

Michel Mayor : En quête d'autres Terres

La découverte de près de quatre-vingts planètes extrasolaires a créé bien des surprises et fortement bousculé la théorie expliquant la formation des planètes. Un retour sur l'histoire de cette découverte montre que « souvent, ce qui est empêche de penser à ce qui pourrait être ».

Michel Mayor, directeur de l'Observatoire de Genève, est le premier astronome à avoir démontré l'existence d'une planète près d'une autre étoile que la nôtre : 51 Peg b. C'était en 1995 (I,II). Il a reçu en 2000 le prix Balzan pour « l'instrumentation et les techniques en astronomie et en astrophysique ».

La Recherche : Comment fait-on pour détecter une planète qui se trouve à des milliers d'années-lumière ?

Michel Mayor : Les étoiles qui possèdent une planète voient leur mouvement perturbé. Elles « tanguent » sous l'effet de l'attraction de la planète, et ce d'autant plus que la planète est proche et massive. Exactement comme un lanceur de poids qui oscille sous l'effet de la masse qu'il fait tourner. Nous sommes capables de détecter des planètes en observant de minuscules variations périodiques dans la vitesse des étoiles, vitesse mesurée grâce à des spectrographes de très haute précision.

Quand vos observations ont révélé quelque chose d'anormal autour de l'étoile 51 Pegasi, quelle a été votre première réaction ?

On a cru à un problème instrumental. Le spectrographe était neuf et pouvait présenter des maladies de jeunesse. Mais comme les autres étoiles observées se sont montrées parfaitement sages, il a bien fallu prendre au sérieux les sautes d'humeur de 51 Peg (c'est son petit nom). Alors, on a fait toutes sortes d'hypothèses : l'étoile était peut-être en train de pulser, ou bien son atmosphère présentait de larges taches... Mais nos tests ont éliminé ces possibilités une par une. A la fin, il ne restait plus qu'une seule explication : un corps en rotation autour de l'étoile. Nous avons soumis un article à la revue *Nature* et avons parallèlement annoncé la découverte lors d'un congrès à Florence. C'était un peu notre examen de passage. Il y avait dans la salle tous les cerveaux susceptibles de penser aux explications physiques qui auraient pu nous échapper. Finalement, il n'y a pas eu d'objection vraiment sérieuse, mais la surprise était énorme.

Les astronomes ne s'attendaient donc pas à voir surgir des planètes extrasolaires ?

Si, au contraire, tout le monde était persuadé qu'elles existaient et on les recherchait depuis longtemps. Mais la planète que nous apportions était vraiment très particulière. Ce corps d'une masse d'un demi Jupiter (deux cent fois la Terre) tourne en quatre jours autour de son étoile. C'était mille fois plus rapide que ce qu'on attendait ! Par conséquent, elle se trouve fort proche de son étoile (un vingtième de la distance Terre-Soleil), et sa température atteint mille degrés. Personne ne comprenait comment une telle planète était possible.

D'autres équipes étaient parties bien avant vous. Comment expliquer votre succès ?

C'est la conséquence de différences dans les stratégies de recherche. Les précurseurs sont les Canadiens Gordon Walker et Bruce Campbell, qui ont commencé environ vingt ans avant nous. Ils sont partis d'un *a priori* sur la fréquence des planètes géantes qui s'est révélé faux. Ils pensaient qu'il devait y en avoir partout, autour de chaque étoile. Ce n'était pas du tout déraisonnable, puisque le Soleil, étoile quelconque, en possède quatre. Ils ont donc décidé de suivre un petit nombre d'étoiles. Malheureusement pour eux, les planètes massives sont en réalité très rares. Dans leur échantillon de vingt étoiles, il n'y en avait aucune qui en possédait.

Cela veut dire que si votre planète avait fait partie de leur échantillon, ils l'auraient détectée ?

Pas nécessairement ! Car ils avaient fait une deuxième hypothèse qui les en aurait empêchés. Ils pensaient que les planètes géantes auraient à coup sûr des périodes de plus de dix ans, ce qui encore une fois était parfaitement sensé, et ils ont pris trois ou quatre mesures par an. Impossible, dans ces conditions, de détecter un phénomène qui se produit sur une période de quatre jours. Vous voyez combien la stratégie d'observation est importante. Vous pouvez très bien observer la bonne cible et ne rien remarquer, simplement parce que vous n'observez pas avec le bon rythme.

Mais vous avez aussi devancé une équipe américaine. Pour les mêmes raisons ?

Non. Le groupe de Geoffrey Marcy et de Paul Butler démarre ses travaux en 1988, avec un échantillon de soixante-cinq étoiles, car ils savent déjà, grâce aux Canadiens, que les grosses planètes ne sont pas si fréquentes. Après quelques années, ils analysent vingt-cinq étoiles, et ils ne trouvent rien. Ils se disent alors qu'il vaut mieux améliorer la précision de leur instrument plutôt que de perdre leur temps à analyser la suite des données. Là encore, ce n'est pas de chance, parce que dans les quarante étoiles restantes se cachaient trois planètes. C'est uniquement quand nous avons annoncé 51 Peg b* qu'ils ont lancé l'analyse systématique de leurs anciennes mesures. Tout de suite ils ont trouvé 47 Ursae Major b et 70 Virginis b qui sont deux objets très faciles à détecter : avec de longues périodes (1000 jours et 117 jours) et une grande amplitude dans la variation. Vraiment des planètes qui sautaient aux yeux !

Peut-on dire qu'ils avaient détecté ces planètes avant que vous ne trouviez 51 Peg b ?

Ils les avaient observées. Pas détectées. Il y a loin entre les photons que récolte un télescope et les résultats qu'on en tire. Des heures de traitements et de calculs, parfois longuement retardés, parfois même abandonnés. De manière générale, il y a toujours un délai entre observation et analyse, durant lequel la découverte reste latente dans un fichier. Quant à l'étoile 51 Peg, elle ne faisait pas partie de leur échantillon. Mais même s'ils l'avaient suivie, ils n'auraient rien vu, car ils cherchaient eux aussi des périodes de plusieurs années.

Comment se fait-il alors que vous ayez pu détecter une variation de l'ordre de quatre jours ?

Notre stratégie de recherche était différente. Nous ne nous intéressions pas seulement aux planètes extrasolaires, mais aussi aux naines brunes. Ce sont des étoiles « ratées », des objets qui se forment comme une étoile mais qui sont trop peu massifs pour déclencher des réactions nucléaires dans leur cœur. On connaît très mal ces objets, mais on sait qu'ils accompagnent parfois une étoile. Les deux corps tournent l'un autour de l'autre avec une période qui peut être très courte. Donc, nous avons opté pour une stratégie de mesures fréquentes. De plus, nous avons choisi un échantillon de cent quarante étoiles, car nous supposons que les naines brunes étaient rares. De cette façon, 51 Peg a été repérée au bout de quelques jours à peine. Si nous avions recherché uniquement des planètes, nous aurions certainement procédé autrement et serions passés à côté. Comme quoi, il est parfois bon de courir deux lièvres à la fois ! Il y a un facteur chance qui a joué pour nous. Dans toute cette aventure, on ne peut pas dire qu'un groupe soit meilleur que l'autre. Chaque stratégie était parfaitement raisonnable en soi, une seule fut gagnante.

Venons-en à la deuxième surprise : 51-Peg b était presque collée à son Soleil. Comment l'expliquer ? Elle ne pouvait pas s'être formée à cet endroit ?

Non, en aucun cas. D'après la théorie dominante, pour fabriquer une planète géante, vous devez agglutiner une grande quantité de grains de glace et de poussière, former une boule de neige sale de l'ordre de dix masses terrestres, et puis seulement vous pourrez capturer du gaz en masse, par attraction gravitationnelle. Tout cela nécessite de se trouver dans les régions éloignées de l'étoile, là où la matière est suffisamment abondante et la température suffisamment basse. C'est-à-dire dans la partie extérieure du disque d'accrétion.

Qu'est-ce que le disque d'accrétion ?

Vous savez que les étoiles se forment par fragmentation et effondrement d'un nuage interstellaire. Au cours de cet effondrement, une partie de la matière présente forme l'étoile, et le reste s'aplatit en disque autour d'elle. Ce disque est la matrice d'où sortiront les futures planètes. Mais dans sa région intérieure, tout près de l'étoile, il n'y a pas beaucoup de matière, et certainement pas de glace, donc il est impossible de former une planète géante.

Mais alors, d'où vient 51 Peg b ?

C'était bien là notre problème à tous. Il fallait soit admettre que nous n'avions rien compris à la formation des planètes et abandonner nos théories pour tout reprendre de zéro, soit imaginer que cette planète avait changé d'orbite, venant des confins du disque pour se rapprocher de l'étoile. La communauté scientifique a plutôt opté pour cette deuxième possibilité, si acrobatique soit-elle.

Les astronomes ont préféré « rafistoler » la théorie en vigueur plutôt que la remplacer ?

Oui, c'est bien cela. Il est toujours très coûteux de jeter tout ce qui a été fait, et en général on s'y refuse jusqu'à la dernière extrémité. Encore qu'il y ait actuellement des chercheurs qui remettent en question des choses fondamentales. Ils suggèrent que ces planètes géantes ne se sont pas du tout formées comme on l'imagine (par agglomération de grains de poussière et de glace), mais au contraire selon un mécanisme analogue à celui qui forme les étoiles. Le disque d'origine pourrait se fragmenter et s'effondrer « par paquets » pour former

des objets de plusieurs fois la masse de Jupiter autour de la jeune étoile. Ceci se déroulerait en un laps de temps très court, alors que la théorie classique exige des millions d'années pour former une planète géante.

Pensez-vous que la théorie selon laquelle les planètes ont pu se former en un temps très court va l'emporter ?

Le débat fait rage, mais je pencherais plutôt pour une évolution de la théorie classique, non pour une révolution. Il faut reconnaître qu'il s'est passé beaucoup de choses durant ces six dernières années. En 1995, nous n'avions que la science-fiction pour nous parler des nouveaux mondes. Aujourd'hui, nous avons près de quatre-vingts planètes extrasolaires à ausculter, dont sept systèmes à plusieurs planètes. Et rien ne correspond à ce que l'on était en droit d'attendre. On croyait que les planètes géantes auraient des périodes de plus de dix ans, et l'on en trouve beaucoup qui font en trois à cinq jours le tour de leur étoile ! On attendait des masses inférieures à Jupiter, et on en trouve qui pèsent dix fois Jupiter ! On attendait des orbites circulaires et on trouve des orbites allongées. Tous ces faits nous forcent à réfléchir, à rediscuter les mécanismes de la formation des systèmes planétaires, et du nôtre en particulier. Donc la théorie évolue beaucoup, c'est vrai, elle est même menacée, mais on n'a pas encore la preuve absolue qu'il faille l'abandonner entièrement. Avec l'idée de la migration, il est possible que l'on puisse la sauver dans ses fondements.

D'où vient cette idée de la migration des planètes ?

Le plus surprenant, c'est qu'elle n'est pas vraiment nouvelle. En 1980, un article de Peter Goldreich et Scott Tremaine affirmait que Jupiter n'était pas né là où nous le voyons aujourd'hui. Ces dynamiciens éminents ont étudié ce qui arrivait à un objet massif plongé dans un disque. Ils ont constaté que l'objet va perturber le disque, qui en retour va perturber l'objet et lui imprimer une orbite spirale. Tout doucement, la planète s'approche de l'étoile centrale. Au bout de quelques millions d'années, le disque disparaît, en partie évaporé, en partie absorbé par l'étoile, et la migration s'arrête. Ce qu'il faut bien voir, c'est qu'il ne s'agit pas ici d'une hypothèse. Les seules lois mises en jeu sont celles de la mécanique newtonienne. Donc les choses se passent réellement ainsi. Dès lors qu'il y a un disque, et un objet massif dans ce disque, l'objet va migrer.

Ces travaux sur la migration sont donc restés inexploités pendant quinze ans ?

Ils sont en effet restés inutilisés jusqu'à l'annonce de 51 Peg b. Peut-être parce qu'on n'en avait pas vraiment besoin. Que Jupiter se soit formé très loin ou un peu moins loin, il s'est de toute façon arrêté à distance respectable. Donc personne n'avait été jusqu'à se demander ce qui se passerait si une migration continuait beaucoup plus longtemps. Et c'est vraiment regrettable, car si on l'avait fait, on aurait pu prédire des planètes comme 51 Peg b et les découvrir bien plus tôt. Tous les ingrédients étaient là, mais personne n'a pensé à les chatouiller assez longtemps. Comme souvent, *ce qui est* empêche de penser à *ce qui pourrait être*. C'est seulement sous la pression de la nécessité, quand on a découvert 51 Peg b, et d'autres planètes très similaires par la suite, que l'on s'est souvenu de ces travaux fondateurs qui pouvaient éventuellement expliquer les positions incroyables de ces objets. Et alors l'écueil a été le suivant : comment expliquer l'endroit où les planètes s'arrêtent, leur orbite de parking ? 51 Peg b aurait parcouru 99% de la distance qui la sépare de son étoile avant de s'arrêter net. C'est un peu bizarre. Et il y a déjà treize cas répertoriés de planètes qui gravitent ainsi au raz de leur étoile. Cela semble écarter l'hypothèse du hasard. Un peu comme si des gens aux yeux bandés marchaient vers un précipice, partant de cent mètres, et que systématiquement ils s'arrêtaient un mètre avant de tomber. Il doit y avoir une explication, mais personne n'est capable de la donner avec certitude.

Une planète peut-elle s'écraser sur son étoile ?

C'est une possibilité. Certains pensent que nous avons « perdu » pas mal de planètes. Mais ne croyez pas qu'elles s'écrasent. Le processus est beaucoup plus progressif. A partir d'un certain moment dans la migration de la planète, les atomes qui se trouvent dans les couches supérieures de son atmosphère sont attirés autant par l'étoile que par la planète. Ils hésitent. Quand la planète se rapproche encore un peu, ils n'hésitent plus et tombent sur l'étoile. Donc, la planète se vide lentement sur l'étoile, atome par atome. Actuellement, il y a des travaux qui cherchent à détecter ce genre de phénomène. Au début de cette année, une équipe a trouvé du lithium 6 dans l'atmosphère d'une étoile. Or, c'est un isotope fragile qui ne résiste pas aux températures élevées. Donc il y a dû y avoir un apport récent de lithium 6 sur cette étoile, et la meilleure hypothèse serait l'absorption d'une planète. Mais il reste à expliquer pourquoi 51 Peg b et ses consœurs se sont arrêtées à temps.

Que sait-on aujourd'hui de la fréquence des planètes ?

Au stade actuel, il faut être extrêmement prudent. Notre vision est complètement biaisée par la technique d'observation, qui favorise la détection des planètes massives et très proches de leur étoile. On peut avancer

qu'à peu près 5% des étoiles possèdent des planètes de ce type-là (plus lourdes qu'un demi-Jupiter et de période plus courte qu'un an). Pour les planètes nettement plus légères ou plus lentes, on ne peut donner aucun chiffre, car elles n'ont pas encore été détectées. Mais on a toutes les raisons de croire qu'elles sont fréquentes. Personnellement, je serais tenté de penser que presque toutes les étoiles ont des planètes. Le télescope spatial *Hubble* a récemment observé les étoiles très jeunes qui viennent de naître dans la nébuleuse d'Orion. Plus de la moitié sont entourées de disques. Or la physique est la même là-bas qu'ici. Donc, des planètes vont se former. Mais quelles planètes ? Pas nécessairement des planètes géantes, car il faut des conditions particulières. Certains disques sont peut-être trop petits ou trop éphémères pour pouvoir en former. Si le disque se résorbe assez rapidement, on aura des planètes de type Neptune, la Terre, ou même Pluton – et tout cela nous sommes incapables de le détecter.

Pourquoi ne peut-on aujourd'hui détecter des planètes du type de la Terre ?

Parce que nos instruments ne sont pas assez précis pour détecter une variation aussi infime dans la vitesse des étoiles. Il faut savoir que la Terre imprime au mouvement du Soleil une variation de l'ordre de dix centimètres par seconde, tandis que Jupiter lui imprime un mouvement de treize mètres par seconde. L'instrument grâce auquel nous avons détecté 51 Peg b avait une précision de quinze mètres par secondes, il n'aurait donc même pas pu détecter Jupiter. Mais les performances s'améliorent sans cesse. Avec le spectrographe Harps qui sera prochainement mis en activité au Chili, on atteindra un mètre par seconde, c'est-à-dire qu'on se rapproche réellement du niveau de performance qui permettra de détecter une Terre.

Qu'en est-il de la possibilité de détecter de la vie sur les nouvelles planètes ?

Toutes les planètes découvertes jusqu'ici sont de très mauvaises candidates pour la recherche de la vie. Ce sont des géantes gazeuses, généralement très chaudes. Rien de bien accueillant. Mais il ne fait aucun doute que les planètes telluriques existent. Il y en a sans doute des millions rien que dans notre galaxie. Bien sûr, on est totalement incapable d'évaluer la probabilité que la vie s'y développe. Nous n'avons qu'un seul exemple à notre disposition, ce qui interdit de faire des statistiques. Néanmoins, on observe que la Terre existe depuis 4,6 milliards d'années et que les premiers fossiles connus remontent à près de quatre milliards d'années. La vie s'est installée dès que les conditions le permettaient, c'est-à-dire dès la fin du bombardement météoritique. Ce n'est en aucun cas une preuve, mais peut-être une indication que la vie s'installe facilement (III, IV).

Que pensez-vous de l'expérience SETI, consistant à écouter les signaux radio en provenance de l'Univers ?

Il n'y a rien de scientifiquement fondé qu'on puisse dire au sujet des chances de réussite de l'expérience SETI. Mais il est vrai que des gens se sentent suffisamment motivés pour consacrer leur vie à développer l'instrumentation adéquate. Et il s'agit de grands scientifiques. Ils construisent des récepteurs incroyablement sensibles et complexes pour analyser des millions de fréquences en parallèle. Ce sont de vrais professionnels. Simplement, leur démarche n'est pas fondée sur un argument de raison mais sur une conviction intime. Ils font un pari. Et finalement, je crois que beaucoup de progrès se sont produits comme ça. De plus, leur enthousiasme est partagé par des dizaines de milliers de gens qui versent de l'argent ou qui mettent leur ordinateur à disposition pour que le programme continue. Les gens sont passionnés par cette question éternelle : « Sommes-nous seuls dans l'Univers ? », et pour la première fois ils peuvent faire quelque chose de concret pour aider à y répondre (V). Cela dit, si comme je le pense la vie existe en de nombreux exemplaires dans l'Univers, c'est probablement surtout dans ses formes les plus élémentaires. Une vie intelligente avec laquelle on pourrait discuter, je n'y crois pas vraiment. Il y en a peut-être, mais pas nécessairement à portée de communication.

Propos recueillis par Elisa Brune

* Par convention, les planètes extrasolaires sont baptisées du nom de leur étoile accompagné de la lettre b (c s'il s'agit d'une deuxième planète, etc.)

La Recherche a publié

Dossier « Les Nouvelles planètes », septembre 1996 .

Enfin un autre système solaire, juin 1999

Origine de la vie : 100 000 milliards de scénarios, mars 1997

Origines de la vie : Trois chimistes et un biologiste racontent, novembre 2000.

La vie ailleurs, mars 2001