

Fenêtre

12

Epsilon d'Andromède b est une planète de la taille de Jupiter qui tourne en 4,61 jours autour de son étoile. L'astre est si proche que les forces de marée ont probablement arrêté sa rotation de sorte qu'elle expose toujours la même face aux rayons stellaires, l'autre étant plongée dans la nuit éternelle.

sur mondes

- > L'identification de la première planète extrasolaire il y a dix ans par des astronomes genevois s'inscrit dans une longue suite de découvertes qui ont profondément marqué l'histoire de la pensée
- > La chasse à ces «nouveaux mondes» cache une quête plus profonde, celle de l'origine de la vie. Quelles sont les conditions nécessaires à son apparition? Petit tour dans le monde des incertitudes
- > Les récentes découvertes de l'astronomie heurtent de plein fouet la vision du monde défendue par la plupart des grandes religions. Les sondages montrent pourtant que toujours plus de gens déclarent avoir la foi

Dossier réalisé par Anton Vos et Vincent Monnet
Photographies: NASA/ESA
Vues d'artiste: Lynette Cook

Michel Mayor et Didier Queloz ont ouvert la fenêtre sur les mondes lointains il y a maintenant dix ans. À l'aide d'un télescope de l'Observatoire de Haute-Provence, le professeur et son assistant de l'Observatoire astronomique de l'Université de Genève ont en effet apporté en automne 1995 la première preuve de l'existence d'une planète tournant autour d'une étoile autre que notre Soleil. Depuis, plus de 150 planètes extrasolaires ont été découvertes, les plus lourdes possédant quelques fois

la masse de Jupiter et la plus légère pesant près du dixième de la masse de Saturne. Retour sur cette trouvaille qui a bouleversé notre compréhension de la formation des systèmes planétaires.

Campus: En 1995, les astronomes croient-ils à l'existence des planètes extrasolaires ou votre découverte les a-t-elle pris par surprise?

► *Michel Mayor:* Les astrophysiciens sont convaincus depuis vingt ou trente ans qu'il existe d'autres systèmes solaires que le nôtre dans la Voie lactée. Il y a cent ans, en revanche, l'opinion dominante était encore que la probabilité qu'une planète grave autour d'une autre étoile que le Soleil était très faible. Si faible que notre système solaire était sûrement unique dans notre galaxie. Cette prudence était

due à la théorie de l'époque qui invoquait des phénomènes très rares pour expliquer la formation des planètes. Dans l'esprit des scientifiques, à partir des années 1940, cette position a changé et le nombre de planètes extrasolaires potentielles a explosé, passant rapidement à des millions, puis des milliards.

A quoi est dû ce soudain optimisme?

► À des développements théoriques, principalement ceux de l'astrophysicien russe Victor S. Safronov (1917-1999), qui élabore en 1969 un nouveau scénario décrivant la naissance d'une planète. Selon lui, dans les zones extérieures du système solaire (au-delà de Mars), tout commence avec des grains de poussière et de glace qui s'agglutinent petit à petit jusqu'à former des cailloux, puis des boules toujours plus grosses. Quand une telle sphère atteint 10 fois la masse de la Terre, la gravitation devient suffisante pour attirer et maintenir une couche de gaz et former des planètes gazeuses comme Jupiter. Dans les zones internes,



Ces gigantesques piliers cosmiques sont formés de gaz d'hydrogène et de poussière. Situés à 6500 années-lumière de la Terre dans la constellation du Serpent, ils font partie de la nébuleuse de l'Aigle, aussi appelée M16. Ces nuages représentent de formidables incubateurs de nouvelles étoiles et donc de systèmes planétaires.

il fait trop chaud pour que la glace se conserve. La matière accumulée ne contient que des grains de poussière faits de silicate, de fer, etc. et donne naissance aux planètes telluriques (rocheuses). Ce scénario connaît un succès immédiat car il permet d'expliquer ce qu'on observe dans notre système solaire.

En quoi ce scénario rend-il plus probable la naissance d'une planète ailleurs dans la galaxie?

► Pour qu'il se réalise, il suffit qu'il existe un disque d'accrétion autour des étoiles. Cette condition est remplie de manière naturelle puisque l'on sait qu'une étoile se forme par l'effondrement gravitationnel d'un nuage de gaz et de poussière et que cette matière ne tombe jamais en ligne droite sur l'étoile, mais tourne autour de lui le long d'une spirale plus ou moins longue. On obtient alors une nébuleuse qui se transforme en disque de plus en plus plat. Cette vision encore théorique reçoit une première confirmation dans les années 1980. Des mesures spectroscopiques permettent de détecter des excès de rayonnement infrarouge en provenance de certaines étoiles. Ces dernières étant trop chaudes pour émettre dans cette gamme de lumière, les scientifiques en déduisent la présence de gaz froid gravitant autour de l'étoile. Et puis, en 1995, le télescope spatial Hubble produit les premières photos directes de disques d'accrétion dans la nébuleuse d'Orion. On se rend alors compte que l'immense majorité des étoiles jeunes en possèdent durant les premiers millions d'années de leur vie. Ce sont là autant de pépinières potentielles de planètes extrasolaires.

Encore faut-il les détecter. Vous n'êtes d'ailleurs pas le premier à annoncer la découverte d'une planète extrasolaire.

► En effet. Plusieurs fausses alertes sont survenues entre 1950 et 1980. Au cours de ces décennies, plusieurs équipes américaines tentent déjà de détecter des planètes en mesurant les petits mouvements que celles-ci doivent imprimer à la trajectoire de l'étoile qu'elles accompagnent. Plus précisément, les chercheurs se sont concentrés sur des oscillations parallèles au plan

Les outils du succès

Pour la chasse aux planètes, il faut deux choses: de bons appareils d'observation et du temps, beaucoup de temps. La majorité des astronomes utilisent des instruments construits par des organismes de recherche comme l'ESO, l'ESA ou la NASA. Cependant, il arrive parfois qu'il n'existe pas d'appareil répondant au besoin d'une recherche spécifique. C'était le cas de Michel Mayor au début de sa carrière de prédateur de planètes extrasolaires, en 1977. Le futur professeur genevois voulait mesurer la vitesse radiale des étoiles, c'est-à-dire une succession de très légers rapprochements et d'éloignements, témoignant de la présence d'un compagnon invisible mais suffisamment massif pour perturber la course de l'étoile. C'est donc d'un spectrographe très stable qu'il avait besoin et qu'il lui a fallu construire.

► Le premier instrument à la fabrication duquel Michel Mayor a été associé est Coravel, installé à l'Observatoire de Haute-Provence, à Saint-Michel. Une petite merveille pour l'époque et qui a fonctionné durant vingt-cinq ans.

► En 1994 est venue Elodie, un spectrographe trente fois plus précis que Coravel et qui a pris sa place. Une copie légèrement améliorée a été installée sur un télescope au Chili, à La Silla.

► Le dernier spectrographe en date, Harps, a été monté en 2003 à La Silla, au Chili, sur le 3,6 m de l'ESO. Cet instrument détecte des vitesses de déplacement aussi faibles que 1 mètre par seconde et devrait permettre de détecter des planètes aussi légères que quelques fois la Terre. En trente ans, l'équipe genevoise, composée aujourd'hui aussi bien de physiciens que d'informaticiens, de mécaniciens et d'opticiens,

a amélioré d'un facteur mille la précision de ses mesures.

► Pour le futur, l'Europe et les Etats-Unis ont déjà imaginé des télescopes spatiaux essentiellement dédiés à la chasse aux planètes extrasolaires. Les projets TPF (Terrestrial Planet Finder) de la NASA et Darwin de l'ESA (il s'agit dans chaque cas de plusieurs satellites mis en réseau) sont au stade des études industrielles préliminaires. Les problèmes techniques à résoudre sont nombreux et les experts tablent sur une échéance de 20 ou 40 ans.

► Un autre projet concerne le sixième continent. Au-dessus du Dôme C, situé à 3000 mètres d'altitude au milieu de l'Antarctique, l'air est particulièrement pur et stable pour l'observation astronomique. Les images prises à cet endroit sont quatre fois meilleures que partout ailleurs sur Terre, même au Chili. L'idée d'y installer un grand télescope commence à germer dans l'esprit des astronomes.

du ciel – alors que nous mesurons un mouvement radial, c'est-à-dire de rapprochement et d'éloignement des astres. Le grand nom associé à cette approche est celui de l'astronome d'origine néerlandaise Piet Van de Kamp, qui l'a utilisée durant plusieurs dizaines d'années. Il est décédé convaincu d'être parvenu à détecter des planètes extrasolaires par ce moyen. Mais à la fin de sa vie, d'autres chercheurs ont montré qu'il s'était trompé. Ce n'est qu'un exemple parmi d'autres. La réputation des planètes extrasolaires a été entachée par ces fausses déclarations. Il est bon de rappeler aussi qu'en 1992, trois ans avant nous, l'astrophysicien polonais Alex Wolszczan découvre une pla-

nète gravitant autour d'une étoile à neutron, elle-même issue de l'explosion et de l'effondrement d'une géante rouge. Mais il s'agit là d'une toute autre histoire puisque la planète en question a été formée à partir des débris de l'explosion et non en même temps que l'étoile originelle.

Il est également possible de confondre planètes et naines brunes.

► En effet. Les naines brunes sont des étoiles très légères dont la température n'a pas atteint le seuil critique (20 millions de degrés) pour amorcer les réactions nucléaires de fusion. Ces boules de gaz se refroidissent et s'éteignent petit à petit dans l'espace. Les plus légères →

«Il n'y avait pas de pire moment que 1995 pour découvrir une planète extrasolaire»

d'entre elles pèsent quelques fois la masse de Jupiter. Il existe donc probablement des planètes plus lourdes que certaines naines brunes.

Comment faire la différence?

► A priori, lorsqu'on détecte un objet en rotation autour d'une étoile et dont la masse est 10 fois celle de Jupiter, il est impossible de savoir s'il s'agit d'une naine brune ou d'une planète. Le problème pourrait être résolu en mesurant la composition chimique de l'astre, mais ces données ne sont pas accessibles aujourd'hui. Nous en sommes réduits à établir des définitions arbitraires: les objets plus légers que 13 fois Jupiter sont baptisés planètes, ceux qui sont plus lourds des naines brunes.

Fausse alerte, naines brunes: le scepticisme était donc de mise à l'époque de votre découverte?

► En réalité, il n'y avait pas de pire moment que 1995 pour découvrir une planète extrasolaire. Le passé regorgeait de fausses alertes et le présent ne produisait que des résultats négatifs. En 1994, Geoffrey Marcy, actuellement professeur à l'Université de Californie à Berkeley, annonce que sur un échantillon de 25 étoiles, il n'a détecté la présence d'aucune planète de type Jupiter. En février 1995, un autre astronome américain, Alan Boss, affirme que la méthode de la vitesse radiale – celle que nous et les autres équipes utilisons depuis plusieurs années – n'est sans doute pas la bonne. Et, en été de la même année, le Canadien Gordon Walker, comme pour confirmer l'affirmation précédente, publie une étude portant sur 21 étoiles qu'il a suivies durant plus de douze ans. Résultat: néant.

Cela ne vous a-t-il pas découragés?

► Non. D'abord parce que depuis le début des années 1990, nous étions en train de construire un nouvel appareil de mesure, le spectrographe Elodie (lire en page 15), qui devait être installé à l'Observatoire de Haute-Provence. On ne pouvait tout de même pas renoncer sans même l'avoir essayé. Ensuite, comme j'ai un long passé de recherche de compagnon d'étoile, je me suis dit que si les autres obtiennent des résultats négatifs, c'est simplement parce que ces planètes sont rares. Il suffisait de prendre un échantillon plus grand. Le nôtre comportait 142 étoiles.

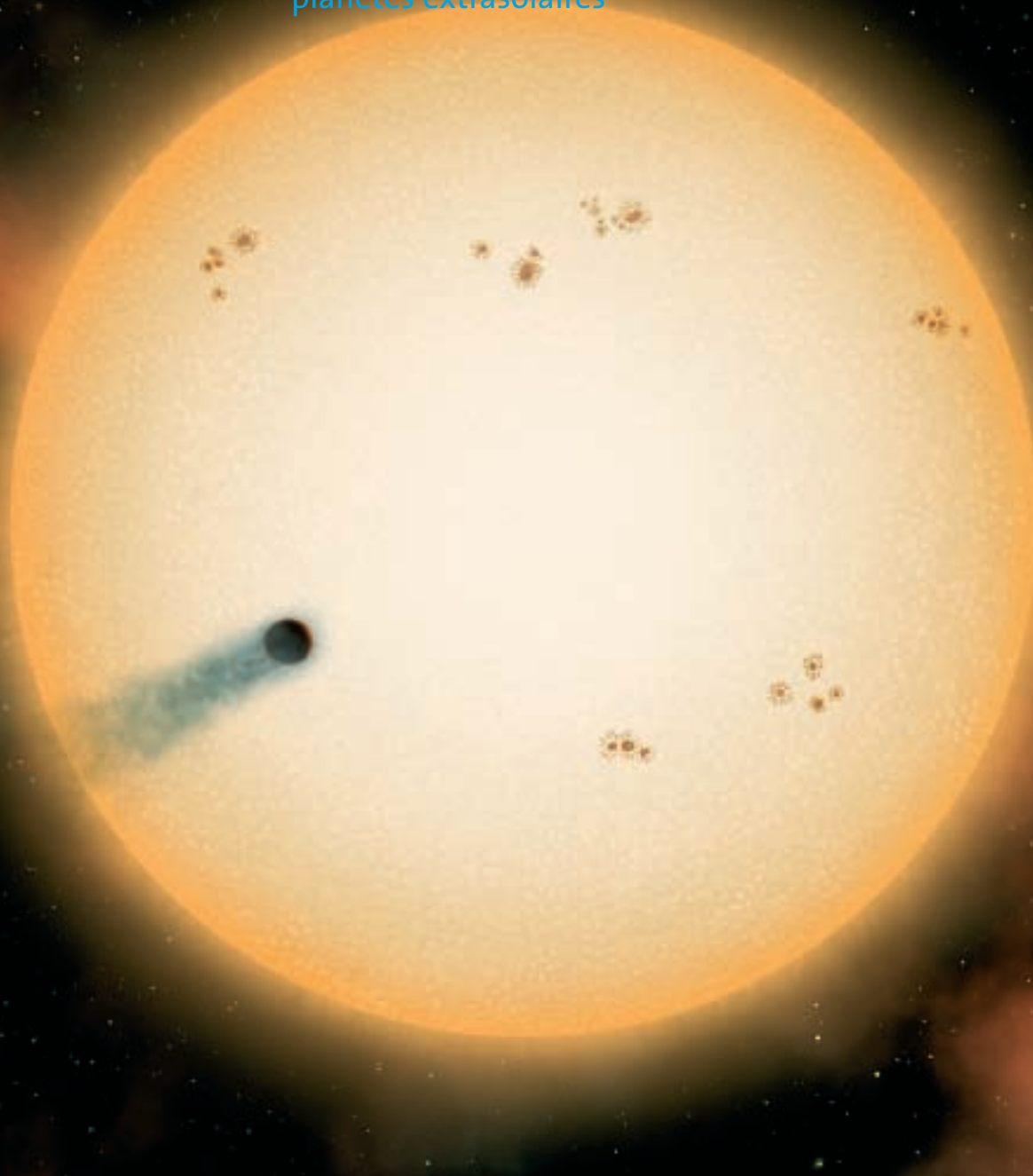
Est-ce là le secret de votre découverte?

► Pas seulement. Nos concurrents s'attendaient à trouver des périodes de révolution de l'ordre de dix ans. C'est une donnée fournie par la théorie. Cette dernière indique que les planètes les plus lourdes – donc les plus faciles à détecter – ne peuvent être formées qu'à une grande distance de l'étoile, là où l'on trouve suffisamment de matière, notamment sous forme de grains de glace. Cependant, plus une planète est éloignée, plus sa période est grande. D'après ce raisonnement, celles qui ont une masse comparable à celle de Jupiter doivent donc forcément posséder des périodes d'au moins dix ans. C'est logique. De notre côté, nous avons été associés quelques années auparavant, en 1989, à la découverte d'un objet de 11 fois la masse de Jupiter tournant autour de son étoile en 84 jours seulement. Nous avons publié l'article dans la revue *Nature* sous le titre de «Probable naine brune», mais cela nous a tout de même renseignés sur le fait qu'il existe des objets possédant de très courtes périodes. Ainsi, quand nous avons commencé notre travail à l'Observatoire de

Haute-Provence, nous cherchions des oscillations de dix ans et plus, comme tout le monde, mais aussi des plus courtes, pour poursuivre la voie des «probables naines brunes». Nous avons donc réparti nos nuits d'observation au télescope de telle sorte que l'on puisse suivre les deux rythmes. C'est grâce à cette stratégie que nous avons pu détecter le compagnon de 51 Pegasus.

Et quelle était la période de cette nouvelle planète?

► Avec 51 Peg b (c'est son nom), nous avons vraiment mis les pieds dans le



HD149026b, vue de la Terre, effectue un transit devant son étoile, provoquant une légère baisse de la luminosité. Cette caractéristique a permis de mesurer sa taille. Alors que sa masse est similaire à celle de Saturne, son diamètre est plus petit et sa structure est différente: un cœur de 70 masses terrestres et une atmosphère très mince. Cette planète, qui tourne autour de son étoile en 2,87 jours, pourrait bien perdre de la matière par dégazage.

plat. Cette planète, d'une demi-masse de Jupiter et 20 fois plus proche de son étoile que la Terre du Soleil, met 4,2 jours pour tourner autour de son étoile, au lieu des dix ans prévus. Il va sans dire que nous avons vérifié toutes nos données d'innombrables fois avant de les soumettre à une publication. Nous avons finalement annoncé notre découverte le 6 octobre 1995 au cours d'un congrès à Florence.

Comment ont réagi vos collègues?

► Les critiques ont été immédiates. Il y avait 300 personnes dans la salle, et

parmi elles de grosses pointures de l'astronomie. Pour certains chercheurs, 51 Peg b n'était simplement pas une planète. Selon eux, on ne pouvait pas contredire aussi facilement la théorie. En revanche, ceux qui n'étaient pas trop liés à la planétologie nous ont soutenus: «Vos observations sont solides, ne vous occupez pas trop de ce qu'affirme la théorie», disaient-ils. D'ailleurs, une semaine après la publication de notre papier dans *Nature*, un autre article était soumis à la même revue pour expliquer comment une planète aussi grosse pouvait avoir une si courte période.

Cela signifie que la théorie établie par Victor Safronov n'est pas caduque?

► Non. Tout le monde avait négligé un phénomène appelé la «migration orbitale». Il s'agit de l'influence gravitationnelle qu'exerce le disque de gaz et de poussière originel sur la planète nouvellement formée. Cette interaction modifie l'orbite de la planète qui se rapproche de l'étoile. Au bout de quelques millions d'années, le disque disparaît, la migration s'arrête et les orbites se stabilisent. C'est un simple problème de dynamique. En 1980, un article avait d'ailleurs été publié sur le sujet →

concluant que Jupiter n'est pas née à l'endroit où elle se trouve actuellement.

Pourquoi personne n'en a tenu compte?

► Peut-être parce que personne n'y a cru.

Comment ont réagi vos concurrents?

► Le nom et le numéro de l'étoile ont été transmis immédiatement aux Etats-Unis et Geoffrey Marcy, qui avait un télescope sous la main, a pu confirmer nos observations en moins de dix jours. Les médias américains ont évidemment mis la pression en lui demandant pourquoi il n'avait pas été le premier. Il a rétorqué qu'il ne disposait pas d'ordinateurs assez puissants. Immédiatement, la firme Sun lui en a fournis. Il s'est alors rendu compte que sur une soixantaine d'étoiles qu'il avait suivies mais pas encore analysées, deux ou trois possédaient un compagnon. C'est alors qu'a commencé une compétition entre nos deux groupes. En 1996, 5 ou 6 planètes avaient été détectées, puis ça s'est emballé. Aujourd'hui, il y en a plus de 150, dont près de 70 par notre équipe.

Quels sont les plus beaux trophées de cette chasse?

► Le défi principal est bien sûr de trouver les compagnons les plus légers. Dans



Cette image du centre de la nébuleuse d'Orion est une des plus grandes prises par le télescope spatial Hubble. Elle représente la même surface du ciel que 5% de la pleine Lune. Les détails les plus petits mesurent 6,6 milliards de kilomètres. La nébuleuse d'Orion est une importante pépinière d'étoiles (et de planètes).

51 Peg b: un gros bébé tout près de sa maman

18

En 1995, la communauté scientifique se doute bien qu'il existe des planètes extrasolaires, mais la première qui montre le bout de son nez les prend totalement par surprise. 51 Peg b, découverte cette année-là par Michel Mayor, professeur, et Didier Queloz, assistant à l'Observatoire astronomique de l'Université de Genève, ne ressemble en effet à rien de connu. Elle pèse l'équivalent d'une demi-Jupiter, mais au lieu de tourner autour de son étoile en une dizaine d'années, comme sa grande cousine, elle effectue une révolution entière en 4,25 jours seulement. Mieux: le rayon de son orbite (environ 7,5 millions de km) est 20 fois plus petit que celui de la Terre, ou encore sept fois plus faible que celui de Mercure, la planète la plus proche de notre

Soleil. En d'autres termes, la planète tourne autour de son étoile comme une toupie folle à près de 130 km par seconde. Toutefois, si 51 Peg b a bouleversé les spécialistes il y a dix ans, elle est désormais la plus ancienne représentante d'une nouvelle catégorie de planètes devenues relativement communes. Sur les près de 170 mondes extrasolaires découverts à ce jour, plusieurs dizaines appartiennent à ce groupe d'astres appelé les Jupiter chaudes.

«Etant donnée sa masse, 51 Peg b doit ressembler à Jupiter, c'est-à-dire à une géante gazeuse, estime Didier Queloz. Elle possède probablement un petit noyau très dense, autour duquel est accrochée une épaisse atmosphère chauffée à plus

de 1000°C, à cause de la proximité de l'étoile. Dans ces conditions, on pourrait se demander pourquoi le vent stellaire probablement très intense n'a pas pelé cette planète comme un oignon. En fait, elle est suffisamment massive pour que la gravité retienne sans problèmes les gaz qui l'entourent.»

L'étoile, 51 Peg, qui éclaire cette planète est elle aussi très banale. Située à 40 années-lumière de nous, elle ressemble en tout point (âge, taille, couleur) au Soleil. Elle est située dans la constellation de Pégase, le cheval ailé, à mi-chemin environ entre α du Pégase (Markab) et β du Pégase (Scheat). Elle est à la limite de la visibilité à l'œil nu. A part cela, les scientifiques n'en savent pas beaucoup plus

cette course, chacun s'est retrouvé à un moment ou un autre en tête. La planète la plus légère que l'on connaisse actuellement pèse environ 7 fois la masse de la Terre et a été découverte en juin 2005 par une équipe américaine. Par ailleurs, en avril 1999, Geoffrey Marcy a annoncé la découverte du premier système comprenant plusieurs planètes. Nous en connaissons aujourd'hui quinze, dont un avec quatre compagnons. Mais pour moi, le pas le plus important qui a été franchi cette dernière décennie a été notre découverte en 1999 du premier transit. Dans certains cas, en effet, la configuration géométrique est telle que la planète passe juste devant l'étoile et provoque une très légère baisse de sa luminosité. Nous avons été les premiers à prédire que ce phénomène se réaliserait sur l'étoile HD209458. Nous avons transmis nos données à des collègues américains du Colorado disposant de l'appareillage adéquat. Ce sont donc eux qui ont effectué la mesure proprement dite. La profondeur de l'éclipse étant directement liée au diamètre de la planète et la vitesse de l'étoile à sa masse, nous avons pu calculer sa densité et prouver qu'il s'agissait bien d'une planète géante gazeuse. Il faut préciser qu'en 1999, il existait encore des astro-

physiciens qui ne croyaient pas que ces objets étaient des planètes extrasolaires.

Combien d'étoiles de la Voie lactée possèdent des planètes, d'après vous?

► Notre galaxie renferme 200 milliards d'étoiles et je pense que l'immense majorité possède des compagnons. Disons entre 80 et 90% d'entre elles. Actuellement, nous ne trouvons des planètes qu'autour de 7 à 10% des étoiles que nous analysons. Mais nos moyens de détection actuels sont limités et nous ne pouvons voir que les plus lourdes.

Quelles conséquences la découverte de 51 Peg b a-t-elle eues sur votre travail?

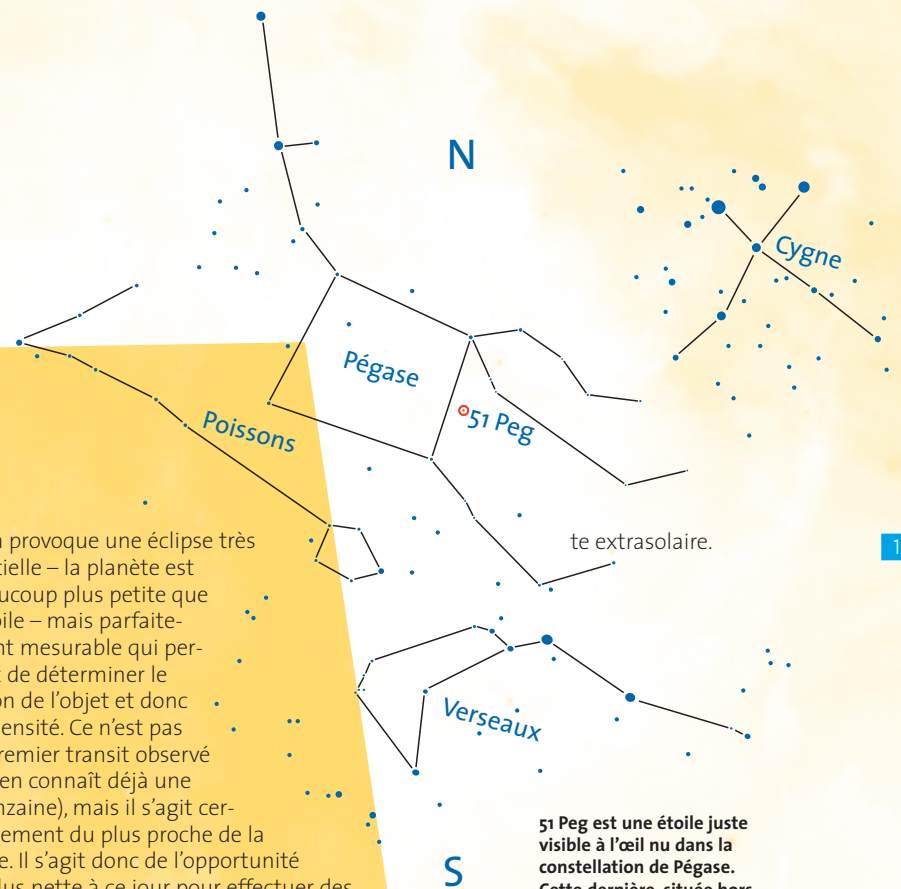
► Nous avons surtout pu augmenter notre temps d'observation sur le télescope. Quand nous avons commencé à l'Observatoire de Haute-Provence, nous disposions d'une semaine tous les deux mois, soit 42 nuits par année, ce qui

était déjà beaucoup. J'ai alors demandé à l'Institut national français des sciences de l'Univers (INSU) de pouvoir disposer de deux fois plus de temps. C'est un élément indispensable pour continuer notre travail. L'INSU a accédé à notre demande et cela fait dix ans que nous disposons de 84 nuits par année, c'est-à-dire du quart du temps du télescope. Par ailleurs, nous avons également obtenu beaucoup de temps (100 nuits par an) sur le télescope de 3,6 mètres de diamètre de l'ESO au Chili, qui est un instrument très demandé. Le VLT (Very Large Telescope) au Paranal consacra lui aussi beaucoup de temps à la chasse aux planètes extrasolaires. Ces dernières sont désormais considérées par les grandes agences internationales (ESO, ESA, NASA, etc.) comme un domaine d'exploration aussi important que la cosmologie. ■

sur la planète 51 Peg b. La structure et la composition de son atmosphère leur sont inconnues et ils ignorent si elle est accompagnée par une seconde planète plus petite. Aucune mesure n'en a révélé la trace en tout cas. Pour en savoir plus sur sa composition, les chercheurs genevois reportent notamment leurs espoirs sur une autre planète qu'ils ont découverte cet automne, exactement dix ans après la première et avec le même instrument, le spectrographe Elodie (lire en page 15). HD189733 b, c'est son nom, tourne autour d'une étoile un peu plus éloignée (60 années-lumière, située dans la constellation du Petit Renard) mais a l'insigne avantage de passer régulièrement devant son étoile.

Cela provoque une éclipse très partielle – la planète est beaucoup plus petite que l'étoile – mais parfaitement mesurable qui permet de déterminer le rayon de l'objet et donc sa densité. Ce n'est pas le premier transit observé (on en connaît déjà une quinzaine), mais il s'agit certainement du plus proche de la Terre. Il s'agit donc de l'opportunité la plus nette à ce jour pour effectuer des mesures complémentaires sur sa composition chimique et, pourquoi pas, réaliser la première observation directe d'une planè-

51 Peg est une étoile juste visible à l'œil nu dans la constellation de Pégase. Cette dernière, située hors de la Voie lactée, est le mieux visible en automne.



Une idée du client surprise Florian Staub:

**au moins ne pas
devoir économiser sur
la téléphonie mobile.**

Les personnes
en formation
téléphonent
**gratuite-
ment.**

surprise campus est notre réponse à l'idée suggérée par Florian Staub: en effet, d'ici au 31 décembre 2005, les abonnements surprise mobile avec SMS inclus proposent l'option surprise campus destinée aux étudiants*, apprentis et étudiants. Grâce à elle, tu pourras téléphoner gratuitement à volonté durant ton temps libre** avec les autres clients surprise de téléphonie mobile et ce pendant toute une année. Inscris-toi maintenant et profite. Plus d'informations dans ton surprise center ou sous www.surprise.ch/campus Les Idées nous font progresser.

*3 jusqu'à 11 ans ** de 18h00 à 21h00 et tout le week-end, en Suisse

Always a smile



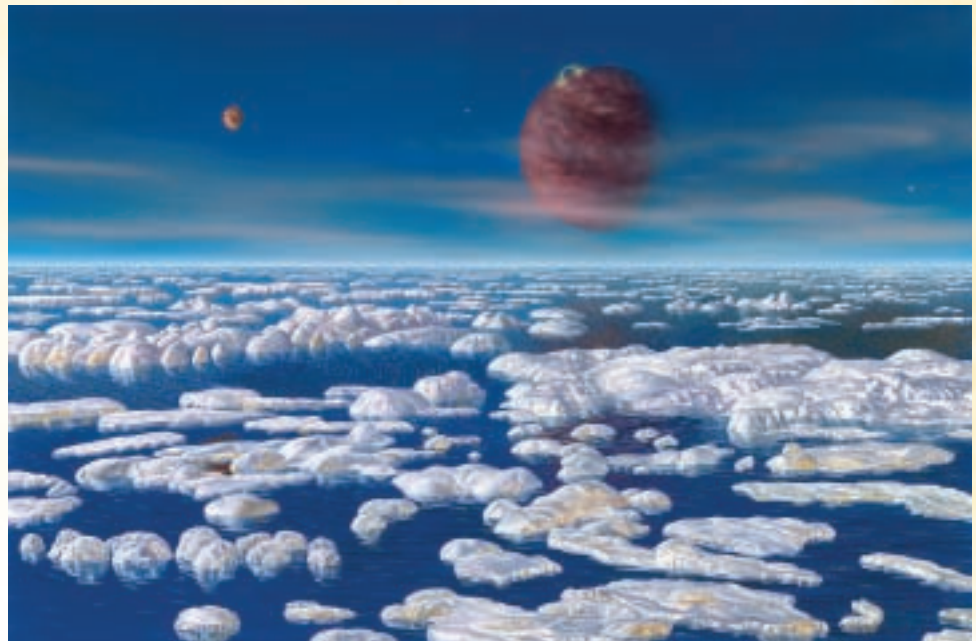
La science, un don du ciel

L'identification de la première planète extrasolaire s'inscrit dans une longue suite de découvertes qui ont profondément marqué l'histoire de la pensée. Survol avec Jean-Claude Pont, professeur d'histoire et philosophie des sciences

«*L'esprit humain est absurde par ce qu'il cherche, il est grand par ce qu'il trouve*», écrivait Paul Valéry. Voilà une maxime qui résume bien l'histoire de notre relation à l'Univers et en particulier au ciel. En tournant son nez vers l'immensité céleste, l'homme a bien sûr acquis de précieuses connaissances lui permettant de se diriger en mer, d'anticiper les changements de saison ou de fixer le temps des semailles. Mais il s'est aussi engagé dans une série de questionnements qui l'ont incité à bousculer continuellement les dogmes du moment et à repousser toujours plus loin les limites de ses connaissances. Illustration de l'étonnante adéquation de l'esprit humain à son environnement, cette lente et difficile

conquête a ses héros. Rappel avec Jean-Claude Pont, titulaire de la chaire d'histoire et philosophie des sciences à l'Université de Genève.

Si les contemporains d'Astérix redoutent continuellement que le ciel ne leur tombe sur la tête, c'est parce qu'ils savent que là-haut, tout n'est pas calme et tranquille. C'est d'ailleurs ce qui pose problème. Pour les civilisations antiques, le ciel est en effet le lieu de la permanence et de l'éternité par excellence. Demeure de toutes sortes d'animaux fantastiques et de héros légendaires dictant le destin de l'humanité, il



HD168443d, vu ici depuis un hypothétique satellite couvert d'eau, est le plus gros compagnon d'une étoile qui en compte au moins deux. Sa masse considérable – entre 17 et 40 fois celle de Jupiter – est susceptible de provoquer un réchauffement de ses lunes par effet de marée. La conséquence en serait une éventuelle fonte des glaces.

symbolise l'harmonie de la création, tout élément discordant étant interprété comme un message, généralement funeste, adressé à l'humanité. Or, les Grecs sont conscients du fait qu'il existe des corps célestes dont les mouvements sont irréguliers. Ils ont identifié Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne, toutes visibles à l'œil nu, mais s'interrogent sur la réelle nature de ces «astres errants» qui viennent troubler l'ordre des choses.

Astronome issu de l'école d'Alexandrie, Ptolémée apporte une première réponse au début de l'ère chrétienne.

Selon lui, comme pour Aristote, la Terre est immobile, au centre de neuf sphères concentriques portant les planètes, les étoiles étant fixées sur la sphère la plus éloignée. Pour expliquer le mouvement des planètes, Ptolémée imagine un système de trajectoires circulaires et uniformes qui a l'avantage de «sauver les phénomènes», selon l'heureuse formule des Grecs anciens. Il faudra près de quinze siècles pour faire mieux.

En moins de cent ans, cependant, le bel édifice s'écroule sous les coups de buttoir successifs de Copernic, Galilée et Kepler. En 1543, l'astronome polonais →

ouvre une énorme brèche en publiant *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, ouvrage dans lequel il présente son système héliocentrique. Pour Copernic, ce sont les planètes qui tournent autour du Soleil et non le contraire, la Terre opérant une rotation quotidienne sur son axe, tandis qu'il lui faut une année pour faire le tour du Soleil.

La fin d'un monde parfait

Partisans de ce point de vue, Kepler puis Galilée s'efforceront d'élargir encore cette profonde blessure narcissique qui oblige l'homme à céder sa place au centre d'un Univers supposé parfait. Énoncées entre 1609 et 1619, les trois lois fondamentales de Kepler rendent définitivement caduque la théorie de Ptolémée. Convaincu, par une observation assidue de Mars, que le mouvement circulaire des planètes n'est pas compatible avec les faits, le disciple de Tycho Brahé introduit l'idée d'orbites elliptiques qui ouvre la voie à l'astronomie moderne. *«Cette série de découvertes marque une étape capitale dans l'histoire de la pensée, qui voit une vue de l'esprit tenue pour le fond de la raison céder devant la résistance du réel, explique Jean-Claude Pont. Elle prouve que la réalité est têtue et qu'il est impossible de lui imposer nos imaginations.»*

Capable de décrire de façon exacte et cohérente le mouvement des corps célestes grâce aux travaux de Kepler, la science franchit un pas de géant avec Newton. En 1687, la découverte du principe de la gravitation universelle donne à l'homme le moyen de déterminer la masse et le mouvement des astres, mais aussi d'établir la première vraie prédiction non triviale dans l'histoire de la pensée.

La minute du doute

«La première grande application de la loi de Newton, c'est l'anticipation du retour de la comète de Halley pour l'année 1758, complète Jean-Claude Pont. L'exactitude de cette prédiction démontre que la marche de la nature obéit à des lois physiques et que ces lois peuvent être décrites par des équations. C'est un triomphe pour l'esprit humain, une avancée qui va donner à la science une bonne part de l'aura qui sera la sienne par la suite.»

Il y a de quoi. Après avoir tenté durant des siècles de prédire l'avenir à partir de

la forme des nuages, des entrailles de poulet ou du vol des oiseaux, l'homme peut en effet pour la première fois déterminer l'existence d'un corps céleste qu'il n'a jamais vu. Urbain Leverrier en fait la démonstration en 1846, avec la découverte de Neptune. Depuis que William Herschel a mis en évidence l'existence d'Uranus, le 13 mars 1781, cette dernière semble s'efforcer de démentir les lois de l'astronomie et de la physique en entrant dans le champ des télescopes qui la traquent avec une

qu'on baptise d'abord la Troublante d'Uranus. Pour confirmer l'existence de cet astre *«découvert au fond d'un encier»*, il prie un confrère allemand d'orienter sa lunette vers un point précis en lui assurant qu'il y verra apparaître une planète inconnue. A l'heure dite, par 21 h 46 m d'ascension droite, 23 degrés 24 m de déclinaison, au beau milieu du Capricorne, Neptune est fidèle au rendez-vous.

Astronome amateur âgé d'à peine 23 ans, l'Américain Clyde W. Tombaugh



Cet énorme nuage de gaz et de poussière est appelé la nébuleuse du Cône. La radiation de très jeunes et très chaudes étoiles situées derrière le sommet du pilier a érodé la nébuleuse depuis des millions d'années. Avec le temps, seules les régions les plus denses persisteront et donneront naissance à des étoiles et des planètes.

seconde d'avance ou de retard sur l'horaire prévu. Le doute s'installe: la loi de la gravitation serait-elle prise en défaut à de si grandes distances? Non, répond Leverrier. Après de longs et complexes calculs, il affirme que cette anomalie est due à la proximité d'une autre planète,

complète le tableau en identifiant la lointaine Pluton un jour de février 1930. La boucle est désormais bouclée, laissant à l'homme un rêve, celui de parvenir à dépasser un jour les frontières du système solaire. Un défi qui fut relevé une nuit d'automne de 1995... ■

Là où se cache la vie

La chasse aux planètes extrasolaires cache une quête plus profonde, celle de l'origine de la vie. Quelles sont les conditions nécessaires à son apparition? Petit tour dans le monde des incertitudes avec le professeur André Maeder

Le véritable moteur de la chasse aux planètes extrasolaires, c'est bien sûr la recherche de la vie extraterrestre. Mieux, il s'agit d'une de ces quêtes en apparence présomptueuses dont les scientifiques ont le secret: l'origine de la vie (et pourquoi pas, puisque les physiciens des particules se piquent bien d'étudier le commencement de l'Univers). L'ambition est d'ailleurs clairement affichée par les grandes agences spatiales, à l'image de la NASA et de son programme d'observation astronomique Origins dont l'objectif est de tenter de répondre à deux questions fondamentales: «D'où venons-nous?» et «Sommes-nous seuls?»

de coin, il en existe forcément, et en grand nombre.

«La Voie lactée compte environ 200 milliards d'étoiles, explique André Maeder, professeur à l'Observatoire astronomique de l'Université de Genève. On estime aussi que des planètes sont présentes autour de l'écrasante majorité de ces astres. Ainsi, même si l'on considère que la probabilité que la vie apparaisse soit très faible, un nombre énorme multiplié par un tout petit, cela peut toujours donner un résultat très appréciable.»

Mais combien exactement? «On n'en sait rien, réplique André Maeder. Toutefois, nous avons trouvé un moyen d'organiser notre ignorance. L'"équation de Drake", élaborée dans les années 1960, distingue et met bout à bout toutes les incertitudes qu'il faut encore lever avant de pouvoir calculer combien il existerait dans notre galaxie non pas de simples manifestations de la vie mais carrément de civilisations extraterrestres capables et désireuses de communiquer avec nous.» L'équation compte sept termes dont cinq sont encore

que la vie, où qu'elle soit, est toujours basée sur le carbone. C'est l'un des éléments les plus sociables du tableau périodique, à partir duquel sont fabriquées toutes les molécules organiques. La chimie du carbone impose néanmoins des conditions précises en ce qui concerne la température ainsi que la présence de gaz et de liquide sur la planète hôte. Celle-ci doit notamment posséder une atmosphère et être suffisamment massive pour la garder – Mars, trop légère, a ainsi vu une grande partie de son air s'échapper dans l'espace. A l'inverse, Vénus, plus proche du Soleil, s'est constitué une atmosphère si dense qu'elle souffre d'un effet de serre catastrophique qui fait monter la température de surface à plus de 500°C.

«On voit bien que l'on évolue dans un équilibre instable, note André Maeder. Les trois sœurs jumelles que sont Mars, la Terre et Vénus ont certainement profité en gros des mêmes conditions de départ, mais de légères différences ont suffi pour qu'elles suivent des destins incroyablement divergents.»

Ni trop loin, ni trop proche

Les planètes, pour être viables, doivent également se trouver dans une «écosphère», ni trop loin, ni trop proche de leur étoile, pour que les conditions d'ensoleillement et de température permettent la présence d'eau liquide. Une grande quantité de systèmes planétaires sont dès lors écartés en raison de leur configuration. Il y a peu de chances, par exemple, que les étoiles doubles possèdent de bons candidats. Les trop grosses et les trop petites ne font pas l'affaire non plus. Les premières ne vivent pas assez longtemps, moins d'un milliard d'années, pour →

«On estime que des planètes sont présentes autour de l'écrasante majorité des étoiles»

L'idée de départ est que la vie, loin d'être unique, est un phénomène relativement courant – ou plutôt non exceptionnel – dans l'Univers et même dans notre Voie lactée. Cette affirmation s'appuie sur le fait que les lois de la physique et de la chimie sont les mêmes partout. Il suffit donc qu'il existe un coin de l'espace où les conditions sont similaires à celles qui prévalent actuellement sur Terre pour que la vie ait une chance non nulle d'éclore. Et ce genre

totallement inconnus. Seuls les deux premiers semblent être à la portée des scientifiques dans un avenir assez proche: le nombre d'étoiles en formation par année dans la Voie lactée et la fraction de ces étoiles possédant des planètes. Mais le troisième – le nombre moyen de planètes par étoile potentiellement propices à la vie – est déjà nettement plus problématique.

Limités à ce qui existe sur Terre, les scientifiques sont obligés d'imaginer



L'équation de Drake

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_i \times f_c \times L$$

N est le nombre de civilisations extraterrestres dans notre galaxie avec lesquelles nous pourrions entrer en contact.

R^* est le nombre d'étoiles en formation par an dans notre galaxie.

f_p est la fraction de ces étoiles possédant des planètes.

n_e est le nombre moyen de planètes par étoile potentiellement propices à la vie.

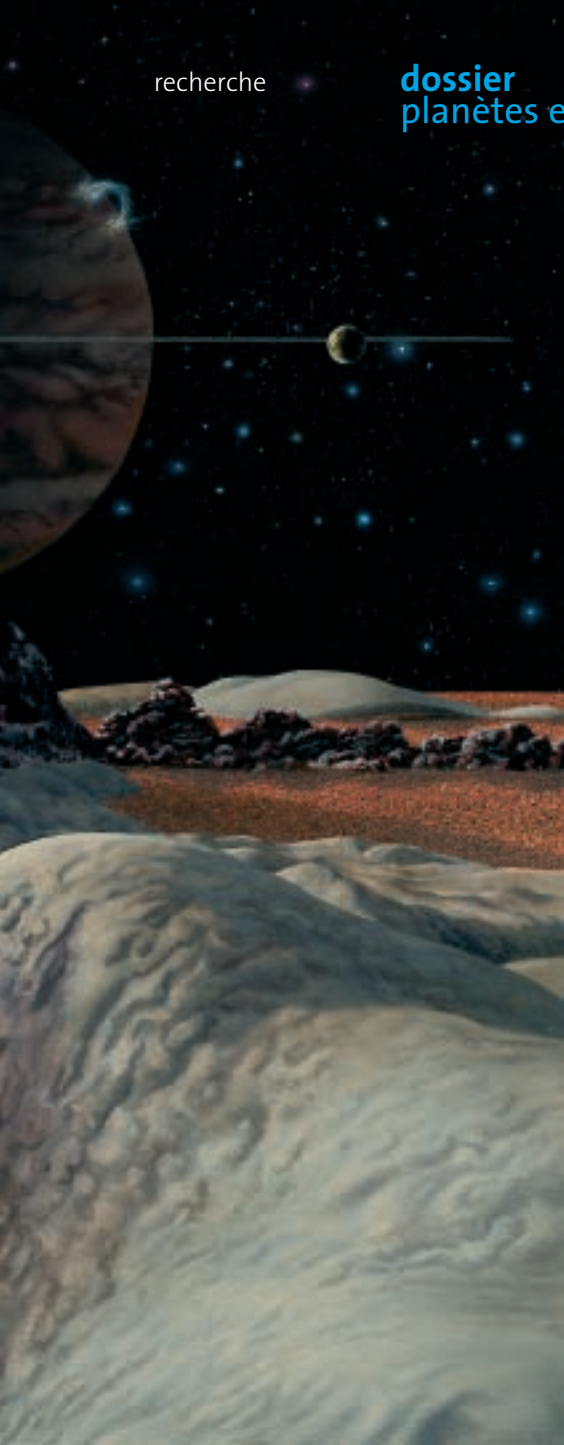
f_i est la fraction de ces planètes sur lesquelles la vie apparaît effectivement.

f_i est la fraction de ces planètes sur lesquelles apparaît une vie intelligente.

f_c est la fraction de ces planètes capables et désireuses de communiquer.

L est la durée de vie moyenne d'une civilisation.

Une autre vue de HD168443d (voir page 21), imaginée ici avec un anneau comme Saturne. L'étoile hôte est visible en haut à gauche, accompagnée de sa seconde planète, beaucoup plus proche. Elle est éloignée de 123 années-lumière, dans la constellation du Serpent.



cessus de la vie démarre. Le mystère de la première molécule capable de se répliquer elle-même, puis celle qui parvient à se protéger par une membrane et former le premier «organisme» est encore pratiquement entier. Tout au plus peut-on citer l'expérience réalisée par Stanley Miller en 1953. Ce jeune chimiste américain a placé dans un ballon expérimental des ingrédients de base que sont la vapeur d'eau, le méthane et l'ammoniac et a soumis l'ensemble à des rayons ultraviolets et des décharges électriques, censés mimer les conditions climatiques des premiers âges. Après une semaine, en analysant le contenu du ballon, il a découvert que des centaines de corps chimiques s'étaient formés, dont des acides aminés, les premières briques nécessaires, mais pas suffisantes, à l'apparition de la vie.

Un phénomène pas si rare

Quelles sont les chances que ces éléments poursuivent leur évolution et se mettent à se reproduire, à se protéger et à transmettre ces informations

aux générations futures? Une fois de plus, le seul exemple à disposition des chercheurs est celui de la Terre. Il fournit néanmoins quelques informations intéressantes. Tout d'abord, les bactéries semblent être apparues très tôt, quelques centaines de millions d'années après la naissance de la Terre (il y a 4,6 milliards d'années). Une donnée à prendre avec prudence, toutefois. *«On ne peut en tirer aucune loi, ni probabilité, estime pour sa part Michel Mayor, co-découvreur de la première planète extrasolaire. On peut juste admettre que ce phénomène n'est peut-être pas si rare que cela.»* Les formes de vie plus élaborées, quant à elles, ont mis beaucoup plus de temps pour démarrer sur Terre. Les premières plantes et animaux aérobies, en

effet, ne voient le jour, à en croire les archives fossiles, qu'il y a 500 millions d'années. Cet événement est donc nettement moins probable.

Sans même parler de l'émergence d'une vie intelligente. D'ailleurs, si l'ensemble des conditions étaient remplies pour qu'une civilisation extraterrestre apparaisse et développe des moyens de communication capables de traverser l'espace, il persisterait encore la plus grande incertitude concernant sa durée de vie. *«La probabilité que l'on découvre une telle société change du tout au tout si celle-ci survit deux siècles ou deux millions d'années, souligne André Maeder. De tous les facteurs de l'équation de Drake, celui-là est le plus incertain.»*

S'il existait 20 millions de civilisations dans la Voie lactée, la plus proche serait à 100 années-lumière de nous

De toute façon, en admettant qu'il existe dans la Voie lactée, disons, 20 millions de civilisations capables de communiquer avec nous, elles se trouveront à une distance moyenne de 100 années-lumière les unes des autres. Sachant que pour atteindre l'étoile la plus proche, située à 4 années-lumière, avec une fusée de type Saturne (celle des missions Apollo), il nous faudrait 200 000 ans, on se rend compte dans quelle solitude évoluent la Terre et l'espèce humaine. *«Et combien grande est notre responsabilité de conserver notre planète dans le meilleur état possible, conclut André Maeder. Parce que nous n'aurons jamais l'occasion d'aller en conquérir une autre aussi belle.»* ■

permettre à la vie d'apparaître. L'écosphère des secondes, peu brillantes, est trop proche, là où les effets de marée très puissants arrêtent la rotation de l'éventuelle planète sur elle-même. Cette dernière ne présente alors à l'astre du jour plus qu'une seule face qui finit par griller – l'autre gelant dans une nuit éternelle. *«Même si l'on élimine 95% des étoiles de la Voie lactée, il restera toujours des centaines de millions de candidats potentiels»,* glisse André Maeder.

Si l'on admet qu'il existe des planètes de la bonne taille au bon endroit autour de bonnes étoiles, encore faut-il que le pro-

Les récentes découvertes de l'astronomie heurtent de plein fouet la vision du monde défendue par la plupart des grandes religions. Pour autant, la possibilité d'une vie ailleurs que sur Terre n'est pas totalement incompatible avec la foi

Et Dieu dans tout ça?

Valladolid, printemps 1550. L'ensemble de la chrétienté a les yeux tournés vers la capitale du Royaume d'Espagne. L'enjeu, il est vrai, est de taille puisque les protagonistes du débat qui s'y tient – Bartholomé de Las Casas et Gines des Sepulveda – doivent trancher une question cruciale pour les siècles à venir: les Indiens d'Amérique appartiennent-ils ou non à l'espèce humaine, autrement dit sont-ils des créatures de Dieu? Et si tel est le cas, pourquoi celui-ci ne s'est-il pas révélé à eux?

Avec cinq siècles de recul, le monde pourrait aujourd'hui se trouver dans une position tout à fait comparable. Il suffit pour cela d'admettre, à l'instar d'un nombre toujours croissant de scientifiques, qu'il existe de fortes probabilités pour qu'une autre forme de vie se soit développée autour de l'une ou l'autre des quelque 200 milliards d'étoiles qui peuplent notre galaxie. Et pourquoi pas une forme d'intelligence qui pourrait être comparable à celle de l'être humain? Face à une telle nouvelle, quelle serait alors notre réaction? Éléments de réponse avec Pierre-Yves Brandt, psychologue des religions au sein de la Faculté autonome de théologie protestante.

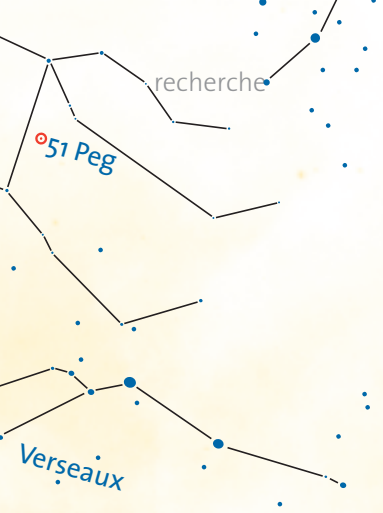
Le fils préféré

«Si la preuve devait être faite un jour qu'il existe effectivement une autre forme de vie et s'il se trouve que celle-ci connaît un degré de développement comparable au nôtre, nous serions, à peu de chose près, dans la même situation que les Européens du début du XVI^e siècle, explique le chercheur. Alors que l'homme se pensait jusque-là unique, il faudrait soudain trouver le moyen de faire avec d'autres. A n'en pas



douter, le choc sera énorme et je pense que nous n'y sommes pas mieux préparés que ne l'étaient les conquérants de l'Amérique. Culturellement, l'homme dispose peut-être aujourd'hui d'un bagage supplémentaire, mais sur le plan des comportements, je ne crois pas à l'idée d'une évolution. Chaque génération doit refaire le chemin.»

La présence de vie ailleurs que sur Terre impliquerait tout d'abord une remise en cause fondamentale de l'image de l'humanité que les civilisations judéo-chrétiennes ont véhiculée des siècles durant. L'idée que l'homme est la création privilégiée de Dieu et son principal centre d'attention s'accorde en



cer. Les thèses sur la supériorité de la race blanche, l'esclavage ou le colonialisme ont montré de façon très explicite à quel point il est difficile de placer celui que l'on considère comme "l'autre" sur un plan d'égalité.» A l'image de ce qui se passe dans beaucoup de familles lors de la naissance d'un cadet, il s'agirait donc d'accepter la présence du nouveau venu et de déterminer si, à défaut d'être l'enfant unique, l'homme peut revendiquer le titre de fils préféré.

Les questions demeurent

Source de querelles et de disputes qui s'annoncent acharnées, un tel bouleversement idéologique ne reviendrait pourtant pas automatiquement à nier l'existence de Dieu. «Les religions sont nées du besoin de repères communs qu'éprouve toute société humaine, explique Pierre-Yves Brandt. C'est un moyen de penser le monde sur le plan métaphorique et de tenter de

l'ordre du pensable. Même si l'Univers est sans fin, donc sans limites spatiales, l'esprit humain reste capable d'imaginer un «ailleurs» qui abriterait un Dieu extérieur à la création. «Ce que nous percevons du monde peut-être décrit et conceptualisé, comme le font les scientifiques, parce que c'est de l'ordre du relatif, ajoute le chercheur genevois. Dieu, lui, renvoie au contraire à l'absolu, ce qui le relie à une toute autre dimension de la pensée.»

Retour de foi

Enfin, la possibilité d'une vie extraterrestre n'est pas complètement étrangère aux Ecritures. Dans le monde judéo-chrétien notamment, de nombreux textes sacrés font en effet intervenir anges, démons et créatures diverses. «La prédilection pour ces êtres intermédiaires rejoint le besoin de réduire la distance avec le monde céleste, notamment lors des périodes de crise de sens, lorsque Dieu sem-

blait lointain, voire inaccessible, complète Pierre-Yves Brandt. Dans la littérature de science-fiction, les êtres extraterrestres remplissent d'ailleurs souvent une fonction similaire.»

Dès lors, il n'est pas totalement exclu qu'une découverte aussi déstabilisante que celle d'une autre forme de vie conduise certains individus à se tourner vers la religion, ne serait-ce que par besoin de se raccrocher à quelque chose. Par un curieux paradoxe, les

«Le choc sera énorme et je pense que nous n'y sommes pas mieux préparés que ne l'étaient les conquérants de l'Amérique»

donner un sens à sa marche. Si la science peut contribuer à démontrer qu'une grille de lecture construite à une certaine époque en fonction d'une certaine représentation du monde est dépassée, elle reste par contre impuissante à offrir des réponses aux grandes questions existentielles que se pose l'humanité depuis la nuit des temps et qui, par conséquent, demeurent.»

Le fait religieux dispose par ailleurs d'une particularité qui devrait contribuer à assurer sa pérennité pour quelque temps encore. Le point commun de toute expérience faisant appel à la foi est en effet d'impliquer une forme de relation avec un «au-delà», soit une dimension qui échappe à ce qui est de

Eglises, qui pourraient par ce biais retrouver une partie du rôle de garant de la cohésion sociale qui était le leur autrefois, sortiraient donc gagnantes de l'aventure. L'hypothèse ne paraît pas totalement farfelue lorsqu'on songe au retour en grâce du fait religieux dont témoignent la montée de l'islamisme ou les récents succès des Journées mondiales de la jeunesse. ■

Référence pour les vues d'artiste parues dans ce dossier: «Infinite Worlds: An Illustrated Voyage to Planets Beyond Our Sun», par Ray Villard et Lynette R. Cook, University of California Press, www.ucpress.edu/books/pages/9815.html

La nébuleuse Trou de serrure présente des nuages de gaz et de poussière en mouvement chaotique. Des zones plus sombres pourraient être des régions d'effondrement, d'où naîtraient des étoiles et des planètes.



effet assez mal avec la présence, même potentielle, d'un rival. «La conviction que nous sommes au centre de quelque chose est très profondément ancrée dans notre culture et plus généralement dans l'humain, explique Pierre-Yves Brandt. C'est une construction psychologique qui induit des réflexes auxquels il est très difficile de renon-