

AVEC NOS ÉLÈVES

Détection et analyse de l'atmosphère des exoplanètes

Floriane Michel, Canberra

Inspiré du travail fait avec Marion HALAS, Alejandra ALCALDE AZUMA, Isabelle HARRIS et Laure PETITDIDIER pour les Olympiades de Physique 2020.

Le passage d'une exoplanète devant son étoile hôte permet d'estimer son diamètre apparent. Si en plus la planète possède une atmosphère, on peut en déduire des informations sur sa composition.

Les transits

Le passage d'une exoplanète devant son étoile est appelé transit. Au cours de celui-ci, l'intensité lumineuse de l'étoile diminue. Ils peuvent être observés grâce aux télescopes spatiaux Hubble et Spitzer mais également à l'aide des télescopes terrestres.

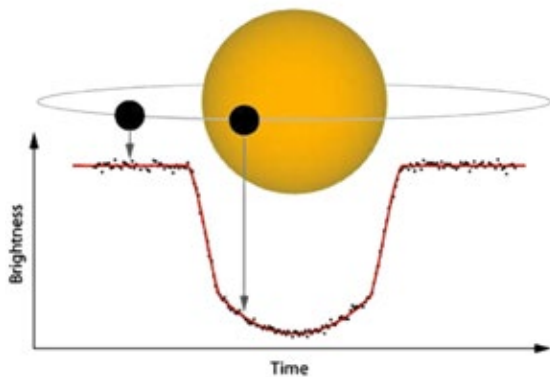


Fig.1. Transit et baisse de luminosité.
© Institute for Astronomy-University of Hawai.

La profondeur de cette baisse de luminosité permet de calculer le rapport entre le rayon de l'exoplanète et le rayon de l'étoile. Plus l'exoplanète bloque la lumière de l'étoile, plus ce rapport est grand.

Grâce à des filtres optiques, les scientifiques peuvent observer les transits dans différentes longueurs d'onde. Si l'exoplanète possède une atmosphère, il est possible d'observer une variation de la profondeur de la baisse de luminosité en fonction de la longueur d'onde. Ce phénomène s'explique par la présence de gaz constituant l'atmosphère qui vont absorber certaines longueurs d'onde plus que d'autres. L'atmosphère va donc paraître plus opaque dans certaines couleurs que dans d'autres ; la profondeur du transit et donc le rayon apparent de la planète seront donc plus grands pour les longueurs d'onde les plus absorbées par les gaz et plus petits pour les

longueurs d'onde les moins absorbées.

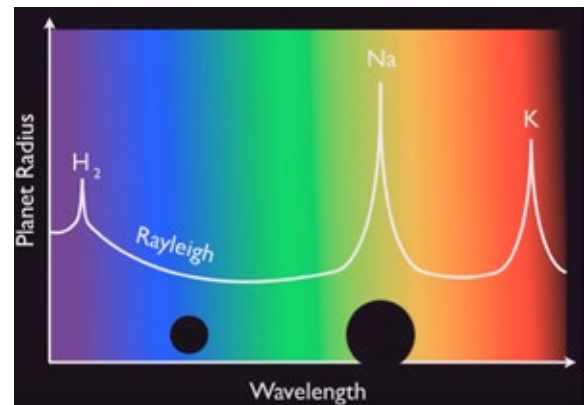


Fig.2. Une planète apparaît plus grande dans une longueur d'onde absorbée par son atmosphère comme ici dans la bande d'absorption du sodium (crédit Paul Wilson, ExoClimes.co).

La figure 3 montre un exemple pour l'étoile HD 209458 pour des longueurs d'onde allant de 300 nm (violet) à 100 nm (rouge).

Ses données sont ensuite regroupées sur un graphique montrant le rapport entre le rayon apparent de l'exoplanète et le rayon de l'étoile en fonction de la longueur d'onde (figure 4).

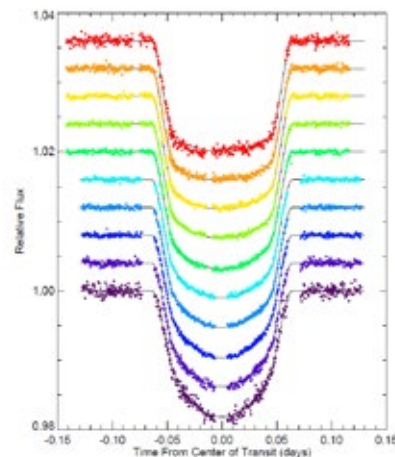


Fig.3. La baisse de luminosité lors d'un transit varie en fonction de la longueur d'onde (Knutson et al.2007 ApJ 655, 564).

Composition de l'atmosphère

Le graphique en bas de page montre des données expérimentales obtenues à partir de plusieurs télescopes terrestres pour l'exoplanète GJ 3470B. Les mesures se font dans le visible et l'infrarouge et permettent de mettre en évidence la présence ou l'absence de certains phénomènes atmosphériques et ainsi d'en apprendre plus sur les caractéristiques de l'atmosphère étudiée.

La diffusion Rayleigh

Un phénomène bien connu dans l'atmosphère terrestre pour son implication dans la couleur bleue du ciel est la diffusion Rayleigh. Elle a lieu lorsque la lumière en provenance de l'étoile interagit avec les molécules gazeuses de l'atmosphère : les rayons lumineux sont absorbés et rediffusés dans toutes les directions. Ce phénomène est prépondérant dans le visible et en particulier pour les longueurs d'onde courtes telles que le bleu. Ainsi, si la diffusion Rayleigh a lieu, le rayon apparent de l'exoplanète apparaîtra plus grand dans le bleu (plus absorbé) que dans le rouge (moins absorbé). Elle est caractérisée sur le graphique par la pente constante dans le visible. Ce phénomène est cependant masqué en présence de nuages : les gouttelettes d'eau étant plus grandes que les molécules gazeuses, toutes les longueurs d'onde sont alors absorbées. On peut observer ce phénomène sur la courbe bleu foncé sur le graphique.

L'absorption moléculaire et atomique

Lorsqu'elles reçoivent de la lumière, les molécules absorbent certaines longueurs d'onde qui correspondent à l'énergie nécessaire pour vibrer. Chaque molécule possède différents modes de vibration (différents types d'étirement, pliage...)

et absorbe donc différentes longueurs d'onde qui lui sont propres. En étudiant les longueurs d'onde absorbées, il est possible d'en déduire la composition de l'atmosphère. Les modélisations sur le graphique en bas de page montrent par exemple la signature de l'eau.

Les atomes absorbent également certaines longueurs d'onde en fonction de leurs niveaux d'énergie. On retrouve ici par exemple la présence de sodium et de potassium.

Les aérosols

Les aérosols sont des particules en suspension qui peuvent être dues à l'activité humaine (résidus de la combustion des voitures) ou à des phénomènes naturels (sable, cendres volcaniques). Ils ont tendance à augmenter le phénomène d'absorption de la lumière notamment dans le visible. On peut voir ici que la courbe bleu clair (clouds + haze) est plus élevée que les autres dans le visible.

Résultats expérimentaux et modélisation

Les données expérimentales ci-dessous proviennent de plusieurs télescopes terrestres. Il est cependant possible d'obtenir des valeurs avec des incertitudes beaucoup plus faibles à partir d'observations faites avec les télescopes spatiaux Hubble ou Spitzer (voir par exemple les données obtenues pour WASP-39 b). Ces données sont ensuite comparées à plusieurs modèles qui prennent en compte les différents types d'absorption exposés ici.

Avec la nouvelle sonde ARIEL de l'ESA qui sera lancée en 2028 pour étudier l'atmosphère des exoplanètes, ce sujet d'étude a de beaux jours devant lui ! ■

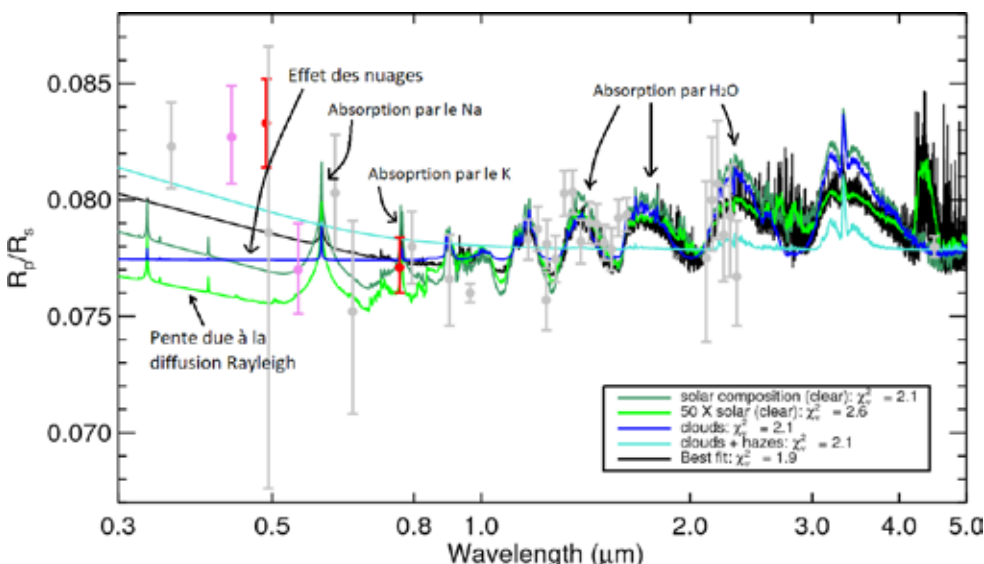


Fig.4. Rayon observé de la planète sur le rayon de l'étoile en fonction de la longueur d'onde.

La modélisation pour laquelle le χ^2 se rapproche le plus de 1 est la modélisation qui représente le mieux l'atmosphère étudiée.

Diana Dragomir - Rayleigh Scattering in the Atmosphere of the Warm Exo-Neptune GJ 3470b.