

Partie III - Des instruments qui cherchent la vie ailleurs

Les instruments de détection des planètes

Pas facile de scruter le ciel à la recherche d'autres mondes.

Imaginez-vous au sommet d'une colline, la nuit. Vous apercevez une ville au loin, à l'horizon. Ses contours sont flous mais vous distinguez plusieurs sources de lumières, qui sont en fait les réverbères, enseignes de magasins et autres fenêtres éclairées. Maintenant, imaginez que votre but est de détecter la présence d'une petite luciole autour d'un de ses réverbères. Impossible ? Pour vos yeux, très probablement (sinon il faudrait penser à mettre vos talents à profit !). Mais c'est ce genre de prouesses que les appareils « chasseurs d'exoplanètes » réalisent tous les jours !

Tout d'abord, il faut savoir qu'on ne « voit » pas les exoplanètes. On détecte leur présence. Et même moins que cela : au départ, toute découverte est d'abord la *supposition* de la présence d'une planète. Ensuite, il faut confirmer cette présence, c'est-à-dire être certain que ce qu'on a détecté, c'est bien une planète tournant autour d'une étoile. Ensuite, il faut essayer d'avoir, si planète il y a, des informations sur sa taille, et son orbite autour de l'étoile... Pour savoir de quel type de planète il s'agit.

La méthode des « vitesses radiales »

C'est la toute première méthode qui a été employée.

Grâce à celle-ci, Michel Mayor et Didier Queloz, des chercheurs de l'observatoire de Genève qui sont les pionniers en la matière, ont découvert en 1995 la planète 51 Pegasus B, qui tourne autour de l'étoile 51 Pegasus. On remarquera que l'étoile s'appelle comme la constellation dont elle fait partie (Pégase), et que la planète s'appelle comme l'étoile autour de laquelle elle tourne, c'est tout de même plus simple. Cette planète est toutefois aussi appelée Dimidium (nom trouvé à l'issue d'un concours) ou bien encore Bellérophon (le héros de la mythologie grecque qui a dompté le cheval ailé pégase, nous y revoilà).

Comment procède-t-on pour trouver des planètes grâce à cette méthode ? Le but est de réussir à savoir si quelque chose orbite autour de l'étoile, en regardant... L'étoile !

Il est beaucoup plus facile d'observer l'étoile que ce qu'il est à côté d'elle, puisque l'étoile agit comme un phare, et que les objets situés tout près comme les planètes, n'émettent que très peu de lumière en comparaison.

L'équipe de scientifique de l'Observatoire de Genève se creusa la tête pour savoir si un effet de la présence d'une planète ne pouvait pas être détecté d'une façon ou d'une autre sur l'étoile, et si cet effet éventuel était mesurable... Bien leur en a pris !

En effet, c'est la gravité qui permet à une planète de tourner autour de son étoile. En réalité, les deux objets s'attirent mutuellement, et c'est parce que la planète a une certaine vitesse sur son orbite (et ce, depuis sa formation) qu'elle peut rester à distance de son soleil. Si une planète venait à ralentir, elle tomberait en spirale sur l'étoile autour de laquelle elle tourne. Idem pour un satellite naturel autour de sa planète (voir encadré).

Mais comme l'interaction est mutuelle, la planète a un effet, tout petit certes (vraiment tout petit !), mais un effet quand même, sur son étoile. Celle-ci tourne autour d'un point. Reste à savoir comment détecter ce mouvement. On utilise la spectroscopie (voir encadré). En mesurant les petites variations dans le spectre de la lumière de l'étoile (pour faire court, si vous n'avez pas envie de lire l'encadré... La lumière de l'étoile est un mélange de pas mal de « couleurs » différentes, et la composition change en fonction du mouvement que l'étoile effectue), on réussit à savoir si l'étoile a un mouvement circulaire. On ne détecte par directement ce mouvement, mais une variation de la vitesse radiale de l'étoile, d'où le nom de la méthode.

La mesure permet de savoir (pas tellement) rapidement si une planète tourne autour de l'étoile visée. Et si on effectue un suivi de l'étoile avec ce type de méthode (cela signifie effectuer plusieurs mesures, et ici plusieurs veut dire beaucoup !), alors on peut avoir des informations précises sur la planète : masse, orbite suivie... Sans même avoir vu la planète, on sait exactement comment elle bouge !

Cette méthode est en béton... Mais elle est coûteuse en temps, aussi bien sur une mesure que parce qu'il en faut plusieurs.

En revanche, l'avantage, c'est qu'elle a pu être mise en œuvre sur des télescopes au sol, ce qui est moins compliqué que de devoir envoyer un instrument dans l'espace. Ensuite, elle permet d'obtenir des détections avérées, et d'ailleurs cette méthode est toujours utilisée pour « confirmer » le caractère planétaire de certaines candidates. De plus, bien qu'au départ elle ait permis de détecter plutôt de grosses planètes (la première, 51 Pegasus b, pèse moitié moins que Jupiter), aujourd'hui les spectromètres utilisés sont bien plus performants, et détectent des planètes plus petites.

Citons l'instrument HARPS (High Accuracy Radial velocity Planet Searcher, le « chercheur de planètes grâce à des mesures précises de vitesses radiales »), un spectromètre installé « sur » un télescope de 3,6m de diamètre à La Silla, au Chili (site de l'ESA, agence spatiale européenne), et SOPHIE (Spectrographe pour l'Observation des Phénomènes des Intérieurs stellaires et des Exoplanètes), un autre instrument du même type, qui lui est en place sur un télescope de 1,93m de diamètre à l'observatoire de Haute Provence. Dans les deux cas, l'équipe qui maintient et utilise ces instruments est celle de l'Observatoire de Genève, avec des collaborations françaises.

La variation de luminosité : méthode du transit

La dernière méthode en date utilisée à grande échelle. C'est celle qui a valu sa renommée au « chasseur de planètes » spatial Képler.

Pour faire simple, voilà en quoi consiste la méthode. Vous pointez un télescope sur une étoile. Et puis, comme vous avez un joli ordinateur qui va avec, vous pouvez mesurer la quantité de lumière reçue en provenance de cette étoile. Maintenant, pensez à une éclipse de soleil. Lorsque la Lune passe entre nous et le Soleil, la luminosité baisse. Suivant la surface du Soleil que la Lune cache, la baisse peut être significative.

Si une planète passe devant son étoile, parce qu'elle parcourt justement ce morceau de son orbite, pendant que vous « regardez » cette étoile, la quantité de lumière reçue de celle-ci va diminuer. Plus la planète est grosse, plus la baisse est grande. En mesurant la quantité de lumière reçue de façon continue, on peut repérer ces chutes de luminosité. Et si chute il y a, on a détecté une « candidate ». Cela signifie qu'une planète est peut-être responsable de ce phénomène. En effet, d'autres mécanismes physiques peuvent expliquer une telle baisse. Il faut donc confirmer la découverte par un autre moyen. On peut, soit utiliser un suivi spectroscopique, soit raffiner la méthode du transit. Pour ce faire, on continue à observer l'étoile sur laquelle on a observé la baisse de luminosité.

Si la même baisse se reproduit à intervalle réguliers, et avec la même durée, alors on a trouvé une planète. On appelle cela la méthode de la « variation de transit » (variation de durée ou bien d'intensité).

Bref, un « trou » dans la luminosité, vous avez une « candidate », des baisses régulières et identiques : vous avez trouvé une planète « confirmée ».

Cette méthode a un (gros) défaut. Imaginez que vous voyez le système autrement que par la tranche. Sous un « mauvais » angle, sous lequel la planète passe « autour » de l'étoile plutôt qu'entre vous et l'étoile. Dans ce cas, il n'y aura pas d'occultation (pas d'éclipse) et donc pas de détection possible, puisqu'aucune variation de luminosité. On peut estimer la probabilité pour une planète de passer « devant » l'étoile et donc de produire un transit. Si la taille de l'étoile est noté a , et la distance entre l'étoile et la planète notée d , la probabilité d'observer un transit est de $d/(2*a)$. Pour la Terre, la probabilité est de 0,47% et pour Vénus, de 0,65%. On estime que la méthode des transits permet de détecter 1% des planètes seulement.

Mais il y a plus : ces 1% de systèmes ne sont détectés que si on a pointé l'instrument sur eux au moment du transit. Pour être sûr de le faire, il faut donc réaliser des suivi très longs sur des étoiles. En effet, prenez une planète comme la Terre. Elle met un an pour faire le tour du Soleil. Cela signifie que pour un observateur situé sous un « bon » angle pour observer un transit de la Terre devant le Soleil, ce transit n'a lieu que tous les 365 jours... Alors imaginez si la planète met plusieurs années, voire plusieurs dizaines, à faire le tour de son étoile... Bien sûr, tout cela est affaire de statistique, on ne va pas tomber à côté à chaque fois ni devoir attendre forcément quinze ans pour voir un transit. Mais on ne peut pas non plus se contenter d'observer quelques jours. C'est pour cette raison que les programmes comme Kepler (voir encadré) sont nés sur l'observation systématique d'étoiles pendant un temps long, et donc ne peuvent s'occuper que d'un nombre d'étoiles limité.

Toutefois, ce type de limitation signifie aussi que les instruments de détection basés sur ce principe ne peuvent donc pas voir toutes les exoplanètes, loin de là... Et pourtant ils en découvrent par milliers !

Une preuve supplémentaire de l'abondance de mondes dans notre galaxie.

Il existe d'autres méthodes utilisées ou envisagées pour détecter les exoplanètes, comme la détection de microlentille gravitationnelle. Mais dans la mesure où ces méthodes sont pour l'instant marginales (seulement quelques planètes détectées par microlentilles), on ne s'y attardera pas ici.

Les radiotélescopes

Moins présents dans les médias ces dernières années, les radiotélescopes sont pourtant les premiers instruments que des équipes de recherche entières ont voués à la recherche de la vie ailleurs.

Le principe est le suivant, tout bête : si une vie émerge quelque part, et qu'elle acquiert un certain niveau technologique, elle va forcément se mettre à communiquer, et à émettre toutes sortes de signaux en direction de l'espace.

Il « suffit » donc de bien écouter... Et on trouvera bien quelque chose.

Il est vrai que les humains envoient des signaux radio dans l'espace depuis un bon bout de temps déjà, puisque les premiers signaux sans fil date de la fin du dix-neuvième siècle.

Les signaux radio ne sont pas, loin de là, l'apanage des êtres conscients. En fait, la plupart des objets de l'Univers émettent des ondes radio. Et c'est pourquoi ces antennes géantes ont pu être construites : bien des phénomènes peuvent être largement étudiés grâce à ces ondes lumineuses. En effet, les signaux radio sont émis par les molécules qui ont reçue de l'énergie quand elles retournent à un état de calme. Et même si chaque molécule émet très peu, on peut détecter un signal émis par de grandes quantités de molécules, comme dans un nuage de gaz et de poussières dans l'espace.

Les signaux de ce type étant d'un niveau faible, il s'agit un peu d'entendre un chuchotement dans une pièce bondée. Il faut donc des instruments très particuliers. Les diamètres impressionnants de ces antennes leur permet de capter beaucoup de lumière, donc beaucoup de signal. Comme si vous aviez une énorme oreille dans la pièce un peu trop peuplée. Mais le problème est ensuite de réussir à entendre ce que vous voulez, pas les conversations mais ce chuchotement qui vous intéresse. En physique, on parle de « bruit » pour tous les signaux indésirables qui entoure un signal à transmettre ou à recevoir. Il faut donc pouvoir enregistrer le signal... Mais sans le bruit ambiant.

Pour ce faire, les antennes radio doivent avoir un maillage spécifique en fonction de l'onde qu'elles veulent capter. De quoi s'agit-il ?

Les ondes radio ont des fréquences faibles (entre quelques hertz et 300 gigahertz), ce qui veut dire des longueurs d'ondes élevées (entre un millimètres et 100 000 kilomètres), bien plus élevées que celles des ondes auxquelles votre œil est sensible. La fréquence, c'est un nombre qui décrit la « vitesse » à laquelle l'onde vibre. La longueur d'onde, c'est un nombre qui décrit la « taille » de cette vibration. Et pour détecter une onde, quelle qu'elle soit, il faut adapter l'instrument à la « taille » de cette onde. On ne peut pas attraper une mouche avec une raquette de tennis...

C'est la même chose pour les ondes. C'est même très comparable : les radiotélescopes sont de gigantesques antennes faites d'une sorte de filet métallique. Etant donné que les mailles de ce filet doivent être grosses pour attraper les « bonnes ondes » (et pas les autres, pour ne pas avoir trop de bruit), et qu'il aussi faut récupérer de grandes quantités de lumière, il faut d'énormes télescopes. Et même de gigantesques télescopes. Le plus célèbres et pendant très longtemps, le plus grand d'entre eux est celui d'Arecibo, à Porto Rico. Il mesure plus de 300m de diamètre, et il est niché dans une cavité naturelle due à un effondrement local du sol. Mais il est aujourd'hui supplanté par le télescope FAST (Five hundred meters Aperture Spherical Telescope) en construction en Chine, dont le diamètre sera de cinq cent mètres.

Toutefois, il est évidemment très difficile de construire des télescopes de taille toujours plus impressionnante. C'est vrai pour les radiotélescopes aussi bien que pour les télescopes « classiques ». Dans les deux cas, une solution pour contourner ce problème est l'interférométrie. Il s'agit d'obtenir avec plusieurs télescopes moyens l'équivalent d'un télescope beaucoup plus grand que tout ce qu'on pourrait construire. Cela passe par la recombinaison en un seul signal, de plusieurs signaux reçus de télescopes différents. Le VLT (Very Large Telescope, autrement dit le « très grand télescope, si ça ce n'est pas clair !) est formé de quatre télescope classique de chacun 8,20 mètres de diamètres. Ces télescopes peuvent être utilisés séparément (ils sont d'une taille plutôt honorable) ou bien en mode interféromètre, donnant aux astronomes accès à une puissance de détection (on parle de résolution) très élevée. Ces instruments sont situés à Paranal, au Chili, en plein désert. Il s'agit là encore d'un site de l'ESA. Des astronomes de toutes nationalités utilisent ces instruments pour des projets très variés, de la cosmologie à l'étude des planètes extrasolaires.

En radioastronomie, il y a (au moins) deux équivalents, qui répondent aux jolis noms de VLA (Very Large Array, ce qui signifie très grande surface) et VLBA (Very Long Baseline Array, ce qui signifie surface à très grande base). Ce sont tous les deux des projets américains. Le premier est constitué de 27 antennes orientables et mobiles, ayant chacune un diamètre de vingt-cinq mètres, et qui sont répartie sur une zone dont la largeur est d'une vingtaine de kilomètres. La résolution obtenue par cette combinaison d'antennes est équivalente à celle qu'on obtiendrait avec une seule antenne de 36 kilomètres de diamètre.

Pour le VLBA, le projet est encore plus vaste. Plus on éloigne les antennes les unes des autres, plus on peu accéder à une résolution importante. L'idéal est donc de réussir à placer des antennes sur des continents différents. Encore faut-il avoir des sites qui s'y prêtent, loin de toute pollution électromagnétique, et pouvoir correctement recombinaison les signaux détectés. Les antennes du VLBA sont situées des Iles vierges aux îles d'Hawaï. Au nombre de dix, et mesurant chacune 25m de diamètres, elles sont donc séparées de distances allant jusqu'à plusieurs milliers de kilomètres ! Les signaux reçus sont enregistrés puis transmis au site de recombinaison, à Socorro, au Nouveau Mexique, où on obtient ainsi le signal « final ».

Ces radiotélescopes ont déjà donnés des résultats impressionnants dans tous les domaines de l'astrophysique. Et de grands projets sont en cours, comme l'antenne géante chinoise FAST citée plus haut, ou bien encore le ngVLA (new generation Very Large Array, le télescope de très grande surface de nouvelle génération) développé par les Etats-Unis ou bien encore le projet russe RadioAstron, qui utilise un télescope spatial en orbite elliptique autour de la Terre, qui est utilisé en interférométrie avec des instruments situés au sol. Placer des antennes simplement sur plusieurs continents différents, ce n'était pas tout à fait assez ambitieux...

Si elle ne nous a pas encore donné à entendre des signaux venus d'un autre monde, elle a permis bien des découvertes concernat l'Univers, et continue de donner des résultats de première importance. Autant dire que la radioastronomie a de beaux jours devant elle...

La prochaine étape : voir des exoplanètes ?

Comme évoqué au début de cet article, voir une exoplanète s'apparente à observer un tout petit point lumineux situé à côté d'un phare, et très très loin de nous. Il faut se rendre compte que les exoplanètes les plus proches détectées sont à plus de 10 années-lumière de chez nous, et la moyenne à plusieurs centaines ! Pour l'instant, si nous savons que ces mondes existent avec certitude, nous n'en possédons pas vraiment d'images. Cela laisse le champ libre pour de magnifiques vues d'artistes (voir la partie 2), mais c'est tout de même plutôt frustrant. Si on souhaite obtenir de véritables informations sur ces planètes, il faudra bien réussir à les regarder réellement. Il n'y a que comme cela que nous saurons si elle possèdent une atmosphère, si celle-ci a une composition intéressante... Nous en sommes pour l'instant bien loin.

Pour l'instant, que fait-on et avec quels résultats ? Les images de planètes qui ont été réalisées ont utilisé l'une des deux techniques suivantes :

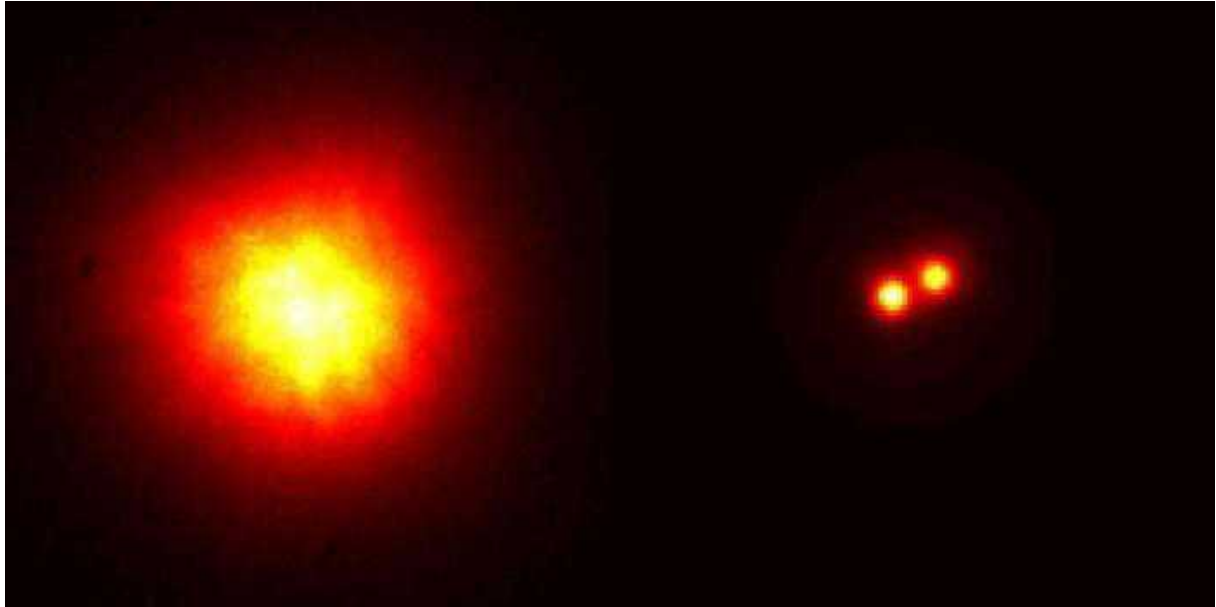
- la coronographie : cela consiste à masquer (littéralement) la source de lumière la plus intense, dans le cas qui nous préoccupe, celle de l'étoile autour de laquelle la planète tourne. En diminuant la quantité de lumière reçue de la part de l'astre, on peut mieux distinguer les sources de lumières plus faibles qui sont à côté. Vous faites de la coronographie sans le savoir (enfin presque) lorsque vous mettez votre main devant le soleil pour mieux regarder un détail du paysage. Cela peut paraître très mécanique et un peu grossier, mais cette méthode donne de très bons résultats. Elle est d'ailleurs aussi utilisée pour étudier ce qui se passe à la surface de notre soleil, par exemple pour scruter les protubérances solaires.
- L'extinction interférométrique. On l'a évoqué plus haut, lorsqu'on utilise l'interférométrie, on reçoit plusieurs signaux qu'on recombine ensuite. Pour cela, on utilise des ordinateurs qui vont « calculer » le signal final. Mais on peut recombinaison des signaux *après* avoir procédé à des modifications sur eux. Le principe de cette « extinction » comme son nom l'indique, est de réduire à presque rien le signal provenant de l'étoile de manière artificielle, comme si on effectuait une soustraction sur cette lumière. De cette façon, le signal le plus intense n'est plus reçu de l'étoile, mais de ce qu'il y a autour.

Grâce ces deux techniques, de jolies images de systèmes planétaires ont été prises. Mais il y a deux bémols. Tout d'abord, on ne peut « attraper » de cette façon que des grosses planètes, plus grosses que Jupiter elle-même, et surtout beaucoup plus jeunes, ce qui permet qu'elles soient encore très lumineuses. Pas question encore d'obtenir une image des planètes habitables dont on rêve. De plus, il est hors de question de viser des planètes trop lointaines. Quelques dizaines d'années-lumière

tout au plus... C'est énorme, mais ce n'est rien en comparaison des centaines voire des milliers d'années-lumière de distance pour certaines exoplanètes découvertes.

Les défis à relever pour le futur sont incroyables. La lumière émise par la Terre est cinq milliards de fois moins élevée que celle du soleil. Cela donne une idée de la quantité de lumière qu'il faut isoler du reste du signal. Le contraste est tel qu'il est extrêmement difficile de repérer la lumière issue de la planète, de la « sélectionner » et de l'étudier. Par ailleurs, si on se place à une distance de 30 années-lumière, ce qui n'est pas beaucoup à l'échelle de la galaxie, la distance apparente entre notre Soleil et notre planète est de 0,1 seconde d'arc. Soit 0,00027 degrés. Prenez deux objets distants de un mètre, mais à pratiquement 90 kilomètres de vous. Pourriez-vous les distinguer ? Ajoutez, à cette difficulté géométrique le contraste de luminosité (un feu de la saint-jean et une luciole placée à côté), qu'obtenez-vous ? Quelque chose qui paraît impossible. Mais vous connaissez sans doute l'adage : « Tout le monde savait que c'était impossible. Il est arrivé quelqu'un qui ne le savait pas, et qui l'a fait ». Les astronomes sont confrontés en permanence à des difficultés « insolubles » qu'il faut pourtant réussir à contourner. Certes, on n'a pas encore atteint le degré de technologie qui permettra de distinguer la Terre à côté du Soleil à 30 années-lumière de distance. Mais les progrès qui ont déjà été réalisés en quelques années sont convaincants, et nombre de projets sont prêts à être lancés ou bien en phase de conception.

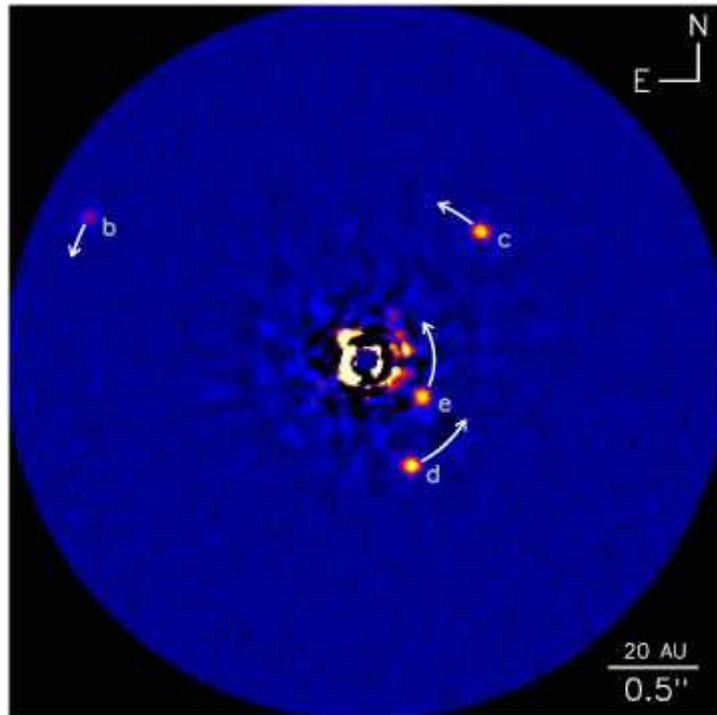
La technique qui a permis des prouesses ces dernières années est l'optique adaptative. Et il faut bien dire que c'est de la belle ouvrage. Lorsqu'on observe des objets célestes, leur lumière a traversé toutes sortes de choses avant d'arriver jusqu'à nous. La chose la plus embêtante de toutes étant l'atmosphère. Or, on ne peut pas mettre tous les télescopes en orbite (ou sur la Lune, tiens !), le coût et les contraintes techniques sont un frein terrible. Il faut garder à l'esprit que malgré l'intérêt certain du placement d'un télescope dans l'espace, le dit télescope ne peut pas bénéficier de la même maintenance qu'un engin au sol. Ce qui tombe en panne, à de rares exceptions près, reste en panne, et l'instrument a une durée de vie finie. Il faut donc trouver des moyens pour observer efficacement avec des instruments au sol. L'atmosphère a un effet désastreux sur la lumière reçue des exoplanètes. Elle la dévie dans tous les sens, juste un tout petit peu, en fonction de l'humidité, de la température... Cela aboutit à une déformation de l'image, qui peut être catastrophique. En gros, on ne peut plus voir les détails. L'optique adaptative, cela consiste à avoir un miroir de télescope qui se déforme de façon à « redresser » l'image, un peu comme si il faisait le contraire de l'atmosphère. L'effet est impressionnant. Dans l'image ci-dessous, une étoile, photographiée avec et sans optique adaptative sur un télescope du Chili. Pas de doute, sans optique adaptative (image de gauche), c'est une étoile simple. Mais avec (image de droite), on croirait avoir enfilé une paire de super-lunette : une belle étoile double ! Oui, c'est bien le même objet.



Pour arriver à ce résultat, la technicité à déployer est élevée. Non seulement il faut prévoir de petits appareils qui vont déformer le miroir (des actuateurs) mais il faut aussi faire sans cesse une analyse rétroactive du signal, pour que le miroir soit en permanence en train de s'adapter aux conditions atmosphériques. Pour ce faire, une partie de la lumière reçue est déroutée vers des appareils d'analyse qui vont envoyer des données aux actuateurs pour les faire bouger. Tous les actuateurs bougent et réorientent le miroir en continu. Une technologie de pointe. Suivant l'instrument (traduire : suivant le budget et le but recherché), le nombre d'actuateurs, ainsi que les boucles de « feed-back » sont plus ou moins raffinés.

Il y a une version plus simple de ce type de technique, qu'on appelle l'optique active. Il s'agit d'équiper le télescope de moyens permettant de le déformer pour corriger les aberrations optiques permanentes. Mais le télescope ne s'adapte pas en temps réel, et donc il ne corrige pas les déformations dues à l'atmosphère. C'est par conséquent une version extrêmement simple de la déformation d'un miroir pour améliorer son efficacité. Mais cette technique, qui équipe un bon nombre d'instrument, améliore déjà beaucoup leur résultats.

L'optique adaptative, associée à des méthodes d'interférométrie, équipe, ou bien va équiper tous les nouveaux instruments astronomiques. Ils permettront sans doute, dans le futur, de voir enfin des mondes lointains. Elle a déjà donné des résultats...



L'image ci-dessus est celle d'un système situé à 129 années lumière de nous, tout de même. Ce système, appelé HR 8799, comprend 4 planètes qui peuvent toutes être distinguées sur l'image (les lettres a, b, c, d), et qui ont des masses comprises entre 7 et 10 fois la masse de Jupiter. L'étoile centrale pèse 1,5 fois la masse de notre Soleil. Une jolie découverte faite en 2010.

Voilà de quoi être sûr d'assister à de belles découvertes prochainement...

Encadré – Etoiles, planètes, satellites, faisons le tri !

Il est toujours bon de faire un petit point de vocabulaire, histoire d'être bien au clair sur ce dont on parle...

Une étoile, c'est un gros, très gros objet. Un objet qui a une particularité notable : il fabrique de la lumière. Toute seule comme une grande, l'étoile est capable de convertir en énergie, l'hydrogène dont elle est essentiellement constituée. Pour faire cela, il se passe en son cœur des réactions nucléaires de fusion. Cela veut dire qu'elle prend de petits atomes, et, sous une pression et une chaleur intense, les fusionne pour fabriquer des atomes plus gros. Ces réactions nucléaires libèrent d'énormes quantités d'énergie. Et on aimerait beaucoup savoir les reproduire, car il n'y a, pour procéder à ces réactions, ni éléments radioactifs (donc dangereux) au début, ni à la fin. Bien plus intéressant que nos centrales nucléaires et leur combustibles et déchets mortels. Malheureusement, maîtriser la fusion n'est encore qu'un rêve pour l'être humain.

Hormis l'hydrogène, tous les atomes autour de nous, mais aussi en nous, ont été fabriqués de cette façon par des étoiles. Oui, aussi bien le magazine que vous regardez que l'or ou les pierres précieuses que vous portez. D'où la fameuse phrase d'Hubert Reeves, astrophysicien québécois à l'accent inimitable qui a fait rêver des générations de futur mordus d'astronomie : nous sommes tous des poussières d'étoiles.

Toutes les étoiles ne se ressemblent pas. La plus grande partie d'entre elles sont petites (plus petites que notre Soleil, on les appelle des « naines M »). Mais certaines sont beaucoup, beaucoup plus massives et (ou) imposantes que lui.

Elles n'émettent pas toutes la même lumière, et leur couleur varie donc en conséquence. En étant loin de toute ville, dans l'obscurité complète, on peut, en scrutant le ciel (même à l'œil nu) repérer des étoiles plutôt bleues et d'autres, plutôt rouges. Et ce n'est pas une illusion d'optique. Cela étant, si vous voyez des points lumineux de toutes les couleurs qui clignotent et bougent, pensez plutôt à un avion...

Les étoiles n'ont pas toutes la même « vie ». Pour schématiser, plus l'étoile est massive, et plus elle brillera fort... Mais pas longtemps : elle épuisera son carburant plus vite. Les étoiles qui sont de petites loupottes tranquilles durent beaucoup plus longtemps. Par ailleurs, la « mort » d'une étoile est aussi liée à sa masse. Plus l'étoile est massive, plus la fin sera spectaculaire. Les plus grosses étoiles deviennent sur leur fin des supernovae voire des hypernovae, des explosions gigantesques dont la lumière peut être vue très loin. Les étoiles les plus massives s'effondreront ensuite en trous noirs. Ce sont des objets très exotiques, et pas encore très bien compris, qui attirent tout ce qui passe à leur portée, et d'où rien ne peut sortir, pas même la lumière.

Les étoiles les plus petites finissent leur vie en s'éteignant peu à peu, parfois avec quelques soubressauts. C'est cette catégorie qu'appartient notre Soleil. Mais pas de panique, il est encore là pour au moins quatre milliards d'années.

Une planète, c'est tout à fait différent : cela ne produit pas de lumière. Une planète peu réfléchit la lumière reçue d'une étoile, mais elle n'en fabrique pas. En 2006, l'Union astronomique internationale a décidé de mettre au clair la définition exacte d'une planète. Pour qu'un corps porte ce nom, il doit correspondre à trois critères :

- *Il est en orbite autour d'une étoile*

- *Il a une masse suffisante pour que la gravité qui en découle lui ait donné une forme sphérique.*
- *Il n'y a plus d'autres corps éparpillés sur l'orbite qu'il suit. Ce critère signifie que tout les « morceaux » qui pouvaient se trouver sur le trajet autour de l'étoile se sont agglomérés en un seul objet, la planète en question.*

Si un corps ne satisfait pas à l'un des deux derniers critères, c'est une planète naine. C'est le cas de Pluton, un des corps les plus loin du Soleil. Il a été rétrogradé dans cette catégorie lorsque cette définition a été mise au point. On l'appelait neuvième planète du système solaire, ce qui a conduit des gens, qui apprenaient que « Le système solaire ne compte plus que huit planètes » à penser que Pluton avait disparu. Que nenni. Il est toujours là. Simple changement de catégorie.

Si un corps satisfait éventuellement aux deux derniers critères, mais pas le premier, il s'agit du satellite d'une planète. C'est donc un corps qui décrit une orbite autour d'une planète, comme la Lune autour de la Terre. Presques toutes les planètes du système solaire possèdent des satellites, la reine Jupiter en a soixante-trois !

En revanche, de la même façon que pour les étoiles, il y a de grandes différences entre les planètes. On ne peut pas dire que Jupiter, la planète la plus massive du système solaire, une géante essentiellement constituée de gaz, ressemble beaucoup à la Terre. Il existe deux grandes catégories de planètes :

- *les planètes « telluriques », des planètes faites de roches, plutôt petites, comme la Terre, mais aussi Mercure, Vénus et Mars.*
- *Les planètes gazeuses, qui sont composées de gaz, avec éventuellement un noyau solide, comme Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune dans notre système solaire. Elles sont beaucoup plus massives.*

Dans notre système, les planètes rocheuses sont les plus proches du Soleil, et les planètes gazeuses sont loin de lui. Mais on sait que toutes ces planètes ont changé de place au cours de leur formation. Donc, rien ne dit que les planètes d'un système stellaire différents seraient placées de la même façon.

Encadré – Képler, le chasseur de mondes

Képler est le nom d'un des grands astronomes de notre histoire. Il vécut entre 1571 et 1630, et découvrit comment une loi physique permettait d'expliquer la façon dont des objets célestes, les planètes, bougent dans le ciel (il décrivit mathématiquement les mouvements elliptiques des planètes autour du Soleil). Il est, à ce titre, considéré comme le premier astrophysicien de l'histoire.

Aujourd'hui, un télescope spatial porte ce nom. Et pas n'importe quel télescope. Un « chasseur de planètes » voire un « chasseur de terre ». Cet instrument a été mis en orbite en 2009. C'est un télescope d'un peu moins d'un mètre de diamètre, pesant un peu plus d'une tonne. Il n'est pas en orbite autour de la Terre, contrairement à Hubble, mais en orbite héliocentrique, c'est à dire autour du Soleil. Il suit la même trajectoire que la Terre, un peu en retard sur celle-ci.

Initialement, cet instrument devait cesser d'être utilisé en 2012 mais sa durée de fonctionnement a été prolongée. Malheureusement, deux de ces capteurs CCD, sur les vingt et un que le télescope compte, ainsi que des systèmes de contrôles de l'équilibre, ont en effet lâché en 2013, ce qui a bien failli mettre fin à l'utilisation du télescope. Finalement, une redéfinition des objectifs a été décidée, grâce à l'ingéniosité des techniciens qui a permis que l'instrument soit encore largement utilisable.

Concrètement, pour chercher des planètes, Kepler utilise la méthode du transit. Pour ce faire, il réalise un « suivi photométrique » sur les étoiles d'une zone limitée, prédéterminée, du ciel. Cela signifie qu'il pointe sur chacune d'elles ses caméras régulièrement, afin de mesurer la luminosité de l'étoile, pour obtenir une courbe montrant le flux de lumière en fonction du temps, ce qui permet de repérer les transits planétaires. Le télescope observe entre 400 et 900 nanomètres, soit dans ce qu'on appelle la lumière « visible », à laquelle est sensible l'œil humain.

Le centre de contrôle de l'instrument situé à Boulder, dans le Colorado.

Ces étoiles sont un peu plus de 150 000 dans la zone définie comme cible par la NASA. Même si la zone du ciel observée est plutôt dense en étoiles (c'est la tranche de notre galaxie), cela représente une toute petite fraction du ciel (moins de 0,3%), ou même du disque galactique. Or, Kepler a déjà trouvé plus de 2300 planètes (« confirmées » par d'autres mesures), et plus de 4000 candidates. Une véritable moisson ! De plus, parmi ces planètes, on en trouve qui sont de taille comparable à celle de la Terre, dont certaines potentiellement propices à la vie. C'est la petite révolution qu'on doit à cet instrument, un enseignement de taille (sans jeu de mots !) : les petites planètes sont abondantes dans notre galaxie. Il faut seulement avoir les instruments adaptés pour les trouver. Grâce aux travaux de ce télescope, on estime que chaque étoile de la galaxie est entourée d'une planète, en moyenne. Ce qui supposerait l'existence de

Après la perte de deux de ses CCD en 2014, le télescope s'est vu offrir une nouvelle vie. Pour un télescope, on parle de « seconde lumière », notez la poésie de la chose. Les ingénieurs de la mission ont trouvé une solution très futée au problème de la perte des instruments de contrôle d'équilibre. Une catastrophe pour un instrument d'observation des étoiles, qui doit pouvoir rester pointé sur un objectif sans dériver. Mais en changeant l'orientation du télescope, ils ont permis à celui-ci de s'appuyer en quelque sorte sur le vent solaire. Une très grande idée, parce qu'elle a parfaitement fonctionné. La nouvelle mission, nommée K2 (oui, « Kepler 2 » en abrégé, les astrophysiciens manquent parfois d'imagination...), a des objectifs un peu différents de ce que le télescope avait fait jusque là.

En effet, le champ du ciel observé n'est pas fixe, il change tous les 80 jours. Le but est encore de trouver des exoplanètes (déjà plusieurs centaines de candidates) mais plus seulement. En réalisant des suivis de photométrie, Kepler a, par exemple, permis d'observer les explosions en supernovae de deux étoiles, KSN 2011a et KSN 2011d. Le phénomène, spectaculaire mais ne durant que quelques minutes, nécessite un suivi constant pour être véritablement observé dans le détail. Suivi qui est réalisable avec ce télescope.

Mais des découvertes moins lointaines ont également été faites, comme de grands corps inconnus jusque là dans notre propre système solaire. Et ce n'est pas fini : galaxies, planètes errantes, comètes, astéroïdes et naines blanches et même,

recherche de planètes dans d'autres galaxies, sont au programmes des mois et années qui viennent.

Le chemin qui conduit l'Homme à la connaissance des objets du ciel est tout aussi merveilleux que ces objets eux-mêmes.

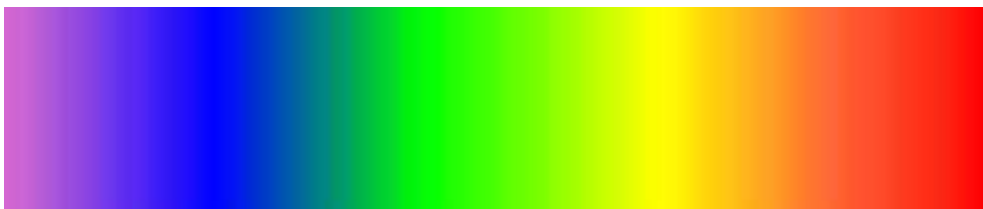
Johannes Kepler (1571-1630), astronome

Encadré - Spectroscopie

Vous avez déjà observé un arc-en-ciel ? Combien de couleurs ? A l'école, vous avez appris à en réciter sept : rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo, violet. Et dans l'ordre, s'il vous plait. Mais vous êtes loin du compte. Un arc-en-ciel contient une infinité de couleurs, seulement voilà, notre capacité à les distinguer est limitée. Et si le concept de couleur est bien trop vague pour être scientifique, il permet de toucher du doigt une grandeur caractéristique de la lumière : la fréquence. La lumière, c'est une vibration, comme le son. Mais ce n'est pas l'air qui vibre quand de la lumière est émise. C'est un champ électrique et un champ magnétique. On parle donc de « vibrations électromagnétiques ».

La fréquence caractérise une vibration. Et lorsque vous regardez la lumière issue d'une source, vous recevez toutes sortes de vibrations différentes, donc toutes sortes de fréquences différentes. Sauf pour un laser, dont la principale caractéristique est de ne produire qu'un seul type, donc qu'une seule fréquence de lumière.

Grâce à un prisme de verre, un morceau « cylindrique » à base triangulaire, on peut se livrer, comme Newton l'a fait en son temps, à la décomposition de la lumière du soleil. On obtient l'arc en ciel. Et cet arc-en-ciel, c'est ce qu'on appelle le spectre de la lumière blanche. De n'importe quelle lumière, on peut obtenir le spectre, avec un spectromètre. C'est un appareil qui fera le même travail que le prisme, en un peu plus sophistiqué : il pourra enregistrer le spectre et l'analyser. Le spectre d'une lumière, c'est donc un peu la recette de celle-ci. Il nous dit de quelle fréquence la lumière est composée, et en quelles proportions.



Le spectre de la lumière du soleil

Ce qui est intéressant avec la lumière d'une étoile, c'est que l'analyse du spectre de celle-ci va nous dire beaucoup de choses sur cette étoiles. Par exemple, sa composition, son type (étoile massive ou légère), son âge... Et ses mouvements.

Revenons au son pour bien comprendre ce qui se passe. Vous êtes dans la rue et une voiture (police, pompiers ou ambulance) arrive vers vous toute sirène hurlante. Tant que la sirène se rapproche de vous, le son est aigu, mais quand le véhicule s'éloigne, le son passe dans les fréquences graves. C'est ce qu'on appelle l'effet Doppler. Les vibrations mesurées sur un objet en mouvement sont légèrement différentes des vibrations émises.

C'est aussi vrai pour la lumière reçue ici en provenance d'un objet du ciel. Suivant le mouvement de cet objet, on reçoit un spectre lumineux un peu « différent » de la normal. Cet écart peut être mesuré, et on a alors la possibilité de connaître le mouvement effectué par l'objet sur lequel on a braqué le télescope.

Pour la détection d'exoplanètes, les mesures en spectroscopie se font dans la bande infrarouge de la lumière. Les infrarouges, ce n'est pas de la lumière visible. Mais ce type de rayonnement lumineux peut quand même être perceptible par l'homme. En effet, les infrarouges correspondent à l'émission de chaleur.