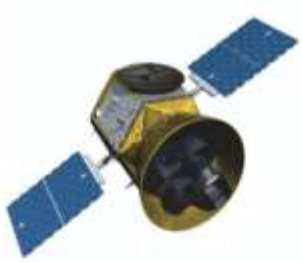
EXERCICE 3 Le satellite TESS (5,5 points)

Les exoplanètes sont des planètes en orbite autour d'une étoile autre que le Soleil. Les physiciens Michel Mayor et Didier Queloz ont reçu en 2019 le prix Nobel de physique pour la première détection d'une exoplanète.



Vue d'artiste du satellite TESS

Le satellite TESS « Transiting Exoplanet Survey Satellite » est à la recherche de nouvelles exoplanètes depuis le 18 avril 2018. En juillet 2019, le satellite TESS a permis la découverte du système planétaire « TOI 270 », composé entre autres de deux exoplanètes, que l'on appellera exoplanète 1 et exoplanète 2, en orbite autour de l'étoile E.

D'après https://www.sciencesetavenir.fr

L'objectif de cet exercice est d'étudier le système planétaire « TOI 270 » pour lequel on supposera que les mouvements des exoplanètes 1 et 2 autour de l'étoile E sont circulaires uniformes. L'interaction entre les deux exoplanètes est négligée.

Données :

- constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67\times 10^{-11}$ m^3·kg^{-1}·s^{-2} ;
- approximations dans le cas de petits angles ($\alpha << 1$ rad) : $\sin\alpha = \alpha$; $\tan\alpha = \alpha$.
- données relatives au système « TOI 270 » :

Objet	Étoile E	Exoplanète 1	Exoplanète 2
Rayon de l'orbite autour de E en km		$R_1 = 6{,}77\times10^6$	$R_2 = 1{,}08\times10^7$
Période de révolution autour de E en jours terrestres		T_1	$T_2 = 11{,}4$
Rayon de l'objet en km	$r_E = 2{,}63\times10^5$	r_1	
Masse de l'objet en kg	$M_E = 7{,}68\times10^{29}$		M_2

1. Étude du système « TOI 270 »

On étudie le mouvement de l'exoplanète 2, de masse M_2, en orbite circulaire autour de l'étoile E. L'étude est conduite dans un référentiel dont l'origine est prise au centre de l'étoile E et dont les axes pointent vers des étoiles lointaines ; il est supposé galiléen. On travaille dans le repère de Frenet (P, $\overrightarrow{u_T}$, $\overrightarrow{u_N}$).

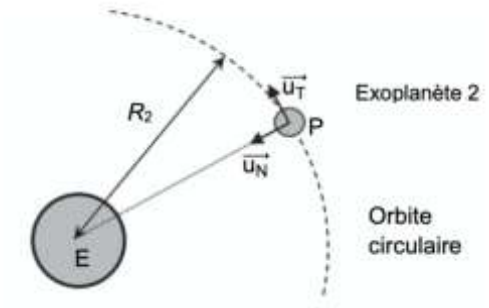


Figure 1. Trajectoire de l'exoplanète 2 autour de l'étoile E

Q1. Exprimer la force d'attraction gravitationnelle, notée $\vec{F}$, exercée par l'étoile E sur l'exoplanète 2, en fonction de M_2, M_E, G, R_2 et $\overrightarrow{u_N}$.

Q2. En utilisant la deuxième loi de Newton, établir l'expression de la vitesse v_2 de l'exoplanète 2 en fonction de G, M_E et R_2.

Q3. Établir que la masse M_E de l'étoile est donnée par la relation $M_E = \dfrac{4\pi^2 \cdot R_2^3}{G \cdot T_2^2}$.

Q4. Vérifier que la valeur de la masse M_E déduite de cette relation est voisine de celle indiquée dans le tableau de données.

Q5. En utilisant la troisième loi de Kepler et les données R_1, R_2 et T_2 relatives aux exoplanètes, déterminer la valeur de la période T_1 exprimée en jours terrestres.

2. Mesure expérimentale de la période de révolution T_1 de l'exoplanète 1

Le satellite TESS utilise une caméra pour détecter des exoplanètes. Lorsqu'une exoplanète passe entre l'étoile et la caméra, la puissance lumineuse reçue par la caméra diminue. Ce phénomène est appelé transit planétaire et indique la présence d'une exoplanète en orbite autour de l'étoile pointée par la caméra.

On se propose de déterminer la valeur de la période T_1 de révolution de l'exoplanète 1 autour de l'étoile E en exploitant les relevés envoyés par le satellite TESS. Lors du transit de l'exoplanète 1 devant l'étoile E (schématisé sur la figure 2), on mesure la puissance lumineuse relative* P_{lum} reçue par la caméra en fonction du temps (figure 3). L'origine des dates ($t = 0$) est prise au milieu du transit.

** La puissance lumineuse relative est définie comme le rapport de la puissance lumineuse reçue par la caméra à un instant donné sur la valeur moyenne de cette puissance. C'est une grandeur sans dimension.*

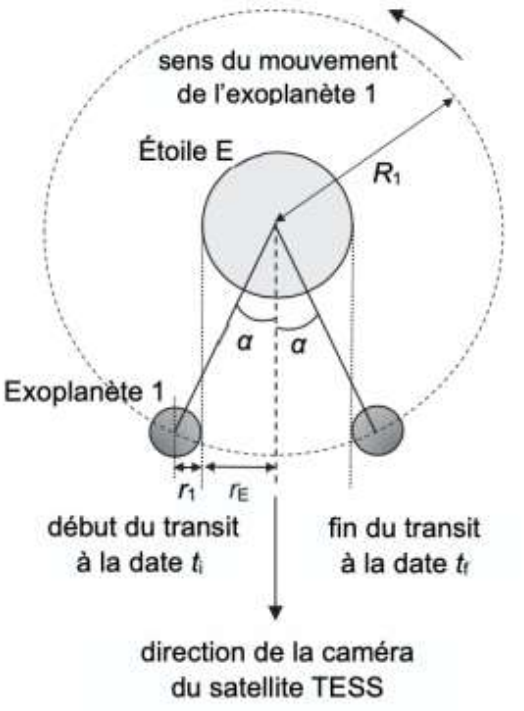


Figure 2. Positions de l'exoplanète 1 au début et à la fin de la phase de transit (le schéma n'est pas à l'échelle)

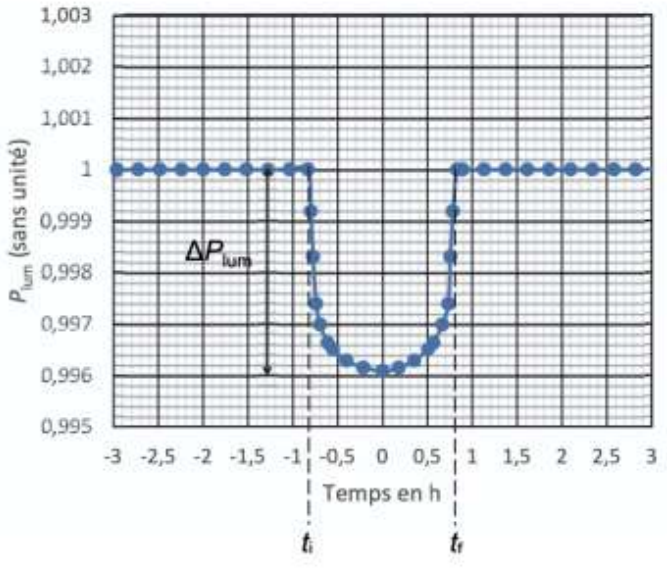


Figure 3. P_{lum} en fonction du temps lors d'un transit de l'exoplanète 1

On admet que le rayon r_1 de l'exoplanète 1, le rayon r_E de l'étoile E et la diminution ΔP_{lum} de la puissance lumineuse relative reçue par la caméra pendant le transit de l'exoplanète 1 vérifient la relation suivante :

$$\Delta P_{lum} = \left(\frac{r_1}{r_E}\right)^2$$

Q6. Indiquer qualitativement l'influence de la taille de l'exoplanète sur la diminution ΔP_{lum} de la puissance lumineuse relative reçue par la caméra au cours d'un transit.

Q7. Vérifier que le rayon r_1 de l'exoplanète 1 vaut environ $1{,}7\times10^4$ km.

Q8. En utilisant les figures 2 et 3, et sachant que l'angle α est très petit devant 1 rad, estimer la valeur de la période T_1 de révolution de l'exoplanète 1 que l'on peut déduire des observations. Commenter.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite donc d'être correctement présentée.