

CES EXOPLANÈTES QUI NOUS FONT DÉPASSER NOS RÊVES

Depuis vingt-cinq ans, l'observation de l'Univers a révélé l'existence de systèmes planétaires, hors du Système solaire, d'une diversité insoupçonnée. Une aventure qu'**Anne-Marie Lagrange** nous fait partager.

Dans ses « Entretiens sur la pluralité des mondes » (1686), Fontenelle faisait dire à sa marquise : « Notre Soleil a des planètes qu'il éclaire, pourquoi chaque étoile fixe n'en aura-t-elle pas qu'elle éclairera ? » Cette question est restée sans réponse jusqu'aux années 1990. Bien des étapes ont dû être franchies pour que la question pût être enfin abordée de manière scientifique, parmi lesquelles : la révolution copernicienne, mettant fin à la vision du monde développée par Ptolémée (90-168), dans laquelle la Terre serait au centre du monde et tous les astres tourneraient autour de

notre planète (1) ; l'établissement des lois décrivant le mouvement des planètes autour du Soleil par Kepler et des lois de la mécanique classique par Newton ; la réalisation que des milliards d'étoiles plus ou moins semblables au Soleil peuplent notre Galaxie, la Voie lactée, et que des milliards d'autres galaxies peuplent l'Univers. Ainsi, il se pourrait que des milliards de planètes existent dans notre Galaxie ou dans d'autres !

Cependant, pendant des décennies, les télescopes et instruments ne furent pas assez perfectionnés pour détecter des planètes extrasolaires et démontrer ainsi leur existence. Les planètes géantes de gaz (comme Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune dans le

Système solaire) et, a fortiori, les « petites » planètes telluriques (comme Mercure, Vénus, la Terre, Mars) restaient hors de portée de l'observation. Et les astronomes n'envisageaient pas vraiment l'existence de planètes aux propriétés très différentes de celles que nous connaissons autour du Soleil.

C'est dans les années 1980-1990 que les choses commencent à bouger : un petit satellite, Iras, met en évidence la présence de disques de poussière autour de quelques étoiles proches, et dans un cas, celui de l'étoile Beta Pictoris, des images au sol permettent de visualiser cette poussière sous la forme d'un disque entourant l'étoile. Ce disque fut rapidement associé à la formation planétaire, mais sans que l'on pût savoir si des planètes étaient en train de s'y former ou bien étaient déjà formées. Peu de temps après, des exocomètes en chute vers l'étoile étaient mises en évidence par une équipe française. Cette découverte fut accueillie avec un certain scepticisme jusqu'à ce qu'un tel phénomène soit observé autour du Soleil, quelques années plus tard, par le satellite Soho.

SCRUTER LE PULSAR...

En 1992, des planètes sont mises en évidence autour d'un pulsar, résidu de l'explosion d'une étoile très massive en fin de vie (supernova). Cette découverte eut toutefois un retentissement limité. L'existence de planètes autour d'un pulsar n'était pas attendue : comment et quand se seraient-elles formées ? À cette époque, les astronomes chercheurs d'exoplanètes se focalisaient sur des étoiles semblables au Soleil, à des

TRIBUNE

Dans le cadre de notre partenariat avec l'Académie des sciences, des académiciens nous montrent comment des théories, des résultats ou des applications peuvent dépasser ce qui avait été imaginé par les chercheurs... ouvrant ainsi de nouvelles et insoupçonnables perspectives.



PROFIL

Astrophysicienne, membre de l'Académie des sciences, **Anne-Marie Lagrange** est directrice de recherche CNRS à l'Institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble. Pionnière de la recherche et de l'étude des systèmes planétaires extrasolaires et des avancées technologiques qui les permettent, elle est à l'origine de découvertes décisives, comme la première observation directe d'une exoplanète.

âges comparables. Ils cherchaient des analogues à Jupiter, la planète la plus massive du Système solaire, et dont ils pensaient que c'était la plus facile à détecter...

En 1995, une géante de gaz à peine moins massive que Jupiter est découverte par deux astronomes suisses à l'Observatoire de Haute-Provence autour d'une étoile semblable au Soleil, 51 Pégase. Cette planète, nommée 51 Pégase b, surprend car elle tourne cent fois plus près de son étoile que Jupiter du Soleil. Personne à l'époque ne pensait trouver des planètes géantes aussi près de leur étoile ! En effet, il n'y a pas assez de matière à de telles distances pour qu'une planète géante puisse se former in situ. À moins de supposer que des planètes formées plus loin auraient, par un processus à déterminer, changé d'orbite, des géantes ne devaient pas se trouver aussi près de leur étoile (on pense maintenant qu'en effet des planètes formées loin de leur étoile peuvent, par interaction avec le disque dans lequel elles se sont formées, migrer et s'approcher de leur étoile).

En 1995, une géante à peine moins massive que Jupiter est découverte autour d'une étoile semblable au Soleil. Mais elle tourne cent fois plus près de son étoile que Jupiter du Soleil ! Personne ne pensait trouver une telle configuration !

Pendant un temps, l'existence de cette planète autour de 51 Pégase sera remise en question : les observations pourraient-elles être dues à un « bruit » lié à l'étoile plutôt qu'à une planète ? Des observations complémentaires viendront rapidement montrer que tel n'est pas le cas et la découverte de la planète 51 Pégase b marquera le début d'une discipline nouvelle : l'exoplanétologie.

Une formidable chasse aux exoplanètes a été lancée, qui se poursuit encore aujourd'hui. De nouveaux télescopes au sol ou dans l'espace, équipés d'instruments dédiés, cherchent et étudient des exoplanètes, dans le but d'explorer la diversité des systèmes planétaires, de comprendre leur mode de formation et de trouver peut-être des signatures de vie hors de notre Système solaire.

PREUVES INDIRECTES

Pour détecter 51 Pégase b et la plupart des 4 000 exoplanètes connues aujourd'hui, les astronomes ont utilisé des techniques dites indirectes, dans lesquelles on ne cherche pas à voir la planète elle-même, mais à détecter d'infimes effets qu'elles produisent sur leur étoile mère. On observe donc l'étoile pour trouver des planètes, en exploitant des lois bien connues de la physique : les lois de Kepler ou l'effet Doppler, ou encore l'effet de lentilles gravitationnelles prédites par la relativité générale d'Einstein.

Il faudra attendre 2005 pour que les premiers objets de masse planétaires soient imagés – par une équipe française – tant l'observation directe des planètes pose de défis techniques. Il faut en effet, d'une part, combattre les effets de la turbulence de l'atmosphère de la Terre qui « floute » les images au foyer du télescope, et, d'autre part, « éteindre » la lumière des étoiles, qui cache celle, bien plus ténue, des planètes. Aujourd'hui encore, on ne possède des images que de quelques planètes extrasolaires. Ces images apportent en revanche des informations uniques sur les propriétés des planètes.

Les équipes françaises ont été les premières à concevoir et développer des systèmes capables d'analyser et de corriger en temps réel des perturbations atmosphériques grâce à des systèmes d'« optique adaptative ». Les images obtenues avec les télescopes au sol étaient ainsi presque parfaites ! Aujourd'hui, tous les télescopes au monde sont équipés de tels systèmes et ils bénéficient souvent des compétences d'anciens étudiants formés en France. On notera que des systèmes d'optique adaptative sont développés actuellement à des fins d'analyses et d'interventions médicales. Encore un bel exemple de cas où la recherche fondamentale mène à des applications inattendues, au bénéfice direct de chacun...)))

Quelque 4 000 exoplanètes ont été identifiées à ce jour. Des planètes dont, souvent, aucun équivalent n'existe dans le Système solaire: des telluriques bien plus massives que la Terre; des géantes bien plus massives que Jupiter; des planètes-océans, etc.

» Les quelque 4 000 exoplanètes identifiées à ce jour révèlent une très grande – et inattendue – diversité des systèmes planétaires, en particulier de leur architecture. Contrairement au cas du Système solaire, certaines exoplanètes géantes évoluent très près de leur étoile, d'autres très loin; certaines évoluent sur des orbites très inclinées. De fait, aucun des systèmes détectés à ce jour ne ressemble au Système solaire – ceci constitue d'ailleurs une chance puisque les techniques dont on dispose aujourd'hui ne permettraient pas de détecter un analogue au Système solaire! On constate aussi une grande diversité dans les propriétés physiques des planètes individuelles. Ainsi, des planètes dont aucun équivalent n'existe dans le Système solaire ont été mises en évidence: des planètes telluriques bien plus massives que la Terre; des planètes géantes bien plus massives que Jupiter; des planètes-océans, etc.

L'ARCHITECTURE DU SYSTÈME SOLAIRE, UNE PARMIS D'AUTRES

Cette diversité, dont nous n'avons pas encore exploré les limites, indique que, vraisemblablement, les planètes, en particulier géantes, ne se forment pas selon un processus unique et donc identique pour toutes. Elle indique aussi qu'une fois formés, les systèmes planétaires ne restent pas figés. Ils peuvent encore évoluer – significativement – pendant les premières dizaines de millions d'années; des planètes peuvent changer d'orbite, voire migrer vers l'étoile, ou au contraire être même « éjectées » du système.

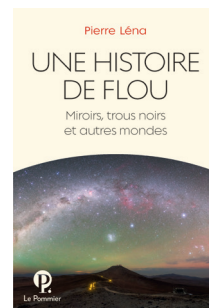
Notre vision de la formation et de l'évolution des systèmes planétaires a donc profondément évolué ces dernières années, grâce aux découvertes de systèmes exoplanétaires d'une diversité insoupçonnée il y a une ou deux décennies. Nous savons désormais que l'architecture du Système solaire n'est qu'une parmi beaucoup d'autres...

De nombreuses étapes devront être franchies, de nombreux défis technologiques devront être résolus pour explorer totalement la diversité des systèmes, pour trouver peut-être des analogues au Système solaire, et, éventuellement, des planètes jumelles de la Terre. C'est l'objectif de projets ambitieux, comme l'Extremely Large Telescope de l'Observatoire euro-

péen austral en cours de construction dans le désert d'Atacama au Chili, ou de projets spatiaux comme Plato ou Ariel de l'Agence spatiale européenne.

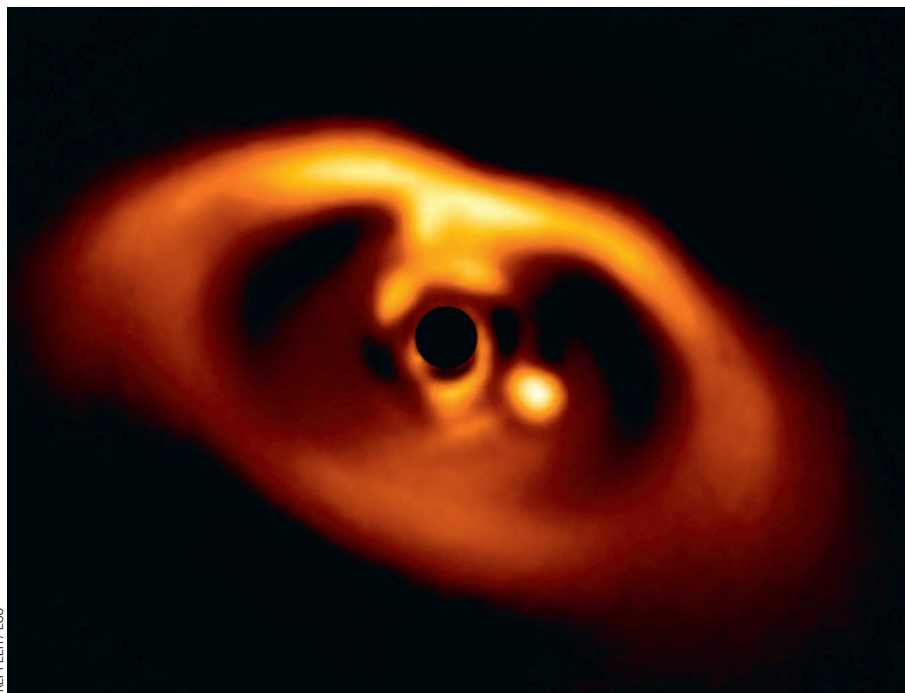
Les « jumelles » de la Terre sont les planètes sur lesquelles on aimerait chercher un jour des signatures de vie. Encore plus peut-être que pour la recherche des exoplanètes, la recherche de vie sera basée sur – et ainsi biaisée par – l'exemple de la vie sur Terre. Il est en effet très difficile de concevoir, avec une approche scientifique, des formes de vie très différentes de celles présentes ou passées que nous connaissons... ★

(1) Cette vision conférerait à notre planète un rôle tout à fait unique dans l'Univers, et il était plus difficile de penser que d'autres Terres pouvaient exister!



« Une histoire de flou. Miroirs, trous noirs et autres mondes », de Pierre Léna. Le Pommier, 2019.

« Exoplanètes ou planètes extrasolaires », d'Anne-Marie Lagrange et Pierre Léna. Encyclopédie Universalis, <https://www.universalis.fr/encyclopedie/exoplanetes-ou-planetes-extrasolaires/>



Planète en formation dans son disque protoplanétaire autour de son étoile mère. Ce n'est qu'en 2005 que les premiers objets de masse planétaire ont été imagés.