



Séance solennelle de remise des prix de l'Académie des sciences - Le 25 novembre 2014

La recherche de nouveaux mondes

Anne-Marie Lagrange, membre de l'Académie des sciences

Existe-t-il d'autres Mondes? Comment la Terre s'est-elle formée? La vie existe-t-elle ailleurs? Ces questions sont très anciennes, en lien profond avec la quête de nos origines. Pour l'astrophysicien d'aujourd'hui, la recherche d'autres Mondes a essentiellement 3 objectifs: comprendre la formation des systèmes planétaires, explorer leur diversité, et enfin, rechercher des analogues à la Terre ainsi que d'éventuels signes de vie.

Le Système solaire est, dans ce contexte un objet d'étude très précieux, car accessible à l'exploration détaillée, parfois in-situ, de ses planètes, géantes gazeuses ou telluriques, mais aussi des astéroïdes et des comètes, qui constituent les briques de base et les témoins de la formation des planètes, quelques dizaines ou centaines de millions d'années après la naissance du Soleil. Le Système Solaire a permis le développement des premières théories de formation des planètes, en particulier celle de la Nébuleuse Primitive par Laplace en 1796. Cependant, le SS ne représente qu'une configuration particulière, dans un état d'évolution donné, fabriqué à partir de conditions initiales dont on ne sait pas si elles sont génériques ou pas. Son étude ne saurait donc nous renseigner sur la diversité possible des systèmes, et de leurs processus de formation et d'évolution. Etant le seul connu, le Système Solaire a été considéré comme référence pendant de nombreuses années, ce qui a sans doute retardé un peu la première détection de planètes extrasolaires.

L'étude moderne des systèmes planétaires extrasolaires a débuté par celle des disques de poussières autour des étoiles, qu'ils soient berceaux ou au contraire résidus de la formation de planètes. Ces disques étaient en effet plus faciles à détecter que des planètes, bien que leur masse n'excédât parfois pas quelques fractions de masse terrestre. Une étape déterminante fut la mise en évidence indirecte de l'existence de ces disques par le satellite infrarouge IRAS en 1984, suivie rapidement par l'image d'un disque de poussières autour d'une étoile, beta Pictoris. A l'Institut d'Astrophysique de Paris, A. Vidal-Madjar initia l'étude de cet objet et proposa l'existence de comètes en chute sur beta Pictoris. Ce résultat suscita de la surprise, voire de l'incrédulité, jusqu'à ce que le satellite SOHO montrât que dans le système solaire aussi, des comètes "tombent" parfois sur le Soleil. J'ai eu la chance de participer à cette découverte des premières exo-comètes autour de beta Pictoris, de poursuivre à Munich, puis à Grenoble, l'étude multi-technique de ce système passionnant, devenu le fil directeur de mes recherches, ainsi que de bien d'autres systèmes planétaires extra-solaires.

La première exoplanète autour d'une étoile analogue au Soleil fut découverte par hasard dix ans plus tard, en 1995, en utilisant la méthode spectroscopique dite des vitesses



radiales ; cette méthode indirecte est basée sur l'étude des variations de vitesses des étoiles sous l'effet de planètes en orbite. La planète géante découverte, 51 Pegase b, était bien différente des géantes du Système Solaire que l'on cherchait jusqu'alors : de masse analogue à celle de Jupiter, elle orbite 100 fois plus près de son étoile que notre géante autour du Soleil. 51 Pégase b, fut le premier membre de ce que l'on appelle désormais la classe des "Jupiters chauds". Pour expliquer l'existence de ces Jupiters chauds, il fallut développer des modèles d'évolution des systèmes planétaires, introduisant en particulier les scénarios de migration des planètes par interaction entre les planètes et les disques dans lesquels elles se forment. Depuis cette découverte, près de 2000 planètes ont été détectées par des méthodes indirectes, et la diversité des architectures des systèmes planétaires n'a fait que se confirmer au fil des années. Cependant, ces méthodes présentent des limites intrinsèques qui empêchent l'exploration complète de chaque système.

L'imagerie permet *a priori* de détecter des planètes inaccessibles aux méthodes indirectes. Elle peut permettre aussi l'étude détaillée de la composition chimique des atmosphères des planètes. A condition toutefois d'être capable de détecter les faibles signaux des planètes à proximité immédiate de leurs étoiles parentes, qui sont des millions ou même des milliards de fois plus brillantes. L'imagerie dite haut-contraste et haute-résolution spatiale n'est devenue possible que lorsque les télescopes ont été équipés, à l'initiative du professeur Léna, de systèmes d'optique adaptative, qui corrigent en temps réel les déformations des fronts d'onde lumineux en provenance d'objets célestes des distorsions subies à la traversée de l'atmosphère. C'est grâce à de tels systèmes, de plus en plus performants, et couplés à des coronographes occultant la lumière des étoiles, que nous avons pu réaliser les premières images de corps de masse planétaire en orbite autour d'étoiles ou de naines brunes, et découvrir plus de la moitié des planètes imagées à ce jour. Nous avons en particulier détecté une planète géante dont nous avions prédit l'existence autour de beta Pictoris, 10 ans auparavant, à partir de la modélisation dynamique et physique de son disque de poussières. Les quelques planètes détectées en imagerie nous enseignent déjà que vraisemblablement, le mécanisme qui a formé les géantes de notre système solaire (accrétion de gaz sur un noyau central solide) n'est pas universel; d'autres mécanismes doivent aussi conduire à la formation de ces planètes (instabilité gravitationnelle dans les disques). Encore une fois, la nature se révèle plus diverse qu'attendu.

Aujourd'hui, nous n'avons sans doute appréhendé qu'une petite partie de la diversité des systèmes planétaires extrasolaires; nous ne sommes pas encore capables de détecter des analogues au système solaire ; nous ne savons donc pas, par exemple, si l'architecture du système solaire est commune ou, au contraire, rare. Seul le couplage entre méthodes indirectes et imagerie permettra d'avoir une vue globale de ces systèmes. Les années et les décennies à venir vont être riches de nouvelles découvertes, grâce à des instruments aux performances décuplées sur les télescopes actuels, auxquels nous travaillons activement, et grâce aux nouveaux télescopes comme le Télescope Spatial GAIA, le Télescope Spatial James Web, ou le futur « Extremely Large Telescope » européen. La diversité des



processus de formation et d'évolution des planètes géantes mise en évidence au cours des deux dernières décades nous engage à envisager aussi une diversité des caractéristiques des planètes telluriques et sans doute aussi des formes de vie possibles, ce qui va rendre la recherche de signes de vie extraterrestre très délicate.

La recherche des systèmes planétaires est un domaine neuf, qui s'est construit au cours des 30 dernières années. J'ai la chance de participer à cette construction, avec mes étudiants, mes collègues chercheurs, ingénieurs et techniciens. C'est un domaine à l'interface entre la physique, la chimie, le traitement du signal, les développements informatiques, les développements technologiques de pointe. C'est aussi une magnifique illustration de la complémentarité, du continuum en fait, entre recherche fondamentale et recherche appliquée. C'est enfin un précieux moyen de partage des connaissances, des espoirs et du rêve avec nos concitoyens.

Je vous remercie de votre attention.

Anne-Marie Lagrange