Métropole 2009 EXERCICE III. DÉTECTION D'EXOPLANÈTES (4 points)

La première exoplanète, planète gravitant autour d'une autre étoile que le Soleil, a été détectée en 1995.
Avec les instruments actuels, la détection « directe » des exoplanètes n'est guère possible. En effet, d'après Michel Mayor, un des grands spécialistes du sujet, observer une exoplanète reviendrait à essayer de distinguer à 1000 km une flamme de bougie près d'un phare.
Différents moyens sont employés pour « deviner » l'existence de ces planètes si éloignées de nous. En décembre 2006, le satellite Corot, équipé d'un télescope et de différents instruments de mesure, a été mis en orbite avec pour objectif la détection et l'étude de nouvelles exoplanètes. En mai 2007, un communiqué de presse annonce le succès des premières observations de Corot : une nouvelle exoplanète a été découverte. Les résultats à venir sont très attendus par les scientifiques aussi bien que par le grand public.

D'après Science magazine et Internet.

La première partie de cet exercice montre que la présence d'une exoplanète ne peut pas être détectée par un télescope classique.
La deuxième partie montre que l'on peut détecter une exoplanète en observant ses passages périodiques devant son étoile.

1. Observation au télescope

À la lecture de différents articles scientifiques, Julie et Léa, deux jeunes astronomes amateurs, décident d'observer avec leur télescope une exoplanète et son étoile hôte. Grâce à une base de données d'exoplanètes disponible sur Internet, elles choisissent le couple HD 209458 située dans la constellation de Pégase.
Julie et Léa pointent leur télescope dans la direction souhaitée et après vérification des réglages, observent l'étoile mais sans sa compagne... Analysons le problème sans tenir compte de la luminosité de l'étoile par rapport à l'exoplanète.
Un extrait de la fiche technique du télescope utilisé pour leurs observations est donnée ci-dessous :

Télescope de Newton	
Diamètre :	*300 mm*
Distance focale du miroir primaire :	$f_1 = 1200$ mm
Distance focale de l'oculaire :	$f_2 = 30$ mm

Le schéma du télescope est représenté sur la ***FIGURE 3 DE L'ANNEXE EN PAGE 11****.*
On note :
- (M1), le miroir sphérique concave d'axe optique Δ, de sommet S et de foyer F_1
- (M2), le miroir secondaire plan incliné de 45° par rapport à Δ
- et (L), l'oculaire assimilable à une lentille mince convergente de foyers F_2 et F'_2 et d'axe optique Δ'.

Le couple étoile - exoplanète situé à l'infini est noté AB et son diamètre apparent α. L'image de AB donnée par le miroir primaire (M1) est notée A_1B_1

1.1. Indiquer, en justifiant, la position du foyer F_1 sur la **FIGURE 3 DE L'ANNEXE PAGE 11**.

1.2 *On rappelle que le diamètre apparent α est l'angle sous lequel l'œil de l'observateur voit l'objet.* Donner son expression en fonction de A_1B_1 et f_1. On considère que, α étant petit, tan $\alpha = \alpha$ avec α exprimé en radians.

1.3. *On note A_2B_2 l'image de A_1B_1 donnée par le miroir plan (M2).*
1.3.1. Sur la **FIGURE 3 DE L'ANNEXE PAGE 11**, indiquer la position de l'image A_2B_2 donnée par le miroir plan de l'image intermédiaire A_1B_1.
1.3.2. Quelle relation existe-t-il entre les longueurs A_1B_1 et A_2B_2 ?

1.4. *Le réglage du télescope étant afocal, l'image A_2B_2 se forme dans le plan focal objet de l'oculaire. On appelle A'B' l'image de l'objet A_2B_2 donnée par l'oculaire.*

1.4.1. Où se trouve l'image définitive *A'B'* du couple étoile - exoplanète ?

1.4.2. Justifier la réponse précédente après avoir fait le tracé sur la **FIGURE 3 DE L'ANNEXE PAGE 11**, deux rayons lumineux caractéristiques, à partir du point B_2, traversant l'oculaire (*L*).

1.5. Étude du grossissement

1.5.1. Faire figurer sur la **FIGURE 3 DE L'ANNEXE PAGE 11**, le diamètre apparent α' sous lequel est vu le couple étoile - exoplanète à travers le télescope.

1.5.2. Exprimer α' en fonction de A_2B_2 et de f_2. *On considère que, α' étant petit, tan α' = α' avec α' exprimé en radians.*

1.5.3. *Le grossissement Gr d'un instrument d'optique est défini par la relation* $Gr = \frac{\alpha'}{\alpha}$

Montrer que $Gr = \frac{f_1}{f_2}$. Calculer la valeur de ce rapport.

1.6. *On considère que deux points sont aisément discernables à l'œil nu s'ils sont observés sous un diamètre apparent supérieur ou égal à* $3{,}5 \times 10^{-4}$ *rad.*

Document 1 : Caractéristiques du couple étoile - exoplanète :

Exoplanète HD 209458 b	*Étoile hôte : HD 209458*
Distance moyenne à son étoile : 0,045 u.a *Type : « Hot Jupiter », planète semblable à Jupiter mais très proche de son étoile*	*Distance à la Terre : 153 années de lumière*

1 unité astronomique : 1 u.a = 150×10^6 *km ; 1 année de lumière : 1 a.l =* $9{,}5 \times 10^{15}$ *m*

1.6.1. En vous aidant des caractéristiques du couple étoile - exoplanète données dans le **document 1**, estimer la valeur du diamètre apparent α sous lequel est vu le couple étoile - exoplanète à l'œil nu.

1.6.2. Calculer la valeur du diamètre apparent α' sous lequel est vu le couple étoile - exoplanète à travers le télescope.

1.6.3. Montrer que même si la luminosité de l'étoile hôte n'était pas si importante, Léa et Julie n'auraient pas pu obtenir une image où l'étoile et sa compagne seraient séparées.

2. Méthode des transits

*Comme on l'a vu précédemment, on ne peut pas détecter de manière directe la présence d'une exoplanète autour d'une étoile. La méthode des transits peut alors être utilisée en se servant d'un photomètre à la sortie du télescope ; cet instrument permet de mesurer la luminosité de l'astre observé. Dans le cas présent, le passage répété d'une planète (**figure 4**) devant son étoile provoque une diminution périodique de la luminosité de l'étoile.*
*Par exemple la mesure de la luminosité de l'étoile HD 209458 en fonction du temps conduit au graphe de la **figure 5**.*

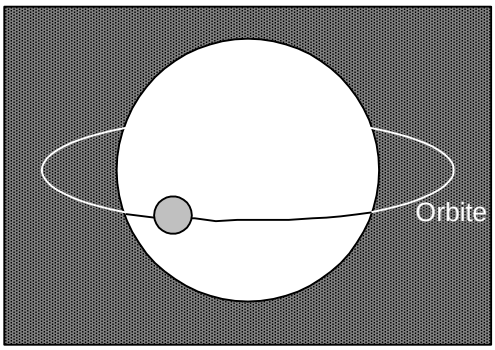
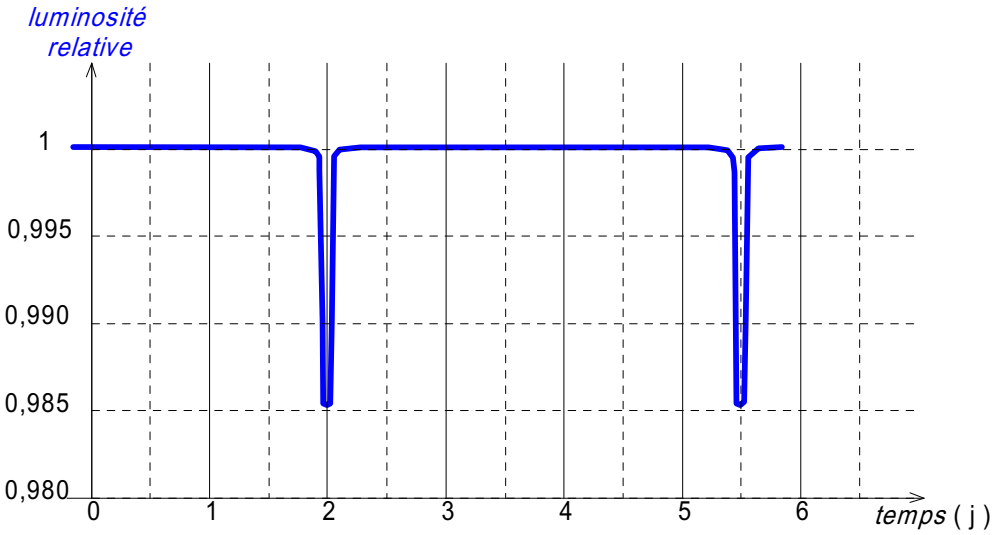


Figure 4 : Passage de la planète devant son étoile hôte

Figure 5 : évolution temporelle de la luminosité de l'étoile HD 209458



Document 2 : Caractéristiques du couple étoile - exoplanète:

Exoplanète HD 209458 b	*Etoile hôte : HD 209458*
Masse : $M_b = 0{,}69 \times M_J$ *M_J étant la masse de Jupiter*	*Masse : $M = 1{,}057 \times M_s$* *M_s étant la masse du Soleil*

Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ (S.I.)
Masse du Soleil : $M_s = 2{,}00 \times 10^{30}$ kg ; Masse de Jupiter : $M_J = 1{,}90 \times 10^{27}$ kg
1 jour = 86 400 s.

2.1. D'après la **figure 5**, quelle est la période de révolution *T* de la planète HD 209458 b ? Exprimer cette période T en secondes.

2.2. En utilisant la troisième loi de Kepler et les données du **document 2**, calculer la valeur du demi grand axe *a* de l'ellipse parcourue par la planète autour de son étoile. Comparer avec la valeur de la distance moyenne de la planète à son étoile donnée dans le **document 1**.

Rappel : la troisième loi de Kepler donne une relation entre la période de révolution T de la planète, le demi grand axe a de l'orbite elliptique de la planète autour de son étoile et la masse M de l'étoile :

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE III

Figure 3 : schéma du télescope

