



Exploitation de données « brutes »

Mise en évidence de l'exoplanète Wasp 12b

Mise en évidence et étude d'une exoplanète par la méthode des transits



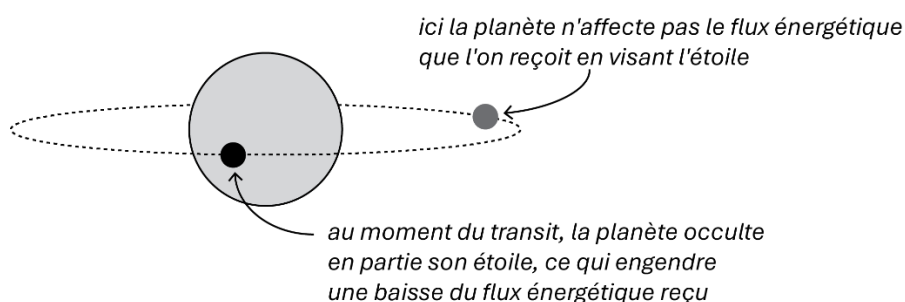
Ce scénario est adossé au programme de la partie « Ondes » de la spécialité SPCL (Sciences Physiques et Chimiques en Laboratoire) de la classe de terminale.

Il repose sur les notions abordées dans la séquence 6 : « produire des ondes électromagnétiques ».

Les grandeurs énergétiques (flux, éclairement énergétiques) sont notamment mobilisées.

Préambule : la méthode des transits

La méthode des transits est, historiquement, postérieure à celles des vitesses radiales, mais c'est à ce jour celle qui a mis en évidence la majorité des exoplanètes (environ 75 %). Le principe est (sur le papier) très simple : il s'agit de viser une étoile et d'enregistrer l'évolution temporelle du flux énergétique que l'on reçoit. Si celui-ci présente des minima de manière périodique, cela peut indiquer la présence d'une exoplanète : celle-ci éclipse partiellement l'étoile au cours de son transit.



La variation du flux énergétique engendré par une exoplanète étant infime, l'enjeu est d'avoir des capteurs assez sensibles pour les détecter.

Présentation de la séquence proposée

WASP 12 est une naine jaune proche de la constellation du Cocher, autour de laquelle une exoplanète (baptisée WASP 12b) a été mise en évidence à l'aide de la méthode des transits. On se propose de la « redécouvrir » à l'aide de données récentes.

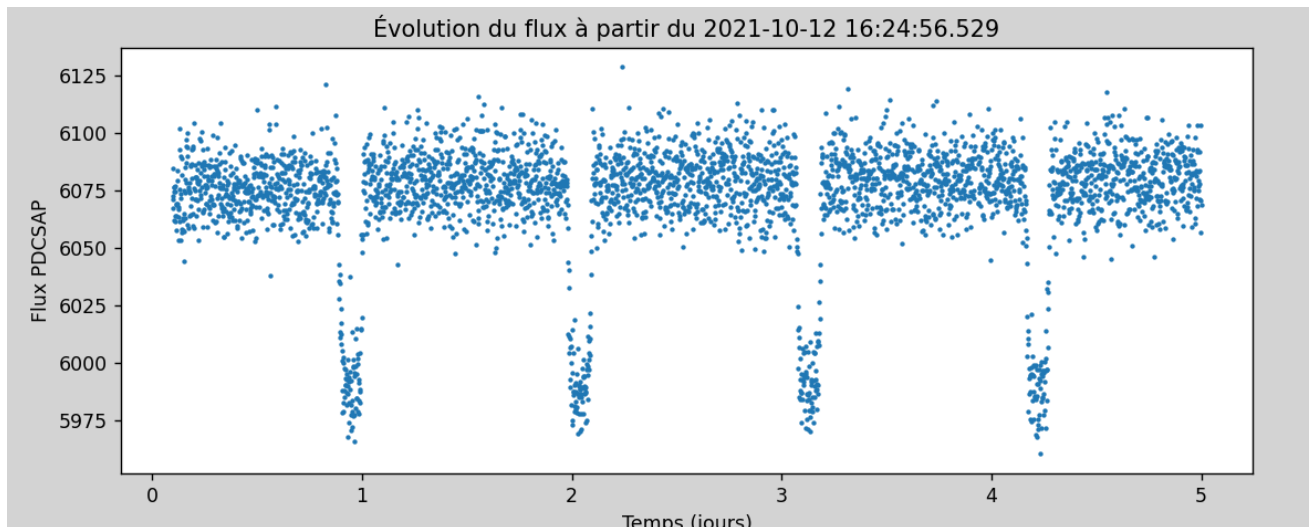
Les données que nous utilisons sont celles de TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite), petit télescope spatial consacré à la recherche d'exoplanètes lancé le 18 avril 2018. Les données sont librement téléchargeables ici : <https://mast.stsci.edu/portal/Mashup/Clients/Mast/Portal.html> (taper WASP 12 dans le moteur de recherches).

Les données, initialement stockées dans un fichier FITS, ont été extraites dans un fichier csv joint avec cette séquence, contenant environ 17 000 valeurs de temps et de flux, acquises à partir d'octobre 2021.

1. Affichage de l'évolution temporelle du flux énergétique reçu en visant WASP 12 et premiers commentaires

1.1. Affichage des données brutes

Le programme Python « Affichage_Flux.py » extrait les données présentes dans le fichier csv (date, flux énergétique) et représente graphiquement l'évolution temporelle du flux reçu.



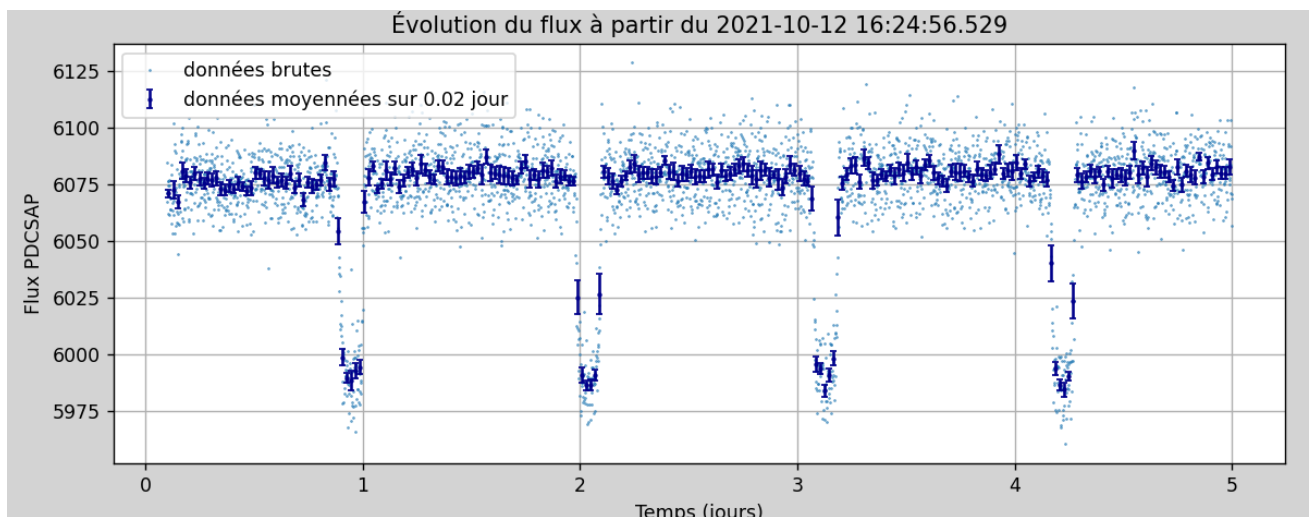
On peut d'ores et déjà noter une baisse périodique du flux reçu par TESS avec une période voisine de 1 jour. C'est compatible avec l'hypothèse d'une exoplanète venant occulter en partie l'étoile autour de laquelle elle orbite. Cependant les mesures de flux minimum et maximum sont peu aisées en raison de la dispersion des valeurs. Nous allons donc procéder à un moyennage dans le temps, afin de lisser ce nuage de points.

1.2. Affichage de valeurs moyennes du flux

Le programme « Affichage_Flux_Moyennage.py » reprend le code du précédent mais affiche, en plus, des flux moyens (sur une période de 30 minutes).

Les barres verticales représentent des incertitudes-types évaluées par une méthode de type A :

$$u(\bar{\phi}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$$



2. Exploitations possibles

2.1. Mesure de la période de révolution de l'exoplanète

La période de révolution de l'exoplanète autour de son étoile peut se faire par mesure graphique directe. On trouve :

$$T \simeq 1,1 \text{ jour}$$

NB : il est possible d'obtenir une meilleure valeur à l'aide de l'algorithme de Lomb-Scargle : un exemple de code est proposé dans le Notebook associé à cette séquence.

Pédagogiquement, pour des élèves de terminale, il nous semble pertinent de se contenter d'une mesure graphique, celle-ci étant aisée dans ce cas.



2.2. Estimation du diamètre de l'exoplanète

On note :

- S_* et D_* la surface et le diamètre du disque de l'étoile ;
- S_p et D_p la surface et le diamètre du disque de l'exoplanète.

On admet de plus que le diamètre de l'étoile Wasp 12 vaut environ $D_* \simeq 1,75 D_{\text{Soleil}} = 2,4 \times 10^6 \text{ km}$.

Méthode à suivre

La variation relative du flux au moment du transit est égal au quotient des surfaces (ce que les élèves peuvent aisément démontrer avec les relations qu'ils connaissent), elle-même proportionnelle au carré du rapport des diamètres respectifs de l'étoile et de sa planète :

$$\frac{\Delta\phi}{\phi} = \frac{\phi_{\max} - \phi_{\min}}{\phi} = \frac{S_* - (S_* - S_p)}{S_*} = \frac{S_p}{S_*} = \frac{D_p^2}{D_*^2}$$

Le diamètre de la planète vaut donc :

$$D_p = D_* \sqrt{\frac{\Delta\phi}{\phi}}$$

Il faut donc exploiter le graphique représentant ϕ en fonction du temps pour mesurer le flux moyen pendant le transit ($\phi_{\min}$) et celui hors transit ($\phi_{\max}$).

On mesure graphiquement :

$$\phi_{\max} = 6076 \text{ électrons / s}$$

$$\phi_{\min} = 5993 \text{ électrons / s}$$

NB : électron / s est l'unité dans laquelle les flux énergétiques donnés par TESS sont exprimés : voir remarque en bas de page concernant les unités.

Les mesures précédentes permettent d'estimer la variation relative de flux selon que la planète occulte ou non l'étoile :

$$\frac{\Delta\phi}{\phi} = \frac{\phi_{\max} - \phi_{\min}}{\phi_{\max}} \simeq \frac{6075,59 - 5993,01}{6075,59} = 0,01359$$

Le diamètre de la planète vaut donc :

$$D_p = D_* \sqrt{\frac{\Delta\phi}{\phi}} = 2,4 \times 10^6 \times \sqrt{0,01359} = 2,8 \times 10^5 \text{ km}$$

Ce diamètre est environ deux fois supérieur à celui de Jupiter, ce qui amène les auteurs de l'article à qualifier WASP 12b de "Jupiter géant".

Concernant les unités : les flux énergétiques sont exprimés en électrons par seconde absorbés par le capteur CCD équipant TESS. Ce nombre d'électrons par seconde est proportionnel au nombre de photons reçus par seconde, lui-même proportionnel au flux énergétique reçu exprimé en watt. Comme on n'exploite ici qu'une variation relative du flux, tout changement d'unité est inutile.