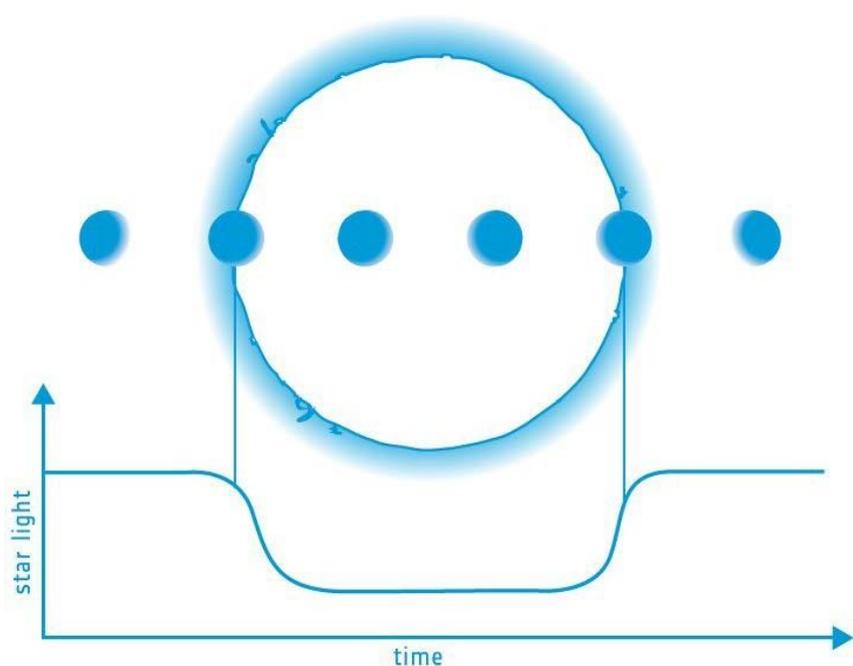
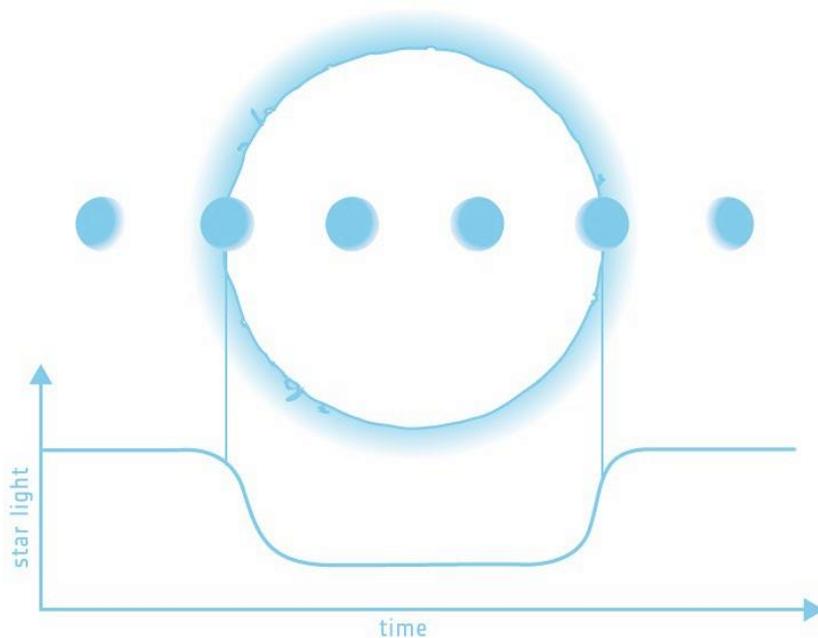


teach with space

→ EXOPLANÈTES EN TRANSIT

Caractériser les exoplanètes à l'aide de données satellite





Guide du professeur

En bref	page 3
Synthèse des activités	page 4
Introduction	page 5
Activité 1 : Comprendre les courbes d'intensité lumineuse	page 6
Activité 2 : Être un détective d'exoplanètes	page 9
Fiche de l'élève	page 11
Liens	page 19

teach with space – Détective d'exoplanètes | P31
www.esa.int/Education

ESA Education apprécie les retours et commentaires à teachers@esa.int
 Vos retours possibles également à esero.france@cnes.fr

Produit par ESA Education
 Copyright 2022 © European Space Agency

Traduit et adapté par ESERO France et le CNES, 2023

→ DÉTECTIVE D'EXOPLANÈTES

Caractériser les exoplanètes à l'aide de données satellite

EN BREF

Thèmes : mathématiques, physique, astronomie

Tranche d'âge : 13 à 18 ans

Type : activité scolaire, modélisation pratique

Difficulté : moyenne

Temps nécessaire pour la leçon : 45 minutes

Coût : bas (0 à 10 euros)

Lieu : salle de classe

Mots clés : physique, mathématiques, astronomie, exoplanètes, courbes d'intensité lumineuse, transits, orbites, changement d'échelle, graphiques, période

Aperçu

Dans cet ensemble d'activités, les élèves découvriront comment les scientifiques étudient les exoplanètes avec des télescopes, en utilisant la méthode des transits. En outre, ils caractériseront les exoplanètes à l'aide de courbes d'intensité lumineuse modèles et de celles réelles provenant du satellite Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite) de l'ESA.

Les élèves s'entraîneront à tracer et à interpréter des données, et à changer l'échelle d'un graphique dans le contexte de la caractérisation des exoplanètes.

Cette activité fait partie d'une série qui comprend aussi : « **Exoplanètes en mouvement** » où les élèves construisent leur propre modèle de transport en commun ; et « **Exoplanète dans une boîte** », où les élèves construisent un modèle de transit dans une boîte à chaussures et calculent la taille d'une exoplanète.

Objectifs d'apprentissage

- Comprendre ce qu'est une exoplanète et comment les satellites permettent d'étudier les exoplanètes.
- Comprendre comment utiliser la méthode des transits pour caractériser les exoplanètes.
- Améliorer les compétences expérimentales à travers l'observation et l'interprétation des courbes d'intensité lumineuse mesurées.
- Mener une réflexion mathématique et convertir un modèle abstrait en un modèle réel.
- Interpréter les données expérimentales à l'aide de modèles et de graphiques mathématiques.
- Tirer des conclusions en comparant un modèle de système exoplanétaire à un système réel.
- Communiquer les résultats scientifiques et mathématiques à ses camarades.

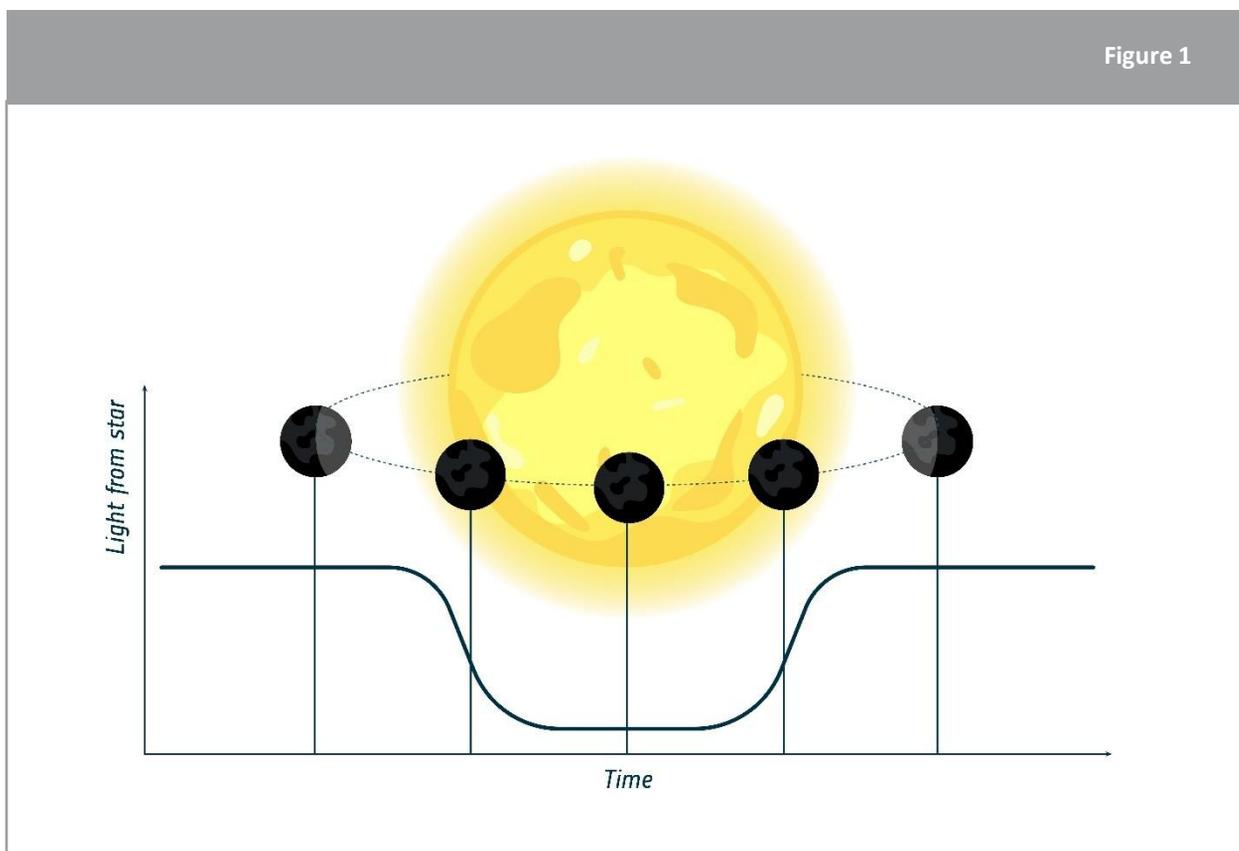
→ Synthèse des activités

Synthèse des activités					
	Titre	Description	Résultat	Exigences	Durée
1	Comprendre les courbes d'intensité lumineuse	Analyser les courbes d'intensité lumineuse synthétiques et réelles pour déterminer les informations qu'elles donnent sur les systèmes exoplanétaires modèle ou réel.	Comprendre comment changer l'échelle des graphiques et pourquoi. Développer des compétences en matière d'interprétation des graphiques et les utiliser pour tirer des conclusions sur des systèmes exoplanétaires réels.	Aucune	30 minutes
2	Être un détective d'exoplanètes	Faire la synthèse des connaissances acquises dans les activités précédentes et expliquer les résultats obtenus par les scientifiques à partir des courbes d'intensité lumineuse mesurées par satellite.	Mettre en relation les résultats d'un modèle avec le cas réel, à l'aide d'analogies.	Aucune	10 minutes

→ Introduction

Dans cet ensemble d'activités, nous allons nous concentrer sur l'analyse des courbes d'intensité lumineuse obtenues en utilisant la méthode des transits. Cette méthode a été appliquée pour détecter et caractériser un grand nombre d'exoplanètes connues à ce jour. Avec cette technique, les télescopes mesurent très précisément la quantité de lumière émise par des étoiles données sur des périodes de temps pouvant aller de quelques heures à quelques mois. La mesure de la lumière émise par un objet en fonction du temps est appelée « courbe d'intensité lumineuse » (voir figure 1). En analysant la forme de la courbe et ses caractéristiques, on peut en savoir plus sur l'étoile et sur les éventuelles exoplanètes qui orbitent autour d'elle.

Quand une exoplanète passe devant l'étoile autour de laquelle elle orbite, elle masque une petite partie de la lumière de son étoile – c'est ce que l'on appelle un « transit ». Si un télescope observe la lumière de cette étoile pendant ce transit, il mesurera un petit creux dans la courbe d'intensité lumineuse.



↑ Représentation du creux dans la courbe d'intensité lumineuse d'une étoile lors du transit d'une exoplanète.

La profondeur du creux dépend directement de la proportion de lumière stellaire masquée par l'exoplanète, qui varie en fonction de la taille de l'exoplanète par rapport à l'étoile. Plus la planète est grande par rapport à l'étoile, plus elle bloque une large portion de la luminosité stellaire. Si on connaît la taille de l'étoile, on peut déterminer la taille de la planète.

→ Activité 1 : Comprendre les courbes d'intensité lumineuse

Cet exercice portera sur le changement d'échelle et l'interprétation des graphiques représentant des données satellite réelles et simulées.

À titre d'introduction aux exoplanètes, il est conseillé de réaliser l'activité P32-*Exoplanètes en mouvement*.

Pour familiariser les élèves avec les exoplanètes, vous pouvez également utiliser le matériel vidéo disponible dans les liens ci-dessous ou vous servir des informations de base comme ressource complémentaire.

Voici quelques suggestions de matériel vidéo de l'ESA :

- Série Meet the Experts – Other Worlds:
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/07/Meet_the_Experts_Other_worlds
- Meet Cheops, the Characterising Exoplanet Satellite :
http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite
- Paxi explore des exoplanètes !
<https://youtu.be/C2BsR5Jis3Q>

Une fois l'introduction aux exoplanètes, à la méthode des transits et à Cheops terminée, les élèves pourront travailler sur l'Activité 1 de la fiche de l'élève.

Exercice 1 – Changer l'échelle des graphiques

Il est important de comprendre l'intérêt du changement d'échelle des graphiques, tant pour les mathématiques que pour les sciences. Dans cet exercice, les élèves verront un exemple de données réelles acquises par le satellite Cheops ; ils s'en serviront pour voir comment mettre les graphiques à une autre échelle afin de retirer le plus d'informations possible de leurs données.

Dans ces graphiques, la lumière de l'étoile sur l'axe des y est représentée en pourcentage de sa valeur moyenne de luminosité mesurée au cours de la période d'observation. Les deux graphiques de l'exercice contiennent exactement les mêmes données, mais à une échelle différente.

Remarque : Le graphique représentant la lumière de l'étoile en pourcentage de sa valeur moyenne de luminosité, cette luminosité moyenne est considérée comme égale à une valeur de 100 % sur l'axe des y. Si des événements survenus pendant les observations augmentent la quantité de lumière mesurée, comme par exemple des éruptions stellaires, des valeurs de luminosité supérieures à la valeur moyenne sont mesurées et représentées sur le graphique sous forme de mesures supérieures à 100 %.

Discussion

Voir les réponses à l'exercice 1 ci-dessous. Discutez des réponses avec vos élèves, ainsi que du principe de changement d'échelle.

1.1. Les élèves devraient constater qu'à la figure 3, le transit est beaucoup plus facile à identifier qu'à la figure 2, en raison de la différence d'échelle de l'axe des y.

1.2. À la figure 2, la courbe d'intensité lumineuse semble presque constante, tandis qu'à la figure 3, on observe une diminution du pourcentage de luminosité de l'étoile dans la courbe entre 6,5 h et 10,75 h.

Le temps (heures) indiqué sur l'axe des x est le même pour les deux graphiques.

Les valeurs de luminosité (%) indiquées sur l'axe des y sont différentes. Sur le premier graphique, les valeurs sont comprises entre 0 % et 110 %, tandis que sur le graphique mis à une autre échelle, où le creux est visible, les valeurs sont comprises entre 99,3 % et 100,1 %.

Exercice 2 – Interpréter les courbes d'intensité lumineuse

Dans cet exercice, on fournira aux élèves des exemples de courbes de luminosité du transit simulées et des indications sur la manière de lire et d'interpréter les graphiques de ces courbes. Pour cet exercice, les élèves peuvent travailler individuellement ou en binômes.

Informations supplémentaires : la quantité de lumière stellaire masquée par la planète est directement liée à la surface projetée de la planète. La lumière masquée par la planète est proportionnelle à $\frac{R_p^2}{D^2}$,

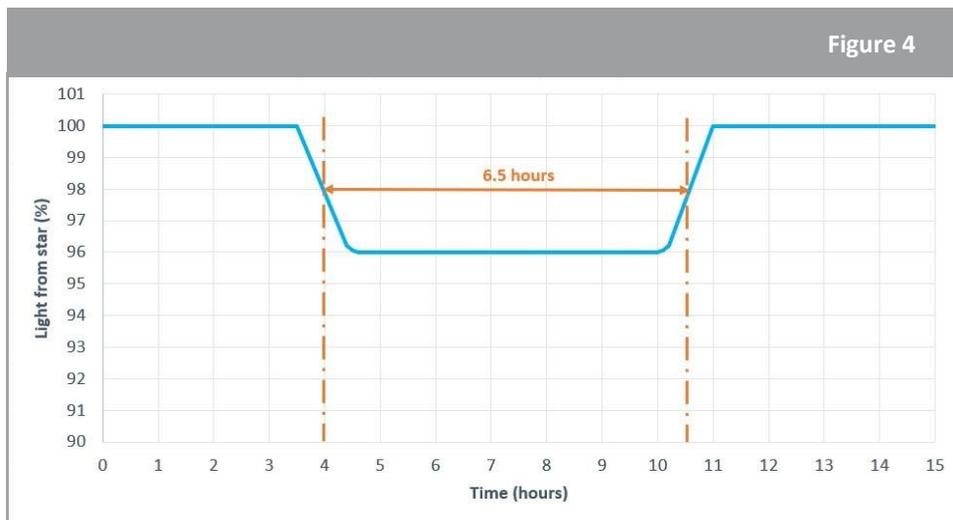
où R_p est le rayon de la planète, et R_s le rayon de l'étoile. Si une planète masque deux fois plus de lumière, cela ne signifie pas qu'elle est deux fois plus grande : pour masquer deux fois plus de lumière, la planète doit être $\sqrt{2}$ (= environ 1,41) fois plus grande.

Discussion

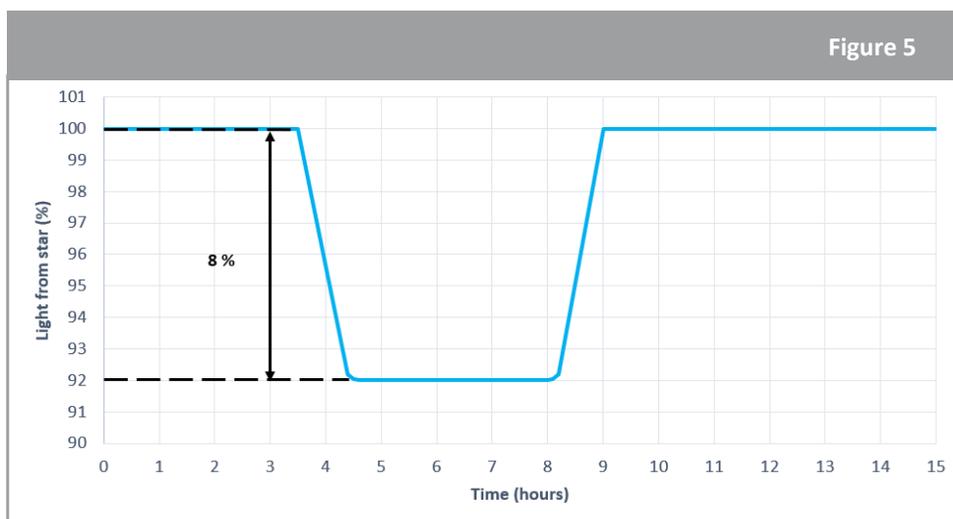
Voir les réponses à l'exercice 2 ci-dessous :

2.1. L'exoplanète observée et qui a permis d'obtenir cette courbe d'intensité lumineuse a mis **4,5 heures** pour passer devant l'étoile et a masqué **4 %** de la lumière stellaire.

2.2.



2.3



Une fois que les élèves ont fait cet exercice individuellement ou par deux, discutez des résultats avec l'ensemble des élèves de la classe pour les préparer à l'interprétation des données réelles de Cheops.

Exercice 3 – Interpréter des données satellite réelles

Dans cet exercice, les élèves appliqueront les concepts appris dans les exercices précédents en vue d'interpréter une courbe de luminosité du transit de l'exoplanète WASP 189b observée avec le satellite Cheops de l'ESA.

Discussion

Voir les réponses correctes ci-dessous.

- 3.1. 4,5 heures
- 3.2. 0,55 %

Informations supplémentaires :

En analysant les données réelles, vos élèves peuvent remarquer des différences entre les données simulées et les données réelles. Ils peuvent avoir des questions en ce qui concerne l'ajustement ou les discontinuités de la courbe d'intensité lumineuse.

L'ajustement est le processus de construction d'une courbe à partir d'une fonction mathématique qui correspond le mieux à une série de points de données.

Il y a deux types d'événements survenant pendant l'orbite de Cheops qui peuvent éventuellement empêcher de mesurer la luminosité d'une étoile de façon continue. Ces événements créent des discontinuités dans la courbe d'intensité lumineuse. Premier type d'évènement : l'étoile est masquée par la Terre, c'est ce que l'on appelle une éclipse terrestre. Deuxième type d'évènement : Cheops survole une région de l'Atlantique Sud avec de nombreuses perturbations pour les instruments très sensibles embarqués à bord du satellite. Les perturbations sont si importantes que les scientifiques n'essaient même pas de mesurer l'intensité lumineuse de l'étoile lorsque le satellite survole cette région.

Exercice 4 – Période orbitale

Cet exercice vise à montrer comment la période orbitale peut être déterminée à partir d'une courbe d'intensité lumineuse.

Remarque : la période orbitale d'une planète est le temps qu'il lui faut pour effectuer une orbite complète autour de son étoile. On peut la déterminer en prenant le centre de deux transits consécutifs de la même exoplanète et en mesurant l'intervalle de temps qui les sépare.

Discussion

Voir les réponses correctes ci-dessous.

- 4.1. 3 jours
- 4.2. Les élèves devraient être en mesure de dire avec leurs propres mots que dans ce système exoplanétaire, deux exoplanètes peuvent être détectées en orbite autour de la même étoile. Ils devraient préciser que les creux les plus profonds de la courbe révèlent la présence d'une planète plus grande avec une période orbitale de 3 jours terrestres et masquant 2 % de la luminosité de l'étoile, et que les creux les moins profonds de la courbe évoquent la présence d'une planète plus petite avec une période orbitale de 2,5 jours terrestres et qui occulte 1 % de la luminosité.

Si vous avez introduit le concept selon lequel la lumière masquée par une exoplanète est proportionnelle à $\frac{R_p^2}{R_s^2}$

les élèves devraient pouvoir trouver que la planète relativement plus importante est donc 1,4 fois plus grande que l'autre planète.

→ Activité 2 – Être un détective d'exoplanètes

Dans cette activité, les élèves mettront en pratique les connaissances acquises lors de l'analyse des précédentes courbes d'intensité lumineuse et interpréteront l'observation d'un système exoplanétaire réalisée par Cheops, à la manière d'un scientifique.

Exercice 1 : Décrire l'observation des exoplanètes

Les phrases devraient être complétées comme suit :

*Lorsqu'une exoplanète passe entre son étoile et le **satellite**, elle masque une petite partie du flux lumineux de l'**étoile**, provoquant un **creux** de la courbe d'intensité lumineuse. C'est ce qu'on appelle un **transit**.*

*Si plusieurs **orbites** de la même exoplanète sont observées, l'**intervalle de temps** entre les creux détectés dans la courbe d'intensité lumineuse constitue une mesure directe de la période orbitale de la planète.*

*Une exoplanète **plus grande** génère un creux plus profond dans la courbe d'intensité lumineuse mesurée, tandis qu'une exoplanète **plus petite** génère un creux **moins profond**.*

*Les exoplanètes peuvent être différenciées les unes des autres par la **profondeur** des creux observés dans leur courbe d'intensité lumineuse **ainsi que** par leur **période** orbitale.*

Pour stimuler les élèves de votre classe, vous pouvez leur demander de formuler leur conclusion avec leurs propres mots. Lors de la discussion sur les conclusions des élèves, assurez-vous qu'ils ne mélangent pas les « observations » et les « conclusions », et que ces dernières découlent de leurs observations.

Exercice 2 : Observer les exoplanètes

Dans le deuxième exercice, il est demandé aux élèves d'interpréter les données réelles de Cheops comme le ferait un scientifique professionnel. Pour soutenir ceux qui en ont besoin, vous pouvez leur poser les questions ci-dessous afin de les aider à structurer l'interprétation de la courbe d'intensité lumineuse.

1. Combien d'exoplanètes le système observé comprend-il ?
2. Quelle est la période orbitale (intervalle entre les transits) de chaque exoplanète ?
3. Quelle quantité de lumière (en %) est masquée par chaque exoplanète ?
4. Pouvez-vous dire quelques mots sur la taille des exoplanètes ?
5. Voyez-vous autre chose de particulier ? Essayez de faire une description avec vos propres mots, ainsi qu'une interprétation si possible.

Informations supplémentaires : Le système TOI-178 est situé à seulement 205 années-lumière de la Terre. La mission Cheops de l'ESA a révélé un système planétaire unique composé de six exoplanètes, dont cinq exécutent une rare chorégraphie alors qu'elles orbitent autour de leur étoile centrale. À noter que dans cet ensemble de données, seules quatre planètes sont identifiables (b, c, d et e).

Ce phénomène, appelé résonance orbitale, signifie que des motifs se répètent lorsque les planètes tournent autour de l'étoile, certaines planètes s'alignant à quelques orbites d'intervalle (https://www.esa.int/Space_in_Member_States/France/Cheops_l_observateur_d_exoplanetes_de_l_ESA_revele_un_systeme_planetaire_unique). Vous pouvez visualiser une représentation de ce phénomène dans l'animation suivante : <https://youtu.be/-WevvRG9ysY>

Les deux planètes intérieures (b et c) ont une densité comparable à celle de la Terre, tandis que les quatre planètes extérieures (d, e, f et g) sont gazeuses et ont une densité comparable à celle de Neptune et de Jupiter.

Alors que les planètes du système TOI-178 orbitent autour de leur étoile de manière très ordonnée, leurs densités ne suivent aucun schéma particulier. L'une des exoplanètes, une planète terrestre dense comme la Terre, se trouve juste à côté d'une planète de taille similaire, mais moins dense – comme une mini-planète Jupiter, et à côté de celle-ci se trouve une planète très similaire à Neptune.

→ DÉTECTIVE D'EXOPLANÈTES

Caractériser les exoplanètes à l'aide de données satellite

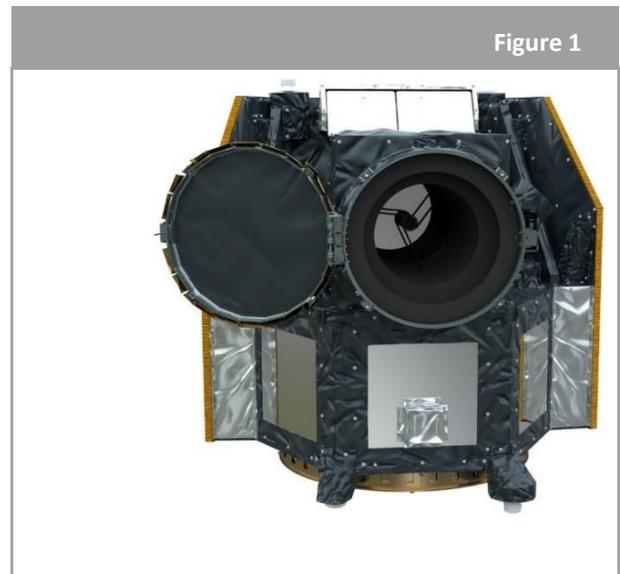
→ Introduction

L'étude d'un grand nombre d'exoplanètes différentes permet aux scientifiques de comprendre comment les systèmes exoplanétaires se forment et évoluent, une étape importante vers la compréhension de notre propre système solaire et de notre place dans l'Univers.

Dans cet ensemble d'activités, vous utiliserez des données réelles collectées par le satellite Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite) de l'ESA.

Grâce à la mesure précise des courbes d'intensité lumineuse des étoiles proches dont on sait qu'elles abritent des exoplanètes en transit, Cheops permettra de calculer la taille de ces exoplanètes. En combinant ces informations avec d'autres mesures, les scientifiques pourront déterminer

La densité des exoplanètes. Pour certaines exoplanètes spécifiques, on peut même déterminer si elles ont des nuages.



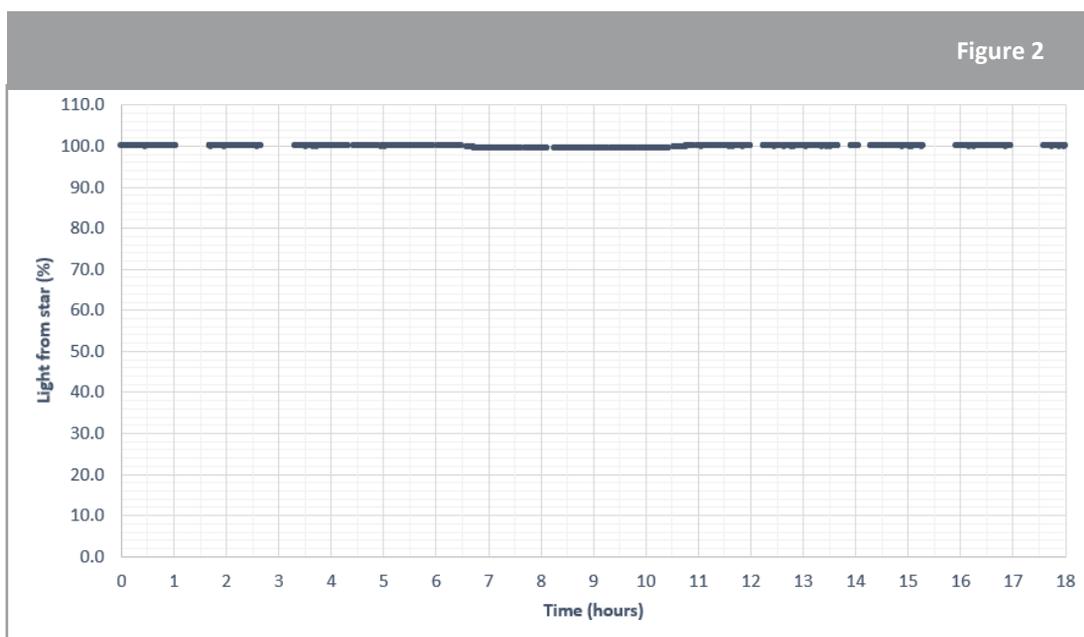
↑ Satellite Cheops

→ Activité 1 : Comprendre les courbes d'intensité lumineuse

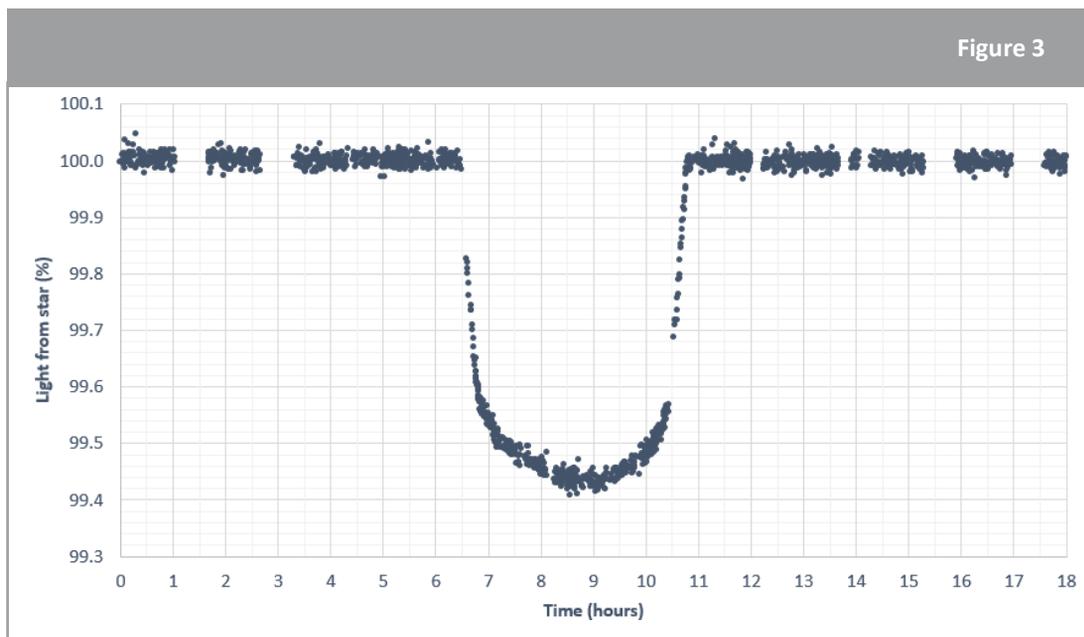
Lors de l'observation de transits exoplanétaires par un satellite, la profondeur, la forme et la position du creux dans la courbe d'intensité lumineuse peuvent nous renseigner sur le système exoplanétaire. Cette activité vous permettra d'explorer plus avant cette idée en utilisant les données réelles du satellite Cheops.

Exercice 1 – Changer l'échelle des graphiques

Les exoplanètes ne représentent généralement qu'une petite fraction de la taille de l'étoile autour de laquelle elles orbitent. Par exemple, la Terre fait un centième de la taille du Soleil et Jupiter un centième du diamètre du Soleil. La quantité de lumière occultée est donc souvent inférieure à un pour cent de la lumière totale émise par l'étoile.



↑ Courbe de luminosité du transit de l'exoplanète WASP 189b obtenue grâce à Cheops.



↑ Même courbe de luminosité du transit de WASP 189b obtenue grâce à Cheops, avec une échelle différente sur l'axe des y.

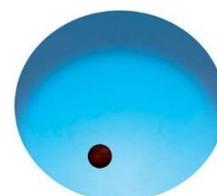
Considérons la courbe de luminosité du transit de WASP 189b, obtenue avec Cheops, présentée à la figure 2 et à la figure 3 :

1.1. Pouvez-vous identifier le transit de l'exoplanète sur les figures 2 et 3 ?

1.2. Comparez les deux graphiques et décrivez les différences ci-dessous :

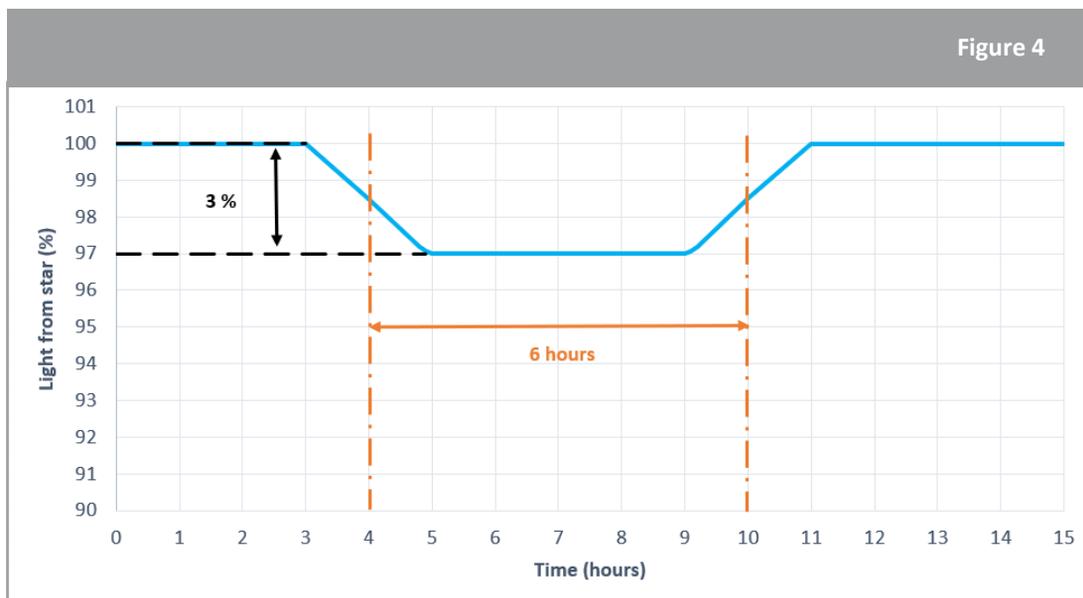
Le saviez-vous :

WASP 189 b est une exoplanète géante gazeuse dont la taille est environ moitié plus grande que celle de Jupiter. Elle suit une orbite de 2,7 jours terrestres autour d'une étoile dont la température est supérieure de plus de 2000°C à celle de notre Soleil, et la taille presque deux fois et demie plus grande.



Exercice 2 – Interpréter les courbes d'intensité lumineuse

Vous voyez ci-dessous une représentation simplifiée de la courbe d'intensité lumineuse d'une étoile mesurée lors du transit d'une exoplanète. Les lignes en pointillé indiquent comment déterminer certaines informations de base sur le système de l'exoplanète à partir du graphique :



↑ Exemple de courbe d'intensité lumineuse simulée

La courbe d'intensité lumineuse permet de déterminer que l'exoplanète observée a mis 6 heures pour passer devant l'étoile et qu'elle a masqué 3 % de sa lumière.

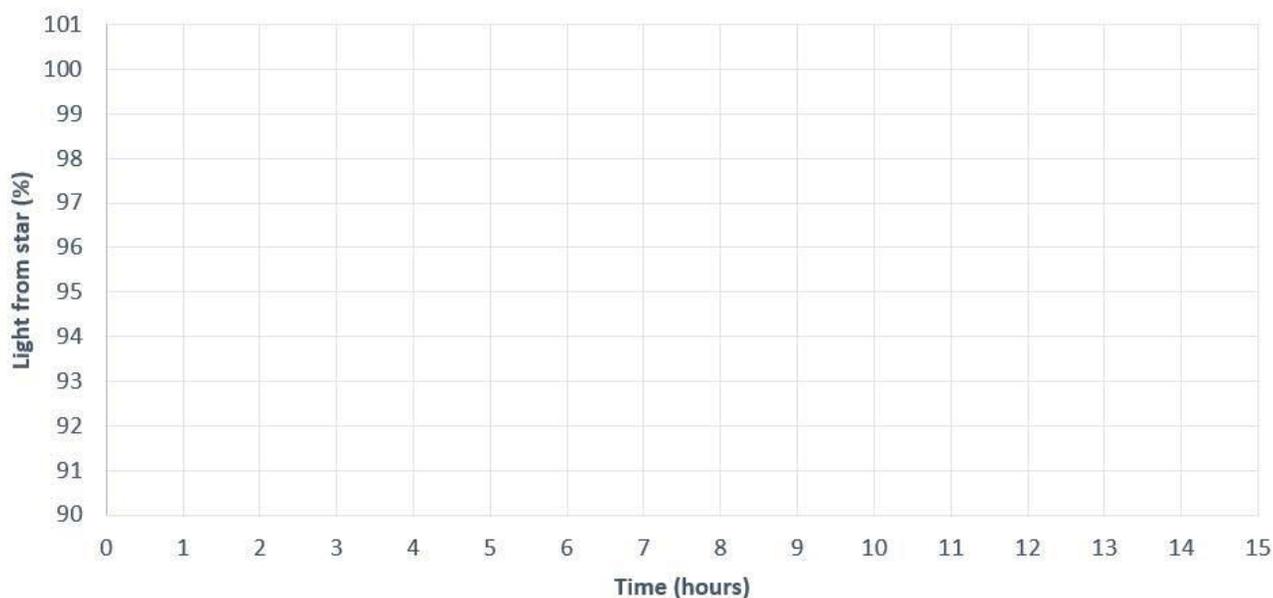
2.1. Examinez la courbe d'intensité lumineuse de la figure 5 et complétez les informations qui manquent.



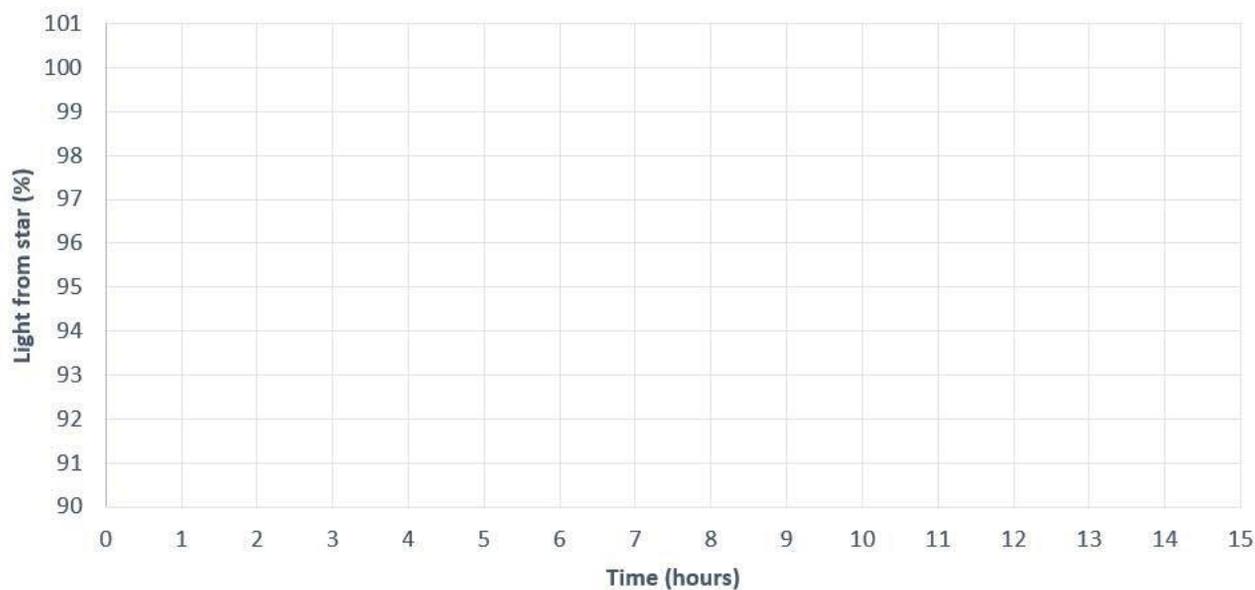
↑ Courbe d'intensité lumineuse simulée.

L'exoplanète observée a mis__heures pour passer devant l'étoile et elle a masqué__% de sa lumière.

2.2. Dessinez la courbe d'intensité lumineuse attendue pour une exoplanète de la même taille que celle de la figure 5, mais dont le transit dure deux heures de plus :

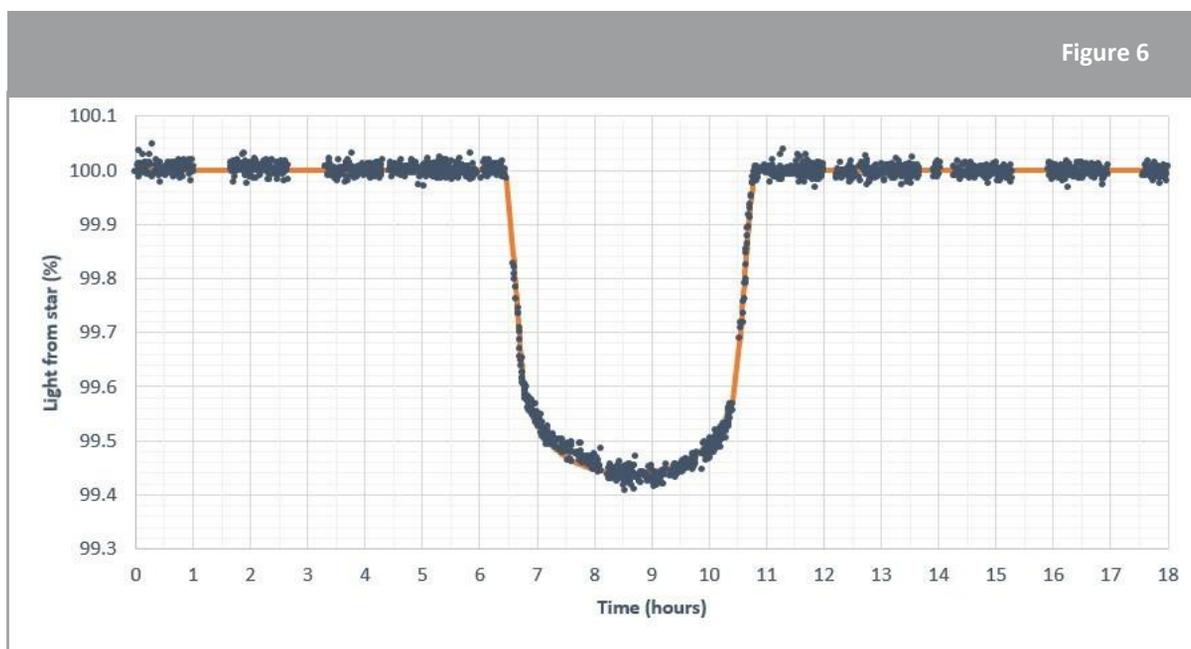


2.3. Dessinez la courbe d'intensité lumineuse d'une autre exoplanète orbitant autour de la même étoile que celle de la figure 5, sachant que l'exoplanète est plus grande que l'exoplanète précédente et occulte deux fois plus de lumière. Supposez que l'exoplanète a le même temps de transit que l'exoplanète de la figure 5 :



Exercice 3 – Interpréter des données satellite réelles

En vous servant de ce que vous avez appris jusqu'ici, vous pouvez analyser la courbe de luminosité du transit de WASP 189 b, obtenue avec Cheops, présentée plus tôt au cours de l'activité (Figure 3).



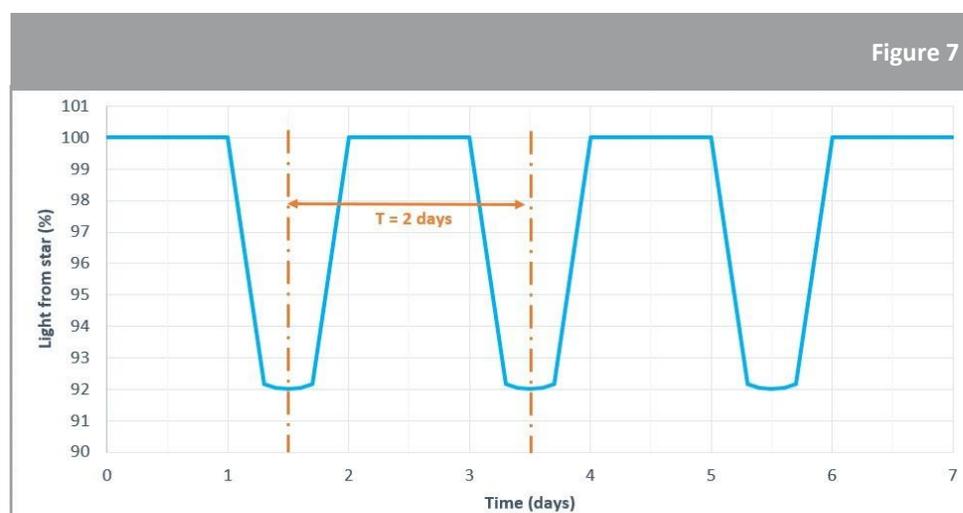
↑ Courbe de luminosité du transit de WASP 189 b, incluant le modèle le mieux ajusté.

- 3.1. Combien de temps environ faut-il à WASP 189 b pour transiter devant son étoile ? ____
- 3.2. Quel pourcentage environ de la lumière stellaire WASP 189 b occulte-t-elle ? _____

Exercice 4 – Période orbitale

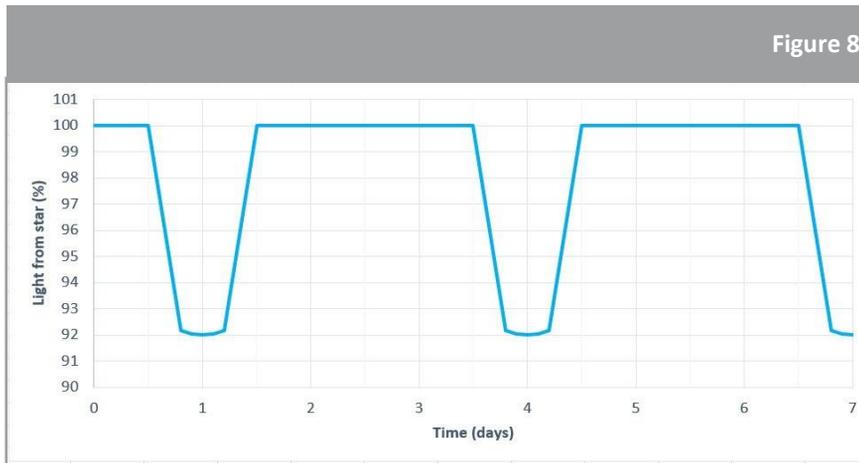
Chaque fois qu'une exoplanète transite devant son étoile, un creux apparaît dans la courbe d'intensité lumineuse. Si l'observation d'une étoile dure assez longtemps pour que l'exoplanète effectue plus d'une orbite, il y aura plus d'un creux dans la courbe d'intensité lumineuse. L'intervalle de temps entre le creux initial et le creux suivant est la **période orbitale (T)** de l'exoplanète.

La figure 7 est une courbe d'intensité lumineuse simulée pendant une semaine. Pendant tout ce temps, la planète simulée a transité trois fois. En mesurant la distance entre les creux de la courbe d'intensité lumineuse, on constate que la période orbitale de la planète est de 2 jours.



↑ Courbe d'intensité lumineuse simulée, y compris les divers transits.

4.1. Examinez la figure 8 ci-dessous :



↑ Schéma simplifié d'une courbe d'intensité lumineuse.

Quelle est la période orbitale des exoplanètes dont on voit les transits sur la courbe d'intensité lumineuse à la figure 8 ?

4.2. En vous appuyant sur les connaissances acquises, que pouvez-vous dire sur le système d'exoplanètes observé dont la courbe d'intensité lumineuse est représentée à la figure 9 ?

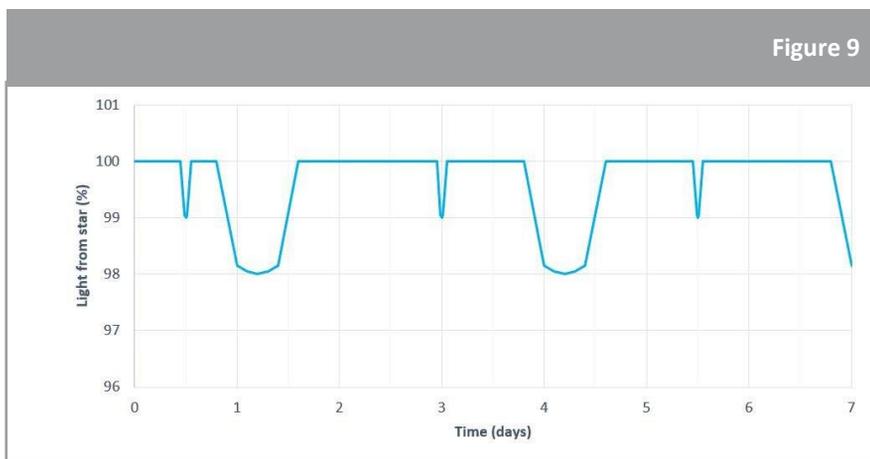


Schéma simplifié d'une courbe d'intensité lumineuse avec plusieurs transits.

→ Activité 2 – Être un détective d'exoplanètes

Vous êtes prêt à analyser des observations réelles comme le ferait un scientifique spécialisé dans les exoplanètes et à faire la synthèse de ce que vous avez appris. Vous comparerez vos observations de votre propre modèle de système exoplanétaire avec celles de systèmes exoplanétaires réels acquises avec Cheops.

Exercice 1 : Décrire l'observation des exoplanètes

Complétez les espaces en utilisant les mots du nuage de mots pour résumer ce que vous avez appris. Chaque mot ne sera utilisé qu'une seule fois.

<i>satellite</i>	<i>plus grande</i>	<i>moins profond</i>	<i>étoile</i>	<i>transit</i>
<i>période</i>	<i>orbites</i>	<i>profondeur</i>	<i>plus petite</i>	<i>intervalle de temps</i>

Lorsqu'une exoplanète passe entre son étoile et le _____, elle masque une petite partie du flux lumineux de l'_____, provoquant un _____ de la courbe d'intensité lumineuse. C'est ce qu'on appelle un _____.

Si plusieurs _____ de la même exoplanète sont observées, l'_____ entre les creux détectés dans la courbe d'intensité lumineuse constitue une mesure directe de la période orbitale de la planète.

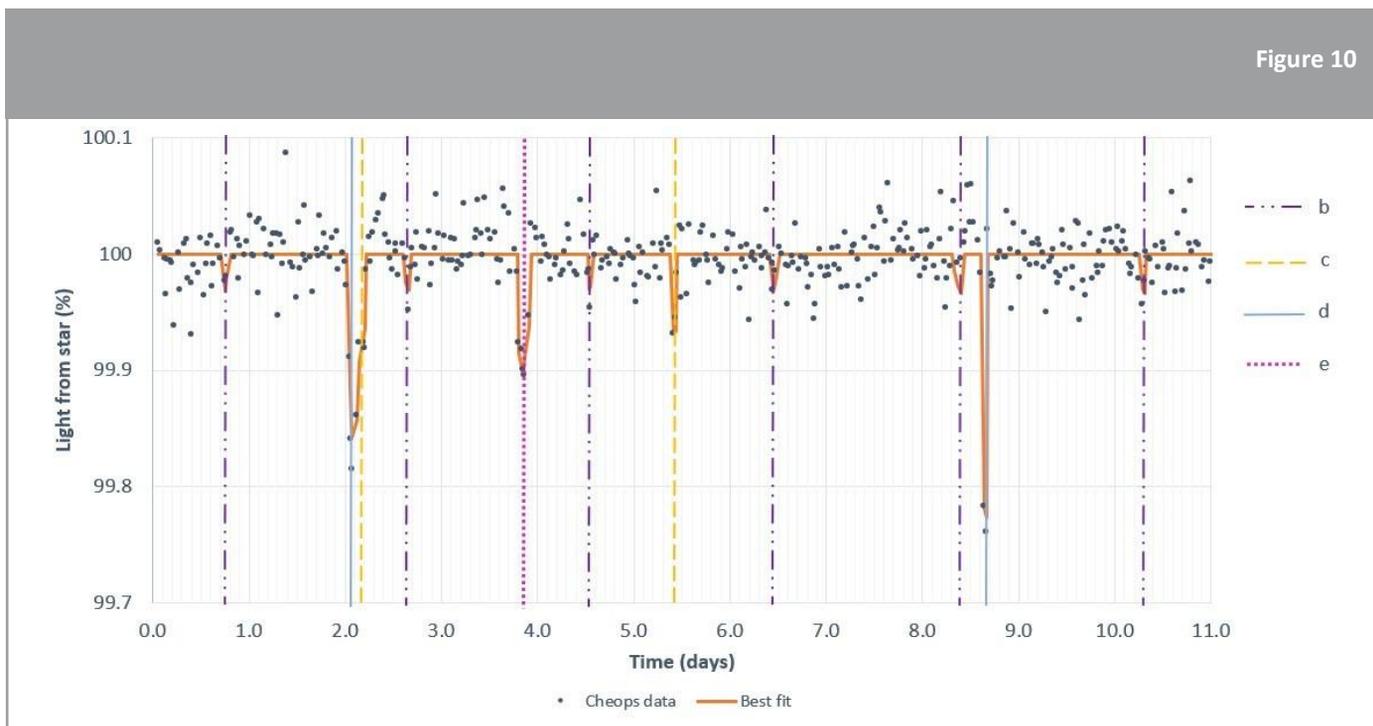
Une exoplanète _____ génère un creux plus profond dans la courbe d'intensité lumineuse mesurée, tandis qu'une exoplanète _____ génère un creux _____.

Les exoplanètes peuvent être différenciées les unes des autres par la _____ des creux observés dans leur courbe d'intensité lumineuse ainsi que par leur _____ orbitale.

Exercice 2 : Observer les exoplanètes

Vous êtes prêt à interpréter cette courbe d'intensité lumineuse du système TOI-178 observé sur une période de 11 jours par Cheops.

Analysez la courbe d'intensité lumineuse de la figure 10 et indiquez les informations que vous pouvez retirer de cet ensemble de données.



↑ Courbe d'intensité lumineuse du système TOI-178 observé par Cheops

→ Liens utiles

Ressources de l'ESA

Ressources de l'ESA pour la classe

esa.int/Education/Classroom_resources

ESERO France : <https://esero.fr/ressources/>

Teach with astronomy esa.int/Education/Teach_with_astronomy

Meet Cheops: the Characterising Exoplanet Satellite

esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite

Meet the Experts series – Other Worlds

esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/07/Meet_the_Experts_Other_worlds

Paxi explore des exoplanètes !

esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Paxi_explores_exoplanets

Hack an Exoplanet <https://hackanexoplanet.esa.int/fr/>

Projets spatiaux de l'ESA

ESA's exoplanet missions timeline

<http://sci.esa.int/exoplanets/60649-exoplanet-mission-timeline>

Cheops - CHaracterising ExOPlanet Satellite

esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops

Webb - James Webb Space Telescope

esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Webb

Detecting exoplanets with Gaia

<https://sci.esa.int/s/WEmoOnW>

PLATO - PLANetary Transits and Oscillations of stars

sci.esa.int/plato

ARIEL - the Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey

sci.esa.int/ariel

Informations supplémentaires

Animation artistique des orbites et résonances du système TOI-178

<https://youtu.be/-WevvRG9ysY>