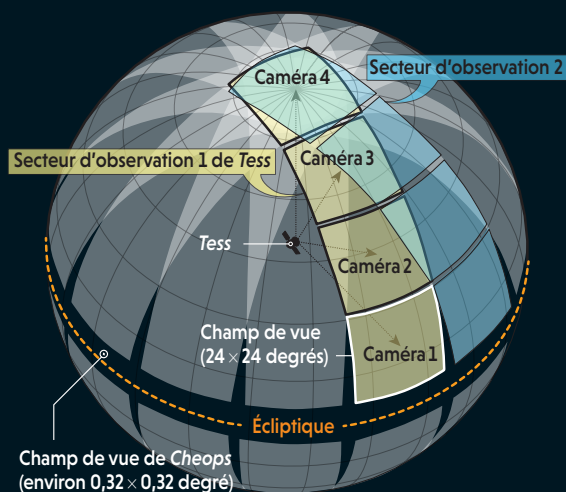


COMMENT TRAQUER UNE EXOPLANÈTE ?

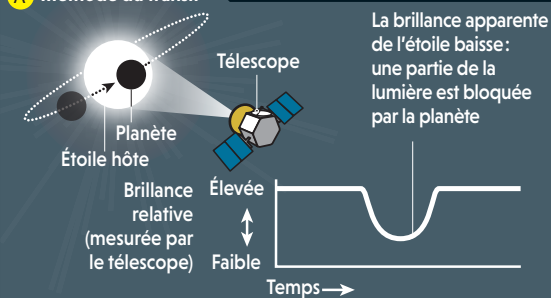
Il existe plusieurs méthodes pour détecter des exoplanètes. Les deux plus efficaces sont la méthode du transit et celle faisant appel à l'effet Doppler. Les informations qu'elles livrent sont cependant complémentaires. Les futurs télescopes spatiaux *Tess* et *Cheops* utiliseront la méthode du transit.

Stratégie d'observation

Tess observera 90 % de la voûte céleste grâce à quatre caméras qui couvriront à tout instant un secteur de 24 degrés par 96. Le ciel sera divisé en 26 secteurs qui se recouvrent, et *Tess* consacra un mois d'observation par secteur. *Cheops* se focalisera sur des étoiles individuelles pour lesquelles on suspecte la présence d'exoplanètes.



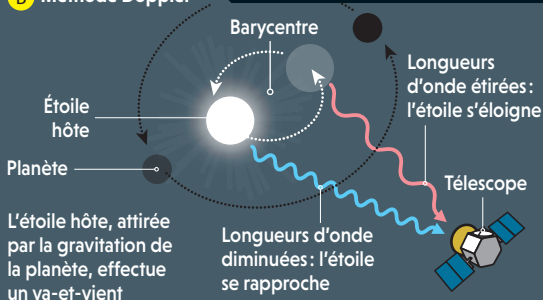
A Méthode du transit



Comment trouver une exoplanète

Les télescopes *Kepler*, *Tess* et *Cheops* utilisent la méthode du transit **A**. Quand une planète passe devant l'étoile dans la ligne de visée du satellite, elle bloque une partie de la lumière stellaire. L'étoile paraît donc moins brillante. L'effet est périodique et se reproduit à chaque passage de la planète en orbite. Une seconde méthode s'appuie sur l'effet Doppler **B**. Si l'on détecte un décalage Doppler périodique dans les longueurs d'onde de la lumière reçue de l'étoile, c'est que celle-ci bouge d'avant en arrière de façon régulière. L'influence gravitationnelle d'une planète en orbite autour de l'étoile en est la cause : les deux corps tournent autour de leur barycentre.

B Méthode Doppler



système étoile-planète évolue autour de son barycentre, qui ne coïncide pas avec le centre de l'étoile. L'étoile a ainsi un petit mouvement de rotation autour de ce barycentre. Il est possible de déceler ce petit mouvement, qui est d'autant plus marqué que la planète est massive, à l'aide de l'effet Doppler : la longueur d'onde du rayonnement reçu de l'étoile diminue ou augmente légèrement selon que l'astre se rapproche de la Terre ou s'en éloigne (voir l'encadré ci-dessus).

Cette technique exige cependant des mesures spectroscopiques de précision, portant sur un minimum d'environ 50 000 longueurs d'onde différentes. Pour des étoiles de faible luminosité, le rayonnement capté est insuffisant pour réaliser ces mesures.

Une future mission de la Nasa, *Tess* (*Transiting exoplanet survey satellite*), pour laquelle je suis coresponsable, a pour objectif de dépasser les limitations de *Kepler*. *Tess* embarquera quatre télescopes, chacun de 10 centimètres de diamètre, soit un dixième du télescope de *Kepler*. Ce choix peut sembler étrange (en général, le progrès s'accompagne plutôt de télescopes de plus en plus grands). Mais les

télescopes plus petits ont l'avantage d'avoir un champ de vision plus large. Cette relation entre taille et champ de vision est dictée par les lois de l'optique. Chaque caméra de *Tess* voit ainsi une portion 6 fois plus grande du ciel que *Kepler*, et *Tess* pourra pivoter de façon à pointer dans différentes directions. Finalement, *Tess* devrait observer beaucoup plus d'étoiles que *Kepler*.

La mission *Tess* décollera entre mars et juin de cette année. Et durant les deux prochaines années, elle passera en revue environ 90 % du ciel qui sera divisé en 26 secteurs se recouvrant. Chaque secteur sera exploré pendant un mois. Comme pour *Kepler*, nous espérons découvrir des milliers d'exoplanètes avec *Tess*, mais celles-ci seront situées autour d'étoiles typiquement 30 fois plus brillantes. Cela permettra notamment aux observatoires au sol de prendre le relais de *Tess*, ce qui était plus difficile avec les étoiles peu lumineuses sondées par *Kepler*.

Peu après *Tess*, c'est la mission européenne *Cheops* (*Characterising exoplanet satellite*) qui prendra son envol à la fin de 2018. *Cheops* est équipé d'un unique télescope de 32 centimètres de diamètre. Son rôle, bien que différent, sera

complémentaire de celui de *Tess*. Alors que *Tess* procédera à un balayage large et systématique du ciel, *Cheops* pointera sur des étoiles précises, à propos desquelles des indices d'exoplanètes ont été signalés. L'idée est de collecter des données de meilleure qualité pour ces systèmes particuliers.

DEUX STRATÉGIES COMPLÉMENTAIRES

Par exemple, si *Tess* trouve des indices de la présence autour de telle étoile d'une planète intéressante, mais sans avoir de données assez fiables pour le confirmer, l'un de mes collègues ou moi contacterons l'équipe de *Cheops* pour voir s'ils peuvent y jeter un oeil. Ou considérons Proxima du Centaure et Ross 128, deux étoiles voisines pour lesquels la technique Doppler a suggéré la présence de planètes comparables à la Terre. *Cheops* pourrait alors traquer des éclipses de ces deux étoiles. Il faudra encore un peu de chance pour que l'orbite de la planète soit dans le bon alignement avec notre ligne de visée : pour Proxima du Centaure, la probabilité est de 1,4%. Mais si on a de la chance, on en saura beaucoup plus sur ces planètes.

Ces satellites nous propulseront dans une nouvelle ère d'étude des exoplanètes, mais ils ne sont pas parfaits. Pour être sûrs qu'une baisse de luminosité est bien le fait d'un transit et non d'une erreur de l'instrument, les chercheurs aiment observer plusieurs occurrences de ce phénomène périodique. Malheureusement, *Tess* ne scrutera chaque étoile que pendant un mois, une durée bien trop courte pour observer plusieurs transits d'une planète comme la Terre, qui met un an pour faire un tour complet. Néanmoins, pour une petite portion du ciel, où tous les secteurs se recouvrent, *Tess* observera certaines étoiles sur une période qui s'étirera jusqu'à un an (mais cela restera bien inférieur aux quatre ans de la vision fixe de *Kepler*).

Par conséquent, *Tess* sera surtout efficace pour la découverte de planètes ayant une très courte période de révolution, quelques semaines ou moins. Ce n'est pas idéal, mais c'était la seule façon pour l'équipe qui a conçu la mission de maintenir un budget inférieur à l'enveloppe prévue de 228 millions de dollars (environ 183 millions d'euros). C'est néanmoins un bon compromis, car *Kepler* nous a montré qu'il existe une grande variété de planètes proches de leur étoile (donc ayant une période de révolution courte) : des mondes de lave, des planètes enflées de faible densité, des planètes en interaction sur des trajectoires chaotiques et même des planètes qui s'évaporent sous l'effet de la chaleur extrême de leur étoile. *Tess* devrait trouver les exemples les plus proches de toutes ces catégories exotiques de planètes, et donner l'occasion de les étudier dans les meilleures conditions possible avec d'autres instruments.

Pour détecter une planète vraiment semblable à la Terre en orbite autour d'une étoile comparable au Soleil, il faudra attendre. Néanmoins, *Tess* jouera aussi son rôle dans la quête à long terme de la recherche de vie sur d'autres planètes. Nous estimons que *Tess* devrait trouver une dizaine de planètes de taille terrestre dans la zone habitable de leur étoile, autant que *Kepler*. Pour ce faire, il faudra examiner d'autres étoiles que celles ressemblant au Soleil. En effet, si le Soleil n'est finalement qu'une étoile assez ordinaire parmi des centaines de milliards dans la Voie lactée, il n'appartient pas à la famille la plus répandue, celle des naines rouges, plus froides et moins lumineuses, de masse inférieure à la moitié de celle du Soleil.

ÉTUDIER L'ATMOSPHÈRE GRÂCE AU TRANSIT

Le transit est aussi utilisé pour déterminer la composition de l'atmosphère planétaire. Lorsqu'une planète passe devant son étoile, une partie de la lumière traverse l'atmosphère. Les molécules de cette dernière absorbent la lumière à des longueurs d'onde particulières et laissent une signature dans le rayonnement qui parvient sur Terre. En comparant le spectre de l'étoile à la lumière captée pendant le transit, il est possible de récupérer ces informations.

La taille apparente de la planète diffère selon la longueur d'onde à laquelle on regarde la lumière émise par l'étoile (ci-dessous). Elle est plus petite dans le vert, car la lumière traverse l'atmosphère de la planète sans être absorbée. La composante jaune est bloquée par l'atmosphère ; la planète paraît alors plus grande. Cette absorption est typique du sodium ; on en déduit la présence de cet élément.

