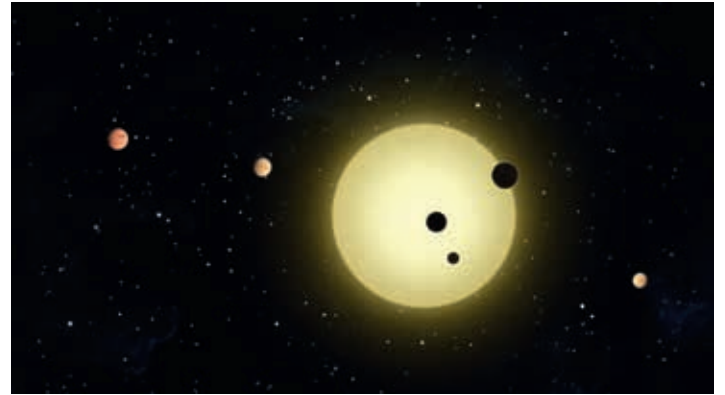
Le 6 octobre 1995, Michel Mayor et Didier Queloz annoncent la découverte de la première planète extrasolaire. D'emblée, elle interpelle les astronomes qui ne comprennent pas ce qu'une géante gazeuse de cette masse fabrique si près de son étoile. Une telle planète, de type Jupiter, prend forcément naissance dans une région beaucoup plus éloignée, là où la glace, le gaz et les poussières dont elle est constituée ne sont pas vaporisés. Pour expliquer sa position, il a donc fallu recourir à la théorie dite de la migration planétaire qui explique comment les planètes changent d'orbite lorsque le disque protoplanétaire est encore présent. 51 Peg b est située à 51 années-lumière de la Terre, dans la direction de la constellation de Pégase. Les forces de marées sont telles qu'elle expose toujours la même face à son étoile. La température à sa surface atteint les 1000°C.

Masse: plus de 0,47 fois la masse de Jupiter

Rayon: inconnu

Période: 4,23 jours

Distance à l'étoile: 20 fois plus proche que la distance Terre-Soleil (0,05 Unité astronomique)



HD 10180 c, d, e, f, g et h

En 2011, l'équipe de Michel Mayor annonce la découverte, grâce au spectro-mètre HARPS, d'un système composé d'au moins cinq planètes du même type que Neptune et dont les masses s'échelonnent entre 12 et 25 masses terrestres. C'est la première fois que l'on découvre autant de compagnons d'un coup orbitant autour de la même étoile. Le système est très compact puisque les cinq compagnons sont plus proches de leur étoile (un astre de type solaire) que Mars du Soleil. Les chercheurs notent que ce genre de configuration ramassée, ne laissant pas de place à d'autres planètes, se rencontre régulièrement. Une sixième planète (de 65 masses terrestres) a depuis été attestée. Un septième candidat, non confirmé pour l'instant, pourrait également être de la partie, une planète de 1,4 masse terrestre, située très près de l'étoile.

Nombre de planètes: 6

Masses: entre 12 et 65 masses terrestres

Rayons: inconnus

Périodes: entre 5,75 et 2222 jours

Distances à l'étoile: entre 0,064 et 3,4 fois la distance Terre-Soleil

HD 209458 b

Découverte en novembre 1999 par l'équipe de Michel Mayor, HD 209458 b a la particularité de transiter devant son étoile. Profitant de cette géométrie, une équipe internationale détecte en 2002 du sodium dans les couches profondes de son atmosphère puis, en 2003, de l'hydrogène qui semble s'échapper dans l'espace à grande vitesse à la manière d'une queue de comète. Une étude plus poussée trouve en 2004 du monoxyde de carbone (CO) dans les couches supérieures de l'atmosphère animées de mouvements très rapides atteignant plusieurs milliers de kilomètres par heure. En 2008, on découvre une diffusion dite de Rayleigh (celle qui est responsable sur Terre de la lumière bleue du ciel). Et en 2009, les chercheurs de la NASA annoncent la présence de vapeur d'eau et de méthane. Il est néanmoins hors de question de trouver de la vie sur cette géante gazeuse presque aussi grosse que Jupiter.

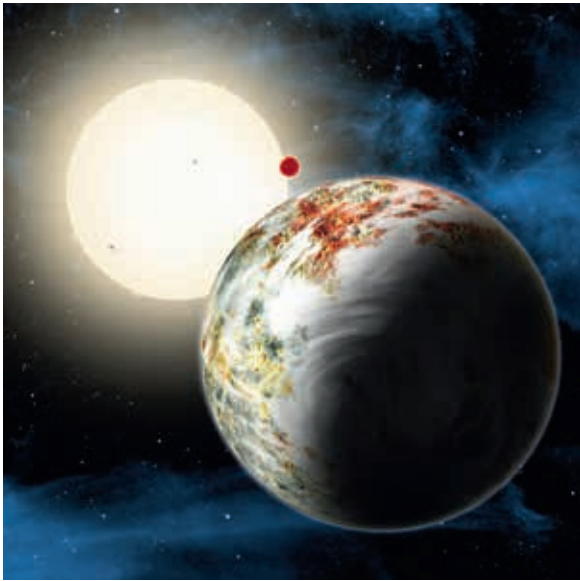
Masse: 0,7 fois la masse de Jupiter

Rayon: 1,38 fois le rayon de Jupiter

Période: 3,52 jours

Distance à l'étoile: 21 fois plus proche que la distance Terre-Soleil (0,047 UA)





KEPLER 10 c

Kepler 10 c est la première planète rocheuse découverte par le satellite américain KEPLER. Mais c'est le spectrographe HARPS-N qui a permis d'obtenir la valeur la plus précise de sa masse et donc de sa densité. Une information qui a surpris les astronomes. Avec ses 17 masses terrestres, Kepler 10 c aurait dû, selon les modèles théoriques, attirer des éléments plus légers comme l'hélium et l'hydrogène du disque d'accrétion et devenir une géante gazeuse. De plus, avec Kepler 10 b (un monde de lave de 3 masses terrestres), Kepler 10 c est en orbite autour d'une étoile âgée de 10,5 milliards d'années, ce qui en fait le plus vieux système connu abritant des planètes telluriques. Cette découverte signifie que la formation de ce système remonte à une époque où l'on pensait que les éléments constitutifs des roches n'étaient pas encore si abondants dans l'Univers.

Masse: 17,2 fois la masse terrestre

Rayon: 2,35 fois le rayon terrestre

Période: 45,3 jours

Distance à l'étoile: un quart de la distance Terre-Soleil (0,24 unité astronomique)

KEPLER 186 f

Plusieurs exoplanètes de la taille de la Terre ont été découvertes et plusieurs autres sont situées dans la zone habitable de leur étoile. Kepler 186 f est, à l'heure actuelle, la seule connue qui réunit les deux paramètres. Détectée en 2014 par le satellite américain KEPLER à l'aide de la technique du transit, elle fait partie d'un système de cinq planètes dont elle est la plus excentrique. On ne connaît pour l'heure que son rayon (1,1 fois celui de la Terre) et la distance à son étoile (0,35 fois la distance Terre-Soleil). L'analyse de l'intensité et du spectre de l'astre a montré qu'elle évolue dans la zone habitable. Cela signifie que si Kepler 186 f possédait une atmosphère comme la Terre et si l'on détectait de l'eau à sa surface, celle-ci pourrait bien être sous forme liquide. Située entre 490 et 500 années-lumière de la Terre, l'étoile est une naine rouge dont le rayon est la moitié de celui du Soleil. La surface de Kepler 186 f reçoit un flux lumineux trois fois moins intense que la Terre. L'exoplanète pourrait avoir un climat tempéré à condition qu'elle possède une atmosphère beaucoup plus dense que la Terre.

Masse: inconnue

Rayon: 1,1 fois le rayon terrestre

Période: 130 jours

Distance à l'étoile: 0,35 fois la distance Terre-Soleil



WASP 94 Ab et WASP 94 Bb

En 2011, une équipe britannique découvre, à l'aide de la technique du transit, une planète orbitant autour de l'étoile A du système binaire appelé WASP 94. En cherchant à identifier cette planète, des astronomes genevois et belges ont découvert par hasard qu'il n'y avait pas une mais deux planètes, chacune tournant autour de son étoile. Il s'agit de deux géantes gazeuses de type « Jupiter chaud » très proches de leur astre respectif et parcourent leur orbite en quelques jours seulement alors que les deux étoiles mettent plusieurs milliers d'années pour accomplir un tour l'une autour de l'autre. La planète WASP 94 Ab suit probablement une trajectoire rétrograde, c'est-à-dire que le sens de rotation de son orbite est l'inverse du sens de rotation de son étoile sur elle-même.

Nom: WASP 94 Ab

Masse: 0,45 fois la masse de Jupiter

Rayon: 1,72 fois le rayon de Jupiter

Période: 3,95 jours

Distance à l'étoile: 18 fois plus proche (0,055 UA) Terre-Soleil (0,033 UA)

WASP 94 Bb

0,6 fois la masse de Jupiter

inconnu

2 jours

30 fois plus proche que la distance Terre-Soleil

MÉLANGE D'ORBITES

LES PLANÈTES, CES GRANDES MIGRATRICES

DÈS LA DÉCOUVERTE DE LA PREMIÈRE EXOPLANÈTE, IL EST APPARU QUE LES PLANÈTES MIGRENT, PARFOIS SUR DE GRANDES DISTANCES, À L'INTÉRIEUR DES SYSTÈMES SOLAIRES. LE DÉFI CONSISTE DEPUIS À MODÉLISER CE PHÉNOMÈNE

Il n'est pas certain que Jupiter et Saturne aient occupé la même place dans le système solaire depuis leur naissance. Certains chercheurs ont même imaginé, dans un article paru dans la revue *Nature* en 2011, que ces deux géantes gazeuses ont, dans le passé, visité l'orbite de Mars avant de regagner des régions plus éloignées, là où elles évoluent actuellement. Ce voyage a été baptisé « Grand Tack », un terme tiré de la voile désignant un demi-tour effectué par un bateau après avoir contourné une bouée.

Cette hypothèse ne surprend pas Willy Benz, professeur à l'Institut de physique de l'Université de Berne et directeur du Pôle de recherche national PlanetS. Le chercheur a même cherché à vérifier si un tel scénario était compatible avec les modèles de formation des systèmes planétaires qu'il met au point avec son groupe. Et les premiers résultats indiquent que la réponse est probablement affirmative.

Petite Mars « L'idée de cette migration de Jupiter et Saturne est apparue pour tenter d'expliquer pourquoi Mars est si petite par rapport à la Terre et à Vénus, explique-t-il. La masse de la planète rouge vaut en effet un dixième de celle de la planète bleue. Et il n'y a, a priori, aucune raison que ce soit le cas. Dans le disque de poussière original, la quantité de matière à disposition pour la formation de ces trois planètes telluriques devait être grosso modo la même. En revanche, si Jupiter et Saturne avaient séjourné dans la région au cours des tout premiers temps du système solaire, ces géantes gazeuses déjà bien formées auraient pu avaler

ou éjecter une grande partie de la matière destinée à Mars avant de repartir dans les régions plus excentriques du système solaire. Par ailleurs, ce voyage de Jupiter et de Saturne aurait peut-être aussi créé une perturbation suffisante pour empêcher la ceinture d'astéroïdes de se concentrer en une planète. »

Que des chercheurs proposent aujourd'hui des scénarios dans lesquels des géantes gazeuses se baladent aussi librement à l'intérieur d'un système solaire est un des résultats les

plus importants de la découverte des exoplanètes. Dès la publication de la première d'entre elles, il est devenu clair que la théorie traditionnelle selon laquelle les planètes évoluent plus ou moins sur l'orbite qui les a vu naître était insuffisante. Découverte en 1995 par les astrophysiciens Michel Mayor et Didier Queloz, 51 Peg b tourne en effet autour de son étoile en un peu plus de 4 jours, à une distance cent fois plus petite que celle qui sépare Jupiter du Soleil. Le problème, c'est qu'il s'agit d'une géante gazeuse ayant la moitié de la masse de Jupiter. Et les planètes de ce genre naissent à une grande distance de l'étoile, là où l'accré-

tion de poussières et de glace est possible.

Dès lors, la seule explication possible à la présence d'une géante gazeuse aussi proche de son étoile est qu'elle a changé d'orbite entre sa naissance et son observation. Le concept de migration planétaire s'est alors imposé et est aujourd'hui largement accepté par les astronomes. Il est expliqué par l'interaction gravitationnelle existant entre la planète en

**CE VOYAGE DE
JUPITER A ÉTÉ
BAPTISÉ
« GRAND TACK »,
UN TERME TIRÉ DE
LA VOILE DÉSIGNANT
UN DEMI-TOUR
EFFECTUÉ
PAR UN BATEAU
APRÈS AVOIR
CONTOURNÉ UNE
BOUÉE**

LES SYSTÈMES

PLANÉTAIRES NAISSENT D'UN DISQUE PRIMORDIAL DE GAZ, DE GLACE ET DE POUSSIÈRE AU CENTRE DUQUEL SE TROUVE L'ÉTOILE

CETTE VUE D'ARTISTE MONTRE UN SYSTÈME SIMILAIRE AU NÔTRE AVEC UNE PLANÈTE DE LA TAILLE DE JUPITER DÉJÀ FORMÉE ET QUI ASPIRE DE LA MATIÈRE.

PRÈS DE L'ÉTOILE, LA CHALEUR PROVOQUE L'ÉVAPORATION DES ÉLÉMENTS LÉGERS. IL NE RESTE QUE LA ROCHE ET LES MÉTAUX QUI FORMENT LES PLANÈTES TELLURIQUES.

PLUS LOIN, LE GAZ, LA GLACE ET LA POUSSIÈRE SE CONTRACTENT POUR FORMER DES PLANÈTES GAZEUSES.

UNE FOIS FORMÉES, LES PLANÈTES NE RESTENT PAS FORCÉMENT EN PLACE. L'INTERACTION DE CES CORPS AVEC LE DISQUE DE POUSSIÈRE PROVOQUE LEUR MIGRATION EN DIRECTION DE L'ÉTOILE OU VERS L'EXTÉRIEUR DU SYSTÈME

formation et le disque de gaz et de poussières dans lequel elle évolue au cours des premiers millions d'années du système planétaire.

Frein à la migration «*La modélisation de ce phénomène a posé des problèmes au début, explique Willy Benz. Dans toutes nos simulations, l'étoile finissait systématiquement par avaler la planète. Nous en avons conclu qu'il doit exister un mécanisme qui freine cette migration. Et en faisant l'étude plus détaillée des interactions entre la planète et le disque de gaz, des chercheurs ont découvert certains effets subtils qui n'attirent pas la planète vers l'intérieur mais la poussent vers l'extérieur.*»

En plus du disque de gaz primordial, les astronomes tiennent également compte dans leurs modèles d'autres interactions, comme celles qui s'exercent entre les planètes d'un même système (s'il y en a plusieurs) et qui peuvent, entre autres, influencer l'excentricité de leurs orbites. Ils intègrent aussi dans leurs simulations l'influence de l'étoile sur la planète, la première pouvant par exemple évaporer l'enveloppe gazeuse de la seconde si elle se rapproche trop.

A l'aide de ces modèles, l'équipe de Willy Benz tente de produire des simulations qui débouchent sur des résultats similaires aux observations des astronomes. Plus précisément, les chercheurs bernois imaginent des conditions de départ, choisissent les différents paramètres et font chauffer les ordinateurs autant de fois qu'il le faut pour que les modèles reflètent au mieux la réalité. Chaque scénario fait partir l'embryon de planète d'une distance différente de l'étoile et la fait grandir au fur et à mesure qu'il agglomère de la matière sur son trajet. La nature de cette matière varie en fonction de la distance à l'astre, une distance qui change à cause de la migration et qui détermine ainsi la composition et la structure finale du corps céleste. Pour chaque résultat final, il existe une probabilité, liée au nombre de scénarios qui y mènent.

Ainsi, lorsque les astronomes parviennent à obtenir la masse, la densité et l'orbite d'une vraie exoplanète, ils peuvent déduire de leur modèle quelles sont les chances qu'elle soit formée d'un noyau de fer entouré d'une enveloppe de gaz ou plutôt d'un noyau de roche sous un manteau de glace.

HABITABILITÉ

L'ATMOSPHÈRE DES EXOPLANÈTES, LE PROCHAIN GRAAL

L'ÉTUDE DES ATMOSPHÈRES DES EXOPLANÈTES POUSSE LES INSTRUMENTS DE MESURE ACTUELS À LA LIMITE DE LEURS PERFORMANCES. OBJECTIF : LA RECHERCHE DE VIE EXTRATERRESTRE

Il ne faut pas se leurrer : la chasse aux exoplanètes cache à peine une autre quête, encore plus impérieuse, celle de la vie extraterrestre. Depuis 1995 et la découverte de 51Peg (lire en page 23), le nombre théorique de systèmes planétaires présents dans la galaxie est devenu si gigantesque (des dizaines de milliards) que les astronomes estiment désormais que plusieurs d'entre eux renferment forcément d'autres mondes évoluant dans des conditions favorables à l'éclosion de la vie telle qu'on la connaît sur Terre. L'écrasante majorité d'entre eux se situe probablement hors de portée des télescopes humains. Mais peut-être pourra-t-on en dénicher quelques-uns malgré tout...

Le Pôle de recherche national (PRN) PlanetS a en tout cas l'ambition de contribuer à cette quête. L'un de ses projets, dirigé par Francesco Pepe, professeur au Département d'astronomie (Faculté des sciences), est consacré à l'étude de l'atmosphère des planètes extrasolaires. Leur composition chimique peut en effet renseigner sur les conditions physiques qui y règnent et, en associant ces données aux informations concernant la masse de la planète et sa distance à l'étoile, fournir des indices sur son habitabilité.

Photographie directe Les premières analyses d'atmosphères d'exoplanètes ont commencé à être publiées depuis quelques années. Il s'agit pour l'instant de géantes gazeuses équivalentes à Jupiter ou plus massives. Elles ont la particularité soit d'avoir été photographiées directement, soit de transiter devant leur étoile. A ce jour, les astronomes pensent avoir détecté sur ces planètes la présence de monoxyde de carbone (CO), de gaz carbonique (CO₂), de sodium (Na) ou encore d'eau (H₂O). Certaines annonces font même part de

méthane (CH₄). C'est une étape importante, car il s'agit de la plus simple molécule organique et elle représente une des signatures possibles du vivant.

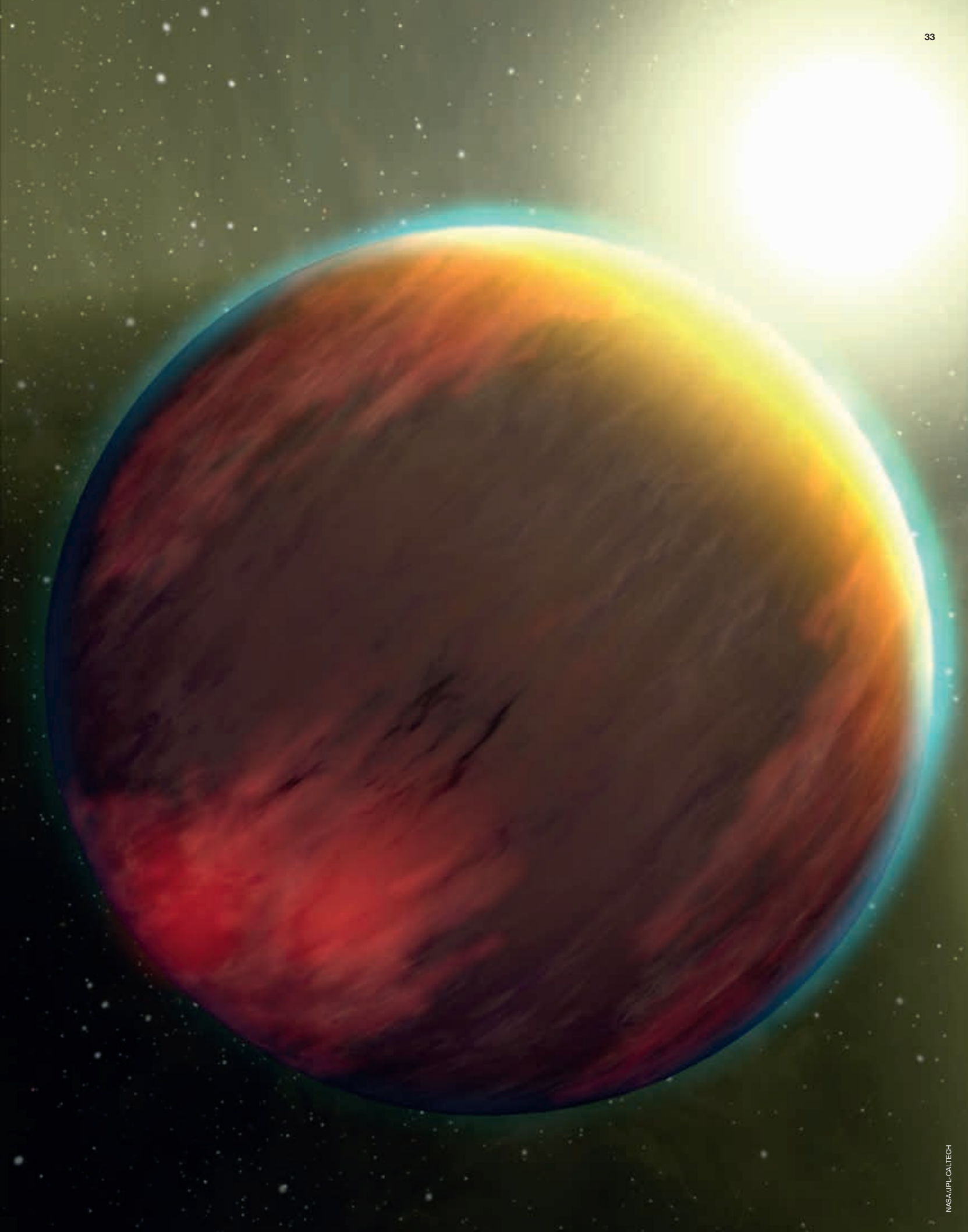
« La question de savoir quelle doit être la signature d'une atmosphère abritant des formes de vie n'est pas encore résolue, note Francesco Pepe. Si l'on se base sur ce que l'on connaît, il faut d'abord de l'eau. L'ozone (O₃), à savoir de l'oxygène non lié au carbone, est sur Terre un produit indirect de la vie végétale. Si l'on détecte ce composé sur d'autres planètes, cela pourrait représenter un indice important, au même titre que le méthane. Cela dit, on ignore encore quel profil chimique précis prouverait la présence de la vie sur une autre planète.

« LA QUESTION DE SAVOIR QUELLE DOIT ÊTRE LA SIGNATURE D'UNE ATMOSPHÈRE ABRITANT DES FORMES DE VIE N'EST PAS ENCORE RÉSOLUE »

Ce n'est d'ailleurs pas notre travail mais celui des exobiologistes. Nous, les astronomes, sommes en mesure, notamment grâce aux moyens dont nous disposons désormais avec le PRN PlanetS, d'apporter nos observations et de développer des modèles théoriques de formation planétaire capables d'expliquer ce que l'on mesure. Et c'est une pièce importante du puzzle. »

L'analyse des atmosphères d'exoplanètes exige des mesures d'une très grande précision. L'idée consiste à obtenir le spectre électromagnétique de ces couches de gaz, c'est-à-dire la composition spectrale de la lumière qui les traverse. Cela est possible lorsque la planète passe devant son étoile mère mais aussi lorsque, vue depuis la Terre, elle est à côté et que sa surface soit émet son propre rayonnement infrarouge si elle est assez chaude, soit reflète suffisamment les rayons stellaires pour être détectable comme une source ponctuelle.

Le signal récupéré par les télescopes est ensuite décomposé par un spectrographe. Cette opération fait apparaître des « raies d'absorption », c'est-à-dire des creux dans la





L'ORIGINE DE LA VIE

Chercher la vie ailleurs exige que l'on sache comment elle est apparue sur Terre. Voici quelques-unes des conditions identifiées par les chercheurs.

La tectonique des plaques et les volcans ont probablement joué des rôles importants. Il y a 4 milliards d'années, l'activité volcanique était très intense et a rejeté dans l'atmosphère de grandes quantités de gaz tels que le sulfure d'hydrogène et du dioxyde de carbone. Une fois déposés au fond des océans, ces éléments auraient alors participé à la synthèse des premières molécules organiques.

Ces dernières auraient aussi pu provenir de l'espace et avoir été déposés sur Terre par des météorites et des comètes lors de la période d'intense bombardement vécu par la Terre au début de son histoire.

La présence de soleil comme source d'énergie, ainsi que d'eau, est indispensable. Cette dernière est un solvant qui augmente les probabilités de réaction chimique en mettant en contact les molécules entre elles.

Les expériences de chimie prébiotique ont montré qu'il était possible de synthétiser certains composants de base de l'ADN et de l'ARN à partir d'un mélange d'eau, de méthane d'ammoniac et d'hydrogène soumis à des décharges électriques censées simuler l'effet des éclairs. Les étapes ultérieures sont plus problématiques à reconstituer.

La première étape du vivant a peut-être été représentée par une forme primitive d'ARN, des molécules capables à la fois de porter de l'information génétique et de la reproduire. Par la suite, elles auraient évolué en deux types de

molécules distincts, l'ADN, chargé du stockage de l'information génétique, et l'ARN, chargé de son expression et de sa régulation.

A un certain moment, ces molécules se retrouvent enfermées dans des vacuoles formées par des lipides. Les premières cellules sont nées.

Les plus anciennes traces de vie sont des fossiles de communautés de bactéries vivant dans l'eau. Ces stromatolites ont été découverts dans la formation géologique de Tumbiana, en Australie, qui remonte à 2,7 milliards d'années. Dans la région de Warrawoona (toujours en Australie), on a découvert d'autres roches plus anciennes (3,5 milliards d'années) qui pourraient également être des stromatolites.

Source : Les dossiers de la Recherche, février 2013

◀ VUE D'ARTISTE DE LA SURFACE DE LA PLANÈTE **GLIESE 667 Cc**, UNE SUPER-TERRA TOURNANT AUTOUR D'UNE NAÏVE ROUGE, ELLE-MÊME FAISANT PARTIE D'UN SYSTÈME TRIPLE.

CETTE PLANÈTE A ÉTÉ DÉTECTÉE À L'AIDE DU SPECTROGRAPHE HARPS ET SE TROUVE DANS LA « ZONE HABITABLE ».

QUELQUES CRITÈRES D'HABITABILITÉ :

L'ÉTOILE NE DOIT PAS ÊTRE TROP CHAUDE NI TROP FROIDE ET BRILLER ASSEZ LONGTEMPS ET DE MANIÈRE STABLE POUR QUE LA VIE AIT LE TEMPS DE SE DÉVELOPPER.

LA PLANÈTE DOIT ÊTRE TELLURIQUE, POSSÉDER DE L'EAU ET ÉVOLUER À UNE DISTANCE DE L'ASTRE QUI PERMETTE À CELLE-CI D'ÊTRE PRÉSENTE SOUS FORME LIQUIDE. C'EST CE QUE LES SPÉCIALISTES APPELLENT L'ORBITE D'OR.

LA NOTION DE ZONE HABITABLE SE COMPLIQUE (SANS ÊTRE EXCLUE) DANS LE CAS DES SYSTÈMES DOUBLES (LA MOITIÉ DES ÉTOILES SONT DANS CE CAS) OU TRIPLES (VOIR CI-CONTRE). SELON L'ÉLOIGNEMENT DES AUTRES ÉTOILES, L'ORBITE DE LA PLANÈTE POURRAIT PERDRE SA STABILITÉ.

LA PLANÈTE DOIT TOURNER SUR ELLE-MÊME AFIN D'ÉVITER D'EXPOSER TOUJOURS LA MÊME FACE AUX RAYONS DE L'ÉTOILE.

courbe d'intensité, qui correspondent à des éléments ou des composés chimiques qui absorbent la lumière à ces longueurs d'onde. La profondeur des raies et leur largeur permettent d'estimer la température et la vitesse de rotation de l'astre étudié.

Il faut cependant être capable de séparer le signal propre à la planète de celui, très envahissant, provenant de l'astre lumineux. Et c'est là que les choses se corsent. Plusieurs techniques sont possibles, mais elles reviennent en général à soustraire le signal de l'étoile à celui qui cumule les contributions de la planète et de l'étoile. En d'autres termes, il s'agit de soustraire deux grands nombres, une opération aboutissant à un tout petit résultat qui, s'il veut signifier quelque chose, doit dépasser le niveau du bruit statistique.

« Nous sommes à la limite de ce que les instruments actuels peuvent accomplir, estime Francesco Pepe. Nos télescopes ne sont pas assez grands, il n'y a pas assez de lumière en provenance des planètes et la résolution spectrale n'est pas toujours suffisante pour faire beaucoup mieux. Du coup, les astronomes se retrouvent souvent confrontés à des données ambiguës ou dégénérées qui ne permettent pas de choisir entre les différents modèles théoriques à notre disposition. »

Structures exotiques L'un des volets du projet atmosphère de PlanetS consiste justement à élaborer ce genre de modèles. Une équipe de quelques chercheurs se consacre déjà à imaginer les structures possibles de planètes. Géantes gazeuses, planètes telluriques, atmosphère composée d'hydrogène, hélium, d'eau, de CO₂, ou autre : les paramètres sont nombreux. La limite entre l'atmosphère gazeuse et une surface liquide ou solide pourrait également ne pas s'avérer aussi brutale que sur Terre. Selon la composition, la température et la pression, il pourrait exister des mélanges de structures d'atmosphères bien plus exotiques que sur Terre.

La composition d'une planète dépend aussi de son histoire au sein du système qui l'a vu naître, des régions où elle a accumulé de la matière (loin ou proche de l'étoile) et de l'endroit où elle se trouve actuellement. Ce domaine est la spécialité de l'équipe bernoise dirigée par Willy Benz (lire en page 30).

Bref, pour chaque modèle, les chercheurs calculent le spectre électromagnétique qu'il devrait produire. Et c'est cette courbe qu'ils comparent ensuite aux observations.

L'une des premières exoplanètes à s'être prêtées à l'étude de son atmosphère est HD 209458 b qui transite devant son étoile (lire en page 28). Les astronomes y ont trouvé du sodium, du monoxyde de carbone (CO), de la vapeur d'eau et du méthane.

Disque de poussière Dans le cas de Bêta pictoris b, une des premières exoplanètes découvertes par imagerie directe en 2008, des astronomes néerlandais ont choisi une autre technique. En soustrayant le signal de l'étoile, autour de laquelle se trouve d'ailleurs encore un disque de poussières, ils ont fait apparaître le faible spectre de la planète dont ils ont pu analyser l'émission lumineuse dans l'infrarouge. Ils ont ainsi déterminé sa masse (huit fois celle de Jupiter), sa distance (cinq fois la distance Terre-Soleil) et la présence de

monoxyde de carbone. La largeur des raies a même permis de déterminer une vitesse de rotation de la planète à l'équateur 50 fois plus grande que celle de la Terre.

L'équipe genevoise pense, quant à elle, avoir détecté des empreintes indubitables de différents éléments chimiques et de molécules dans l'atmosphère de planètes géantes. Ce résultat a été obtenu à l'aide du spectrographe HARPS (lire en page 38) installé sur le télescope de 3,6 mètres de diamètre de l'ESO (Observatoire européen austral) à La Silla au Chili.

« On ne pensait pas qu'il était possible d'y arriver avec des télescopes aussi petits depuis le sol et dans le domaine de la lumière visible, précise Francesco

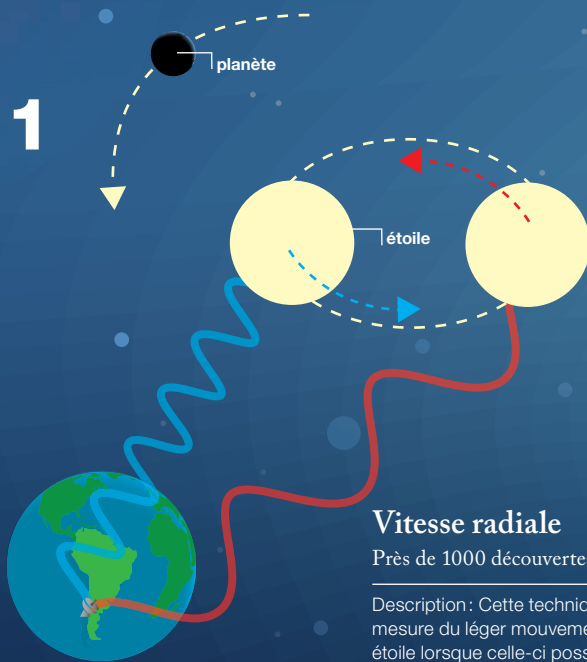
Pepe. Si nos résultats se confirment, c'est un premier pas. Et un titre honorifique supplémentaire pour le fleuron de nos instruments qu'est HARPS. Ce dernier est tellement précis et stable que l'on peut tirer des informations fiables jusque sur la forme et la largeur des raies spectrales qu'il mesure. Jusqu'à récemment, on a systématiquement réduit les données qu'il produit afin de pouvoir calculer le seul paramètre qu'est la vitesse radiale de l'étoile. Maintenant, on ouvre les spectres, dont ceux que l'on a déjà mesurés jusqu'ici, et on analyse leur contenu plus en détail. »

Francesco Pepe participe aussi au développement des spectrographes du futur qui serviront à améliorer l'étude des atmosphères d'exoplanètes. Il est ainsi impliqué dans la conception d'ESPRESSO, de SPIROU et d'un appareil qui devrait être installé au début des années 2020 sur le E-ELT (European Extremely Large Telescope) au Chili (lire également en page 38).

« NOS TÉLESCOPES NE SONT PAS ASSEZ GRANDS, IL N'Y A PAS ASSEZ DE LUMIÈRE EN PROVENANCE DES PLANÈTES ET LA RÉOLUTION SPECTRALE N'EST PAS SUFFISANTE POUR FAIRE BEAUCOUP MIEUX »

CINQ FAÇONS DE DÉTECTER UNE EXOPLANÈTE

LES PLANÈTES EXTRASOLAIRES, À QUELQUES EXCEPTIONS PRÈS, ONT UNE LUMINOSITÉ TROP FAIBLE POUR ÊTRE DIRECTEMENT DÉTECTABLES À L'AIDE DE TÉLESCOPES. IL FAUT DONC LES DÉNICHER DE MANIÈRE INDIRECTE. EXPLICATIONS



Vitesse radiale

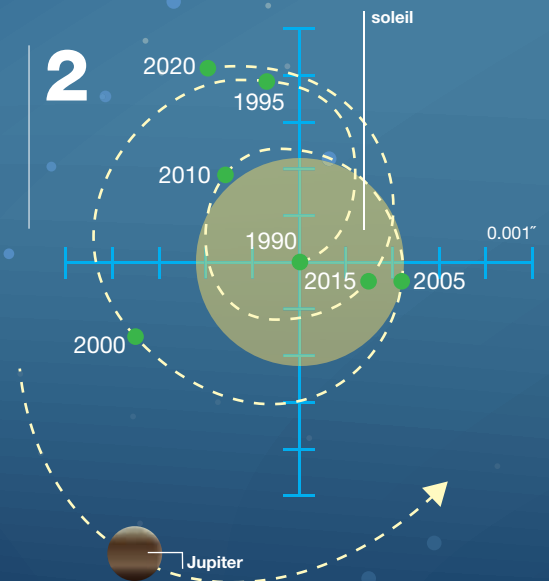
Près de 1000 découvertes

Description : Cette technique est basée sur la mesure du léger mouvement de va-et-vient d'une étoile lorsque celle-ci possède une planète. Cette oscillation est due au fait que la planète mais aussi l'étoile, malgré sa masse imposante, tournent autour d'un « centre de masse » commun qui ne coïncide pas exactement avec le centre de l'étoile.

Technique : Le spectrographe permet de décomposer la lumière produite par une étoile et d'identifier des « raies » qui correspondent à des éléments comme l'hydrogène absorbant certaines longueurs d'onde précises. A cause du mouvement de l'étoile, ces raies apparaissent avec un décalage qui oscille de manière régulière vers des valeurs plus grandes lorsqu'elle s'éloigne de la Terre (décalage vers le rouge) puis plus courtes lorsqu'elle s'en approche (décalage vers le bleu). C'est l'effet Doppler qui se manifeste aussi dans le son d'une sirène d'ambulance qui s'approche (son aigu) et puis s'éloigne (grave).

Résultats : Cette technique permet de calculer la masse, la période et l'orbite de la planète.

Missions : Les spectrographes HARPS (installé au Chili) et HARPS-NORD (Canaries) sont les plus précis actuellement. Le HIRES est, quant à lui, installé sur le télescope Keck à Hawaï. Le projet ESPRESSO, qui sera monté sur le VLT (Very Large Telescope) au Chili, doit voir le jour en 2017. Un appareil encore plus grand est à l'étude pour le futur E-ELT (European Extremely Large Telescope) également au Chili.



Astrométrie

Une ou deux découvertes

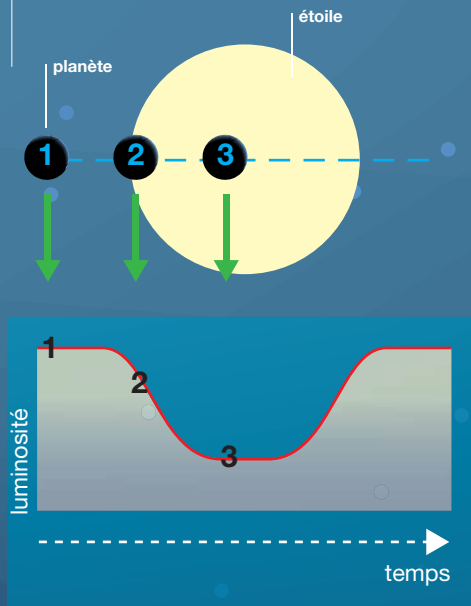
Description : L'astrométrie exploite elle aussi les mouvements de l'étoile engendrés par la présence d'une planète. Seulement, au lieu de mesurer des vitesses radiales, il s'agit de détecter le parcours de l'étoile sur le plan du ciel.

Technique : Les instruments astronomiques permettent de mesurer la position précise d'une étoile par rapport aux autres, mettant ainsi en évidence son mouvement propre. Ci-dessus sont représentées les « errances » du Soleil provoquées par la présence de Jupiter et telles qu'elles seraient observées à quelques années-lumière de distance.

Résultats : Cette technique permet de connaître la masse et l'orbite des planètes. Une planète ainsi découverte (HD 176051 b) tourne autour d'une étoile double.

Missions : Le satellite GAIA, lancé en 2013, doit recenser un milliard d'astres à l'aide de l'astrométrie. Les scientifiques s'attendent à ce qu'il découvre de nouvelles planètes grâce à cette technique.

3



Transit

Plus de 4000 découvertes potentielles (plusieurs centaines ont été confirmées)

Description : Certaines exoplanètes, vues depuis la Terre, passent devant leur étoile. Il s'ensuit une (très) légère baisse de la luminosité de l'astre qui est mesurable. Etant donné la configuration nécessaire pour effectuer une telle mesure, cette technique n'est applicable qu'à une minorité des systèmes extrasolaires (10% des planètes proches de leur étoile, par exemple).

Technique : La luminosité d'une étoile se mesure à l'aide d'un photomètre ou d'une caméra CCD. Une des difficultés réside dans le fait qu'il ne faut pas rater le transit : celui-ci ne dure que quelques minutes ou quelques heures et ne réapparaît parfois plus durant des mois ou des années.

Résultats : La profondeur de la courbe donne le rapport des surfaces des disques stellaires et planétaires. Elle permet donc de calculer le diamètre de la planète à condition de connaître la taille de l'étoile. Le problème de cette technique, c'est que la probabilité d'un « faux positif » est élevée. C'est pourquoi il faut systématiquement confirmer les découvertes.

Missions : Des télescopes spatiaux comme CoRoT (des dizaines de découvertes) ou KEPLER (plus de 4000 candidats) sont capables de suivre un grand nombre d'étoiles en même temps. Le satellite suisse CHEOPS (lancement prévu en 2017) et la mission PLATO, prévue pour 2024, viseront les étoiles brillantes.

4



Imagerie directe

Quelques dizaines de découvertes, dont plusieurs naines brunes

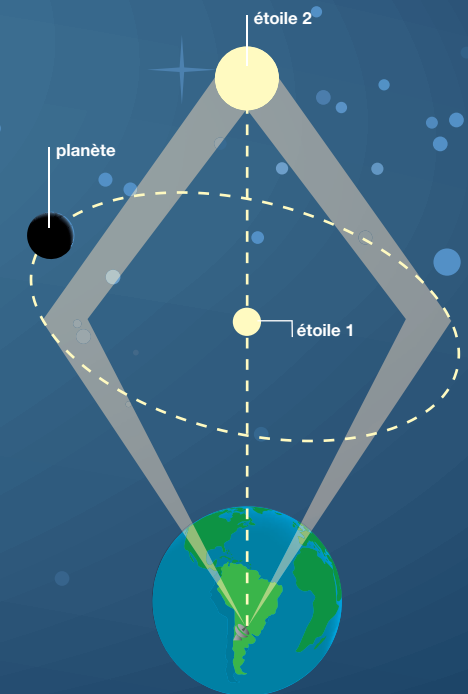
Description : Dans les systèmes planétaires proches du Soleil, il est parfois possible de réaliser des observations directes. Il faut pour cela que l'exoplanète soit grosse (au moins autant que Jupiter, par exemple) et assez éloignée de son étoile pour pouvoir la distinguer. Un télescope suffisamment puissant muni d'un appareil spécial peut alors mesurer la lumière de l'astre réfléchi par la planète. Cette dernière, si elle est assez chaude, peut aussi émettre directement un rayonnement infrarouge détectable depuis la Terre.

Technique : Pour photographier une exoplanète un milliard de fois moins lumineuse que son étoile, il est indispensable d'éclipser l'astre lumineux. Cela se réalise à l'aide d'un coronographe installé sur le télescope. Les instruments terrestres doivent également corriger les effets perturbateurs de l'atmosphère à l'aide de la technique dite d'optique adaptative.

Résultats : Selon les cas, cette technique fournit des indications sur la masse ou le rayon de la planète. Elle permet aussi, grâce à la spectrographie, d'analyser la composition chimique de son atmosphère.

Missions : La plupart des observations ont été réalisées avec les plus gros télescopes terrestres existants comme le VLT (Very Large Telescope), muni d'un système appelé SPHERE, le Keck, le Subaru ou encore le Gemini (Hawaï).

5



Lentilles gravitationnelles

Une trentaine de découvertes

Description : L'effet de lentille gravitationnelle se fait sentir lorsque le champ gravitationnel d'une étoile dévie la lumière venant d'un autre astre situé plus loin mais exactement sur la même ligne de visée. Si la première étoile (celle du centre) possède une planète, celle-ci peut apporter une perturbation régulière à l'effet de lentille détectable depuis la Terre.

Technique : Des télescopes robotisés, munis de caméras CCD très sensibles, suivent plusieurs étoiles en même temps dans une seule région de ciel, car de tels alignements sont peu fréquents.

Résultats : Cette technique permet de détecter des planètes orbitant à une distance assez grande de leur étoile. En étudiant avec précision suffisamment d'étoiles lointaines, cette méthode devrait permettre de fournir une idée de l'abondance de planètes ayant les mêmes caractéristiques que la Terre (masse et orbite) dans la Galaxie.

Missions : La plupart des découvertes ont été réalisées dans le cadre des projets polonais OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) et nippono-néo-zélandais MOA.

FLEURON TECHNOLOGIQUE

LES MONDES SELON HARPS

LE SPECTROGRAPHE GENEVOIS, INSTALLÉ SUR UN TÉLESCOPE AU CHILI, EST L'INSTRUMENT LE PLUS PRÉCIS DU MONDE DANS SA CATÉGORIE. IL A PERMIS DE DÉCOUVRIR DES CENTAINES D'EXOPLANÈTES. EN CONSTRUCTION, SON SUCCESSEUR, ESPRESSO, EST APPELÉ À FAIRE ENCORE MIEUX

« **N**ous avons pris beaucoup de risques en nous lançant dans l'aventure de HARPS », explique Francesco Pepe, professeur au Département d'astronomie (Faculté des sciences), qui a suivi depuis le début, il y a quinze ans, la fabrication du spectrographe, la star actuelle dans la détection des exoplanètes par la technique de la vitesse radiale (lire en page 38). Installé sur le télescope de 3,6 mètres de diamètre de l'ESO (Observatoire européen austral) à La Silla au Chili, l'appareil a été conçu et monté à l'Université de Genève. « Mais le risque a été payant, poursuit l'astronome. HARPS est aujourd'hui encore l'instrument le plus précis du monde dans sa catégorie. » Récit.

En 1998, l'ESO lance un appel à propositions pour la construction d'un spectrographe de haute précision. La chasse aux exoplanètes bat alors son plein et l'organisation européenne veut prendre le train en marche. Le meilleur appareil du moment est le HIRES installé sur le télescope Keck à Hawaï. Il est capable de mesurer une vitesse de déplacement d'une étoile par rapport à la Terre aussi fine que 3 mètres par seconde. Michel Mayor et Didier Queloz ont, quant à eux, réalisé en 1995 la découverte de la première exoplanète (51 Peg) grâce au spectrographe ELODIE, connecté au télescope de 193 cm de Haute-Provence, et dont la précision atteint 15 m/s.

« Avec HARPS (High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher), nous proposons de construire un appareil trois fois plus performant que les modèles existants, poursuit Francesco Pepe. L'objectif était de mesurer des vitesses radiales avec une précision de 1 m/s. Nous avons une idée sur la manière d'y arriver, mais nous n'étions pas sûrs que cela soit possible. Mais comme nous étions les seuls à avoir osé répondre à la demande de l'ESO, nous avons remporté la mise. »

Pas une minute de plus Avec Michel Mayor comme responsable principal et Francesco Pepe comme *project manager* et *system engineer*, le projet démarre immédiatement. C'est qu'il ne faut pas perdre de temps. Les conditions imposées

par l'ESO sont drastiques. Les Genevois ont trois ans pour fabriquer HARPS. Pas une minute de plus. S'ils tiennent les délais, ils ont droit à 100 nuits d'observation par année durant cinq ans. Chaque jour de retard correspond cependant à une nuit d'observation en moins.

HARPS est installé sur le télescope de 3,6 mètres de diamètre de l'ESO à La Silla le 11 février 2003, trois jours avant le terme contractuel, et mis à la disposition de la communauté scientifique le 1^{er} octobre. « Nous pouvons être fiers, souligne Francesco Pepe. Nous avons respecté les délais et le budget. Nous avons même dépassé les promesses de performance puisque le spectrographe atteint une précision de 0,5 m/s. Depuis onze ans, personne n'a fait mieux. »

Le rôle de HARPS consiste à décomposer la lumière d'une étoile et à classer les photons qui lui parviennent selon leur

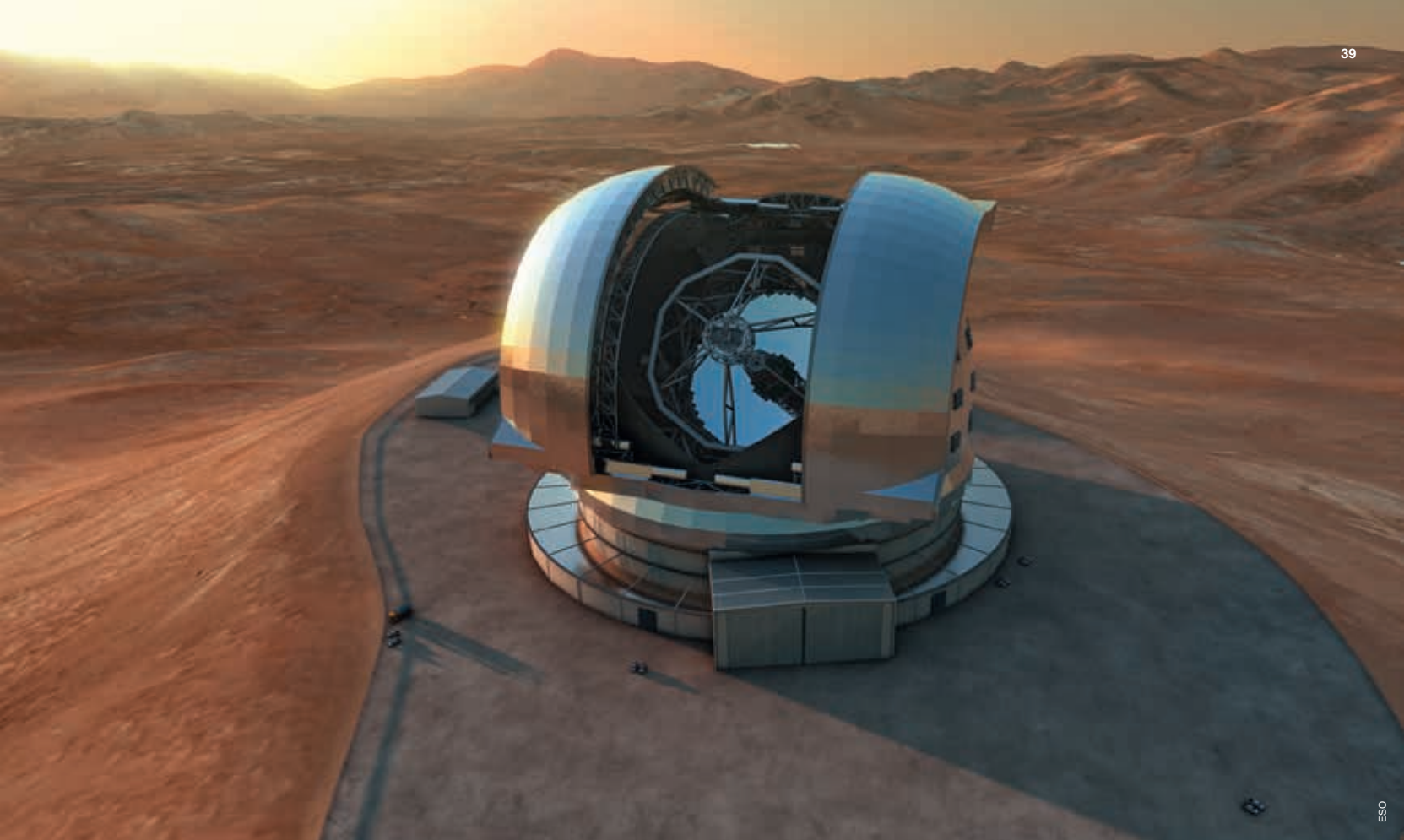
« COMME NOUS ÉTIONS LES SEULS À AVOIR OSÉ RÉPONDRE À LA DEMANDE DE L'ESO, NOUS AVONS REMPORTÉ LA MISE »

longueur d'onde. Il en résulte un spectre qui est une courbe émaillée d'un certain nombre de « raies ». Celles-ci sont des creux correspondant à des longueurs d'onde absorbées par des éléments ou des composés chimiques présents dans l'étoile étudiée ou situés sur la trajectoire de la lumière.

HARPS a été conçu pour être intrinsèquement stable dans ses mesures.

Il est monté sous vide et maintenu à une tempé-

rature constante, à un millième de degré près, évitant ainsi que les variations météorologiques n'aient un impact sur les résultats. La lumière entre dans l'appareil par une fibre optique de la taille d'un cheveu et longue de 40 mètres, assurant une illumination très stable du spectrographe. La calibration est, quant à elle, fournie par une source spectrale (une lampe au thorium) intégrée dans le dispositif. L'appareil est tellement fiable qu'il est possible de tirer des informations non seulement de la position des raies (qui renseigne sur la vitesse d'éloignement ou de rapprochement de l'astre) mais



LE E-ELT (EUROPEAN EXTREMELY LARGE TELESCOPE) EST UN TÉLÉSCOPE GÉANT, PRÉVU POUR LE DÉBUT DES ANNÉES 2020, QUI SERA CONSTRUIT DANS LE DÉSERT D'ATACAMA AU CHILI À 3060 M D'ALTITUDE.

LE MIROIR DU TÉLÉSCOPE SERA COMPOSÉ DE PRÈS DE 800 SEGMENTS HEXAGONAUX FORMANT ENSEMBLE UN COLLECTEUR DE LUMIÈRE DE 39 M DE DIAMÈTRE.

SUR CET INSTRUMENT SERA INSTALLÉ UN SPECTROGRAPHE ULTRA-PRÉCIS QUI N'EN EST ACTUELLEMENT QU'À TOUT PREMIERS STADES DE LA CONCEPTION. IL PERMETTRA DE DÉTECTER DES PLANÈTES COMME LA TERRE TOURNANT AUTOUR D'ÉTOILES COMME LE SOLEIL ET D'ÉtudIER LA COMPOSITION CHIMIQUE DE LEUR ATMOSPHÈRE.

aussi de leur forme et de leur profondeur (qui fournissent des indications sur la vitesse de rotation et la température de l'étoile). La résolution spectrale, elle aussi très importante, permet de décomposer la lumière en un très grand nombre de longueurs d'onde.

Le palmarès de HARPS compte des centaines de découvertes d'exoplanètes. Il est à l'origine de la découverte des deux tiers des planètes moins massives que Neptune. Il a également déniché des dizaines de super-Terre, dont certaines proches de la zone habitable autour d'étoiles de type solaire. Pour l'ESO, HARPS est l'instrument qui est à l'origine du plus grand nombre de communiqués de presse et d'une liste impressionnante d'articles scientifiques.

En 2012, un appareil similaire, HARPS-N, également conçu par les astronomes genevois mais au sein d'un autre consortium international, a été installé sur le Télescope italien Galileo de 3,58 mètres à La Palma dans les îles Canaries. Il permet de couvrir l'hémisphère Nord et, surtout, de confirmer certaines découvertes parmi les milliers réalisées par la mission KEPLER (spécialisée dans la méthode dite du transit, lire en page 38) dans une petite région de la Constellation du Cygne.

Le successeur de HARPS s'appelle ESPRESSO. Le projet, porté par les astronomes genevois, a déjà été accepté par l'ESO et se trouve désormais en phase de réalisation. La salle d'intégration est sur le point d'être construite à l'Observatoire de Genève. L'instrument est destiné à être installé en 2017 sur le VLT (*Very Large Telescope*) dans le désert d'Atacama au Chili. Il pourra se brancher sur n'importe lequel des quatre télescopes de 8 mètres de ce complexe,

voire même sur les quatre à la fois et cumuler ainsi leur lumière. Ce sera donc le premier spectrographe connecté à l'équivalent d'un télescope de 16 mètres de diamètre.

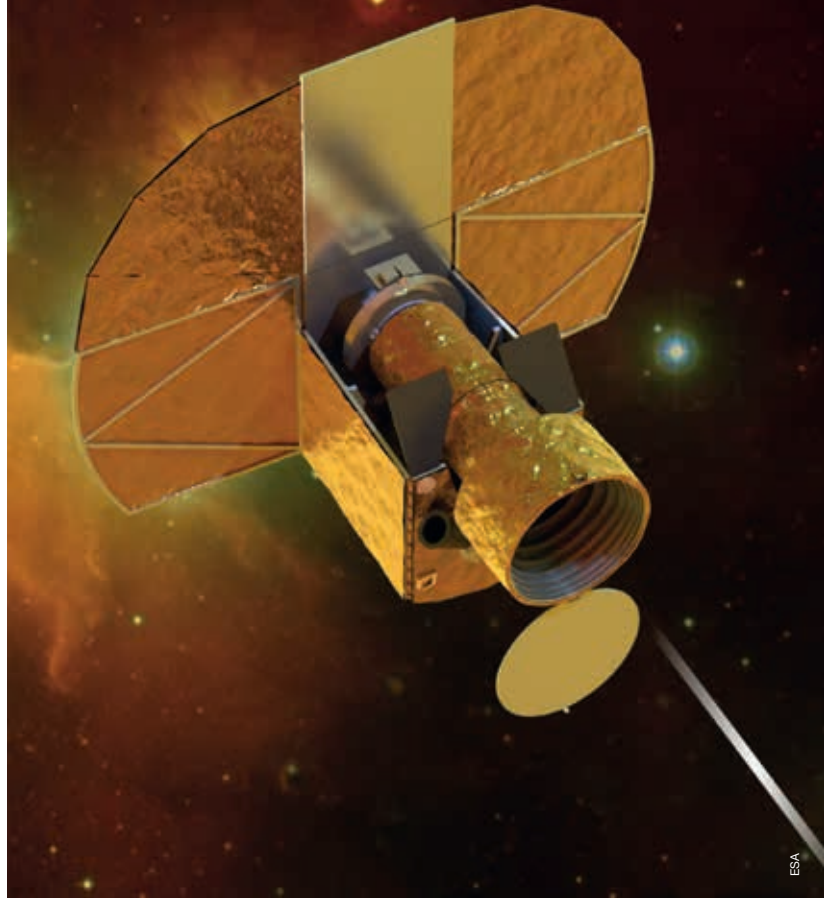
Un grand ESPRESSO «*Nous avons présenté ESPRESSO comme un HARPS adapté au VLT capable de mesurer des vitesses aussi petites que 10 cm/s, explique Francesco Pepe. La mission première d'ESPRESSO sera la traque aux planètes encore plus petites qu'aujourd'hui. Mais étant donné l'essor que prennent les mesures d'atmosphères d'exoplanètes, il n'est pas exclu que l'on consacre aussi l'appareil à cette activité.*»

Les astronomes genevois participent également au développement d'un spectrographe (SPIROU) fonctionnant non pas dans la lumière visible mais dans le proche infrarouge et qui devrait être installé sur le Télescope Canada-France-Hawaï (CFHT) à Hawaï en 2017. En collaboration avec le Brésil, ils travaillent aussi sur un projet équivalent mais destiné à un télescope de l'hémisphère Sud (le NTT à La Silla au Chili). Histoire d'ancrer l'astronomie genevoise dans le futur de la recherche et de la caractérisation d'exoplanètes, Francesco Pepe et son équipe participent par ailleurs à l'étude d'un spectrographe qui pourrait prendre place sur l'E-ELT (*European Extremely Large Telescope*) de l'ESO dont le début de la construction est prévu pour 2014, sur le Cerro Armazones dans le désert d'Atacama au Chili. Le spectrographe branché sur un tel monstre pourra réaliser le même travail qu'ESPRESSO avec 5 fois plus de précision ou en 25 fois moins de temps.

SWISS MADE

CHEOPS MET LA SUISSE EN ORBITE

LE SATELLITE HELVÉTIQUE ÉTUDIERA DES EXOPLANÈTES DÉJÀ CONNUES TOURNANT AUTOUR D'ÉTOILES PROCHES. IL MESURERA LEUR TRANSIT AFIN DE CONNAÎTRE LEUR DIAMÈTRE, D'EN DÉDUIRE LEUR DENSITÉ VOIRE D'EN TIRER DES INFORMATIONS SUR LEUR ATMOSPHÈRE



CHEOPS est un satellite scientifique qui aura été imaginé et conçu de bout en bout par des chercheurs suisses. C'est la première fois que l'astronomie helvétique, qui codirige cette mission avec l'Agence spatiale européenne, (ESA), dispose d'une telle visibilité en matière spatiale. Jusqu'à présent, son rôle a consisté à être responsable d'un seul volet d'une mission (fabrication d'un instrument de mesure, gestion et traitement des données provenant d'un télescope spatial, etc.), la direction globale revenant toujours à une grande nation ou à une organisation internationale.

«CHEOPS est une petite mission, nuance Willy Benz, professeur à l'Institut de physique de l'Université de Berne, directeur du Pôle de recherche national PlanetS et responsable de CHEOPS. C'est pourquoi nous pouvons nous en occuper entièrement. Son objectif consiste à mesurer le transit de planètes devant leur étoile, c'est-à-dire à détecter la légère chute de luminosité de l'astre provoquée par cette occultation partielle. Les cibles du satellite sont des exoplanètes déjà découvertes par d'autres méthodes en orbite autour d'étoiles brillantes qui sont généralement aussi les plus proches de nous.»

Jours meilleurs L'idée du projet naît en 2008 lors de l'appel à projets pour de nouveaux Pôles de recherche nationaux (PRN) lancé par le Fonds national pour la recherche scientifique. A cette occasion, les astronomes bernois, genevois et

des membres du *Swiss Space Center* à l'École polytechnique fédérale de Lausanne réalisent une étude de faisabilité pour la construction d'un petit satellite financé par le Secrétariat d'Etat à la recherche et par des fonds venus de l'industrie. Le PRN en astronomie est finalement recalé mais l'idée du satellite demeure, attendant des jours meilleurs.

Ceux-ci ne tardent pas à venir. En 2012, c'est au tour de l'ESA de lancer un appel pour des missions de petite envergure, dites de classe S. C'est une nouveauté pour l'agence européenne jusque-là spécialisée dans des projets de classe M (dont le budget s'élève à environ 500 millions d'euros) et L (1 milliard d'euros). Pour la première fois, elle cherche à financer une mission à hauteur de 50 millions d'euros, ne risquant pas de mettre en péril le reste de son programme.

«Nous avons eu de la chance, estime Willy Benz. Le projet CHEOPS était déjà très avancé et nous avons donc pu rendre une copie très complète malgré le temps très court qui nous était imparti. L'appel tombait en effet au printemps 2012, la proposition devait être rédigée en juin et nous avons été sélectionnés en octobre (sur 26 participants, tout de même). Le lancement, quant à lui, est prévu pour fin 2017. Une procédure aussi rapide, c'est du jamais vu à l'ESA.»

Entre-temps, le projet CHEOPS s'est internationalisé avec la participation de l'Autriche et de la Suède puis de huit autres pays (sans parler de l'ESA, bien sûr). Le budget gonfle, lui aussi, et dépasse désormais les 100 millions d'euros. La part de l'ESA étant plafonnée à 50 millions d'euros,

«LE PROJET CHEOPS ÉTAIT DÉJÀ TRÈS AVANCÉ ET NOUS AVONS DONC PU RENDRE UNE COPIE TRÈS COMPLÈTE MALGRÉ LE TEMPS TRÈS COURT QUI NOUS ÉTAIT IMPARTI»

**VUE D'ARTISTE DU
SATELLITE SUISSE
CHEOPS DONT LE
LANCEMENT EST PRÉVU
EN 2017.**

ce sont les pays partenaires qui ont dû délier leur bourse. La plus grande part de l'excédent, 33 millions, est versée par la Suisse. Le PRN PlanetS consacrer de son côté une partie de son budget à l'exploitation scientifique du satellite lorsqu'il sera en orbite.

Grâce à CHEOPS, la Suisse fait l'expérience d'une responsabilité inédite. Elle participe à la supervision de l'ensemble du projet, qu'il s'agisse de la conception de la plateforme destinée à recevoir les instruments de mesure, du satellite lui-même, de la procédure de lancement, etc. Les différents éléments de la charge utile (le télescope) seront d'ailleurs assemblés, intégrés et testés à l'Université de Berne. Le nombre de compétences nouvelles à acquérir s'envole, qu'elles soient académiques, logistiques ou encore administratives, notamment avec la signature de quantités de contrats internationaux. L'industrie helvétique est elle aussi mise à contribution, notamment pour la mise en place du laboratoire d'assemblage et d'intégration, la fabrication de certains éléments de la structure du télescope et du satellite ainsi que pour l'élaboration de programmes informatiques embarqués.

Données brutes Une fois CHEOPS en orbite, les données brutes seront acheminées, via des antennes à Madrid, vers le Centre d'opérations scientifiques installé au Département d'astronomie de l'Université de Genève. Là, elles seront récoltées et traitées avant d'être mises à la disposition de la communauté scientifique. C'est également de cet endroit que seront émises les coordonnées des étoiles que devra cibler le satellite.

CHEOPS n'est pas le premier appareil à mesurer des transits. Les observatoires terrestres WASP, aux Canaries et en Afrique du Sud, ont déjà découvert plus d'une centaine de planètes par cette technique. Le satellite COROT, mis en orbite en 2006 et désactivé en juin 2014, en a accroché quelques douzaines à son tableau de chasse dont la fameuse CoRoT-7b, la première exoplanète rocheuse. A l'heure actuelle, l'appareil le plus prolifique est KEPLER. Lancé en 2008 par la Nasa (l'Agence spatiale des Etats-Unis), il a découvert en cinq ans plusieurs milliers de transits rien qu'en couvrant un tout petit coin de ciel, dont plusieurs objets au diamètre aussi petit que celui de la Terre. «KEPLER a identifié une grande quantité de candidats au statut d'exoplanète dont on ne connaît pour l'instant que le rayon et

L'EXPÉRIENCE BERNOISE

L'Université de Berne n'est pas novice dans l'exploration spatiale. C'est en effet dans cette institution qu'a été mise au point une expérience menée sur la Lune durant les missions Apollo 11, 12, 14, 15 et 16 lancées par la Nasa (l'Agence spatiale des Etats-Unis) entre 1969 et 1972. Les astronautes américains ont à chaque fois déployé à la surface du satellite naturel de la Terre une feuille d'aluminium de conception bernoise pour récolter des particules issues du vent solaire.

Par la suite, l'Institut de physique a poursuivi l'effort et s'est spécialisé dans la mise au point de spectromètres de masse, des appareils essentiels servant à l'analyse chimique des gaz. Plusieurs exemplaires ont été embarqués dans différentes missions américaines et européenne. Le dernier en date est parti sur la sonde Rosetta actuellement en orbite autour de la comète Churyumov Gerasimenko.

A titre personnel, Willy Benz a participé, lors de son séjour aux Etats-Unis, aux travaux qui ont permis de démontrer que la Lune avait été créée par la collision de la Terre avec un objet de la taille de Mars.

la période, précise Willy Benz. Il faudrait confirmer chacune de ces découvertes par une autre technique. Le problème, c'est que la plupart des transits dénichés par KEPLER concernent des étoiles trop peu brillantes pour être exploitées par la technique des vitesses radiales, en tout cas à l'aide des instruments actuels.»

Mille étoiles Contrairement à ces concurrents, CHEOPS ne cherche pas à découvrir de nouvelles planètes mais à étudier celles qui sont déjà connues et de préférence celles tournant autour d'étoiles brillantes. Si en plus elles sont petites et évoluent dans la zone habitable, c'est d'autant plus intéressant. L'avantage de cette approche, c'est que les chercheurs sauront à l'avance à quel moment il faut viser quelle étoile afin d'obtenir immédiatement une mesure précise du transit. Cela permet d'allouer le temps d'observation de la mission de manière très efficace. Au total, le satellite devrait suivre entre 500 et un millier d'étoiles proches au cours des trois ans et demi d'exploitation prévus.

La mesure du transit permet avant tout de calculer le rayon de l'exoplanète. En combinant cette donnée avec la masse (connue grâce à la méthode des vitesses radiales), on peut déduire sa densité moyenne, ce qui est un premier indice pour connaître la composition de la planète (rocheuse ou gazeuse, par exemple) et donc

comprendre les mécanismes mis en œuvre lors de sa formation. La courbe précise de la variation de la luminosité de l'étoile lors du passage de son compagnon peut aussi fournir la valeur de l'albédo (ou pouvoir réfléchissant) de ce dernier, d'où l'on peut ensuite tirer des renseignements sur la structure de l'atmosphère.

Toutes ces données contribueront à améliorer les modèles théoriques de formation de systèmes planétaires qui représentent l'activité principale du groupe de Willy Benz au sein du PRN PlanetS.