

# Physique chimie – Corrigé bac 2020 Polynésie remplacement – Exercice 3

## Exercice 3 : Détection d'exoplanète - Durée conseillée : 55 min

L'observation des astres lointains comme les exoplanètes s'améliore. Dans la plupart des cas, le recours à une méthode indirecte est nécessaire. Des méthodes de détection directe sont aujourd'hui cependant possibles grâce à l'utilisation de l'optique adaptative. En effet cette technique permet de corriger les déformations des images dues aux perturbations atmosphériques.

### Première partie : nécessité de l'optique adaptative

Les photographies de planètes tournant autour d'autres étoiles que le Soleil sont rares en raison de leur extraordinaire éloignement qui les rend pour la plupart invisibles à nos yeux, même avec les plus puissants télescopes du monde.

En Arizona, le Large Binocular Telescope (LBT) a fourni une image inédite du système de l'étoile HR 8799. Ce dernier, situé à 130 années-lumière de la Terre dans la constellation de Pégase, compte au moins quatre planètes, la plus proche de l'étoile HR 8799 étant à une distance de 24 unités astronomiques de celle-ci. Ces astres ont pu être observés relativement facilement car ils sont presque aussi lumineux en infrarouge que l'étoile qui les éclaire et ont une taille plus grande que celle de Jupiter. Existe-t-il, autour de l'étoile HR 8799, d'autres planètes plus petites, plus proches de leur étoile et de plus faible signature infrarouge, comme la Terre, Vénus ou Mars ?

D'après un article de la revue Sciences et vie

### Données :

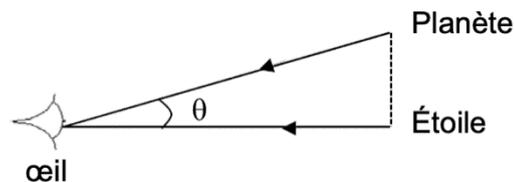
- Une unité astronomique vaut  $150 * 10^9 \text{ m}$
- Une année de lumière vaut  $9,5 * 10^{15} \text{ m}$
- Célérité de la lumière dans le vide : supposée connue du candidat

L'image d'un point donnée par un instrument d'optique n'est pas un point, mais une tache entourée d'anneaux (voir ci-contre). Cette figure est appelée tache d'Airy.



### 1.1) Comment appelle-t-on ce phénomène ? Quels sont les paramètres qui influent sur ce phénomène ?

C'est le phénomène de diffraction de la lumière. Les paramètres sont : la taille de l'ouverture du télescope et la longueur d'onde émise par l'objet céleste.



### 1.2) À partir des données de l'énoncé, calculer l'angle $\theta$ entre les directions d'observation de l'étoile HR 8799 et de sa planète la plus proche, schématisées ci-contre.

D'après l'énoncé, la distance œil-étoile (côté adjacent à  $\theta$ ) vaut 130 a.l. et la distance planète-étoile (côté opposé à  $\theta$ ) vaut 24 UA.

$$\text{Or, } 1 \text{ a.l.} = 9,5 * 10^{15} \text{ m} \rightarrow d_{\text{œil-étoile}} = 130 \text{ a.l.} = 130 * 9,5 * 10^{15} \text{ m} = 1,235 * 10^{18} \text{ m}$$

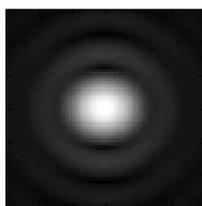
$$\text{Et, } 1 \text{ ua} = 150 * 10^9 \text{ m} \rightarrow d_{\text{étoile-planète}} = 24 \text{ ua} = 24 * 150 * 10^9 \text{ m} = 3,6 * 10^{12} \text{ m}$$

$$\text{Connaissant ces deux côtés, on utilise } \tan(\theta) = \frac{\text{opposé}}{\text{adjacent}} = \frac{3,6 * 10^{12}}{1,235 * 10^{18}} \Leftrightarrow \theta = \arctan\left(\frac{3,6 * 10^{-6}}{1,236 * 10^{18}}\right) = 2,9 * 10^{-6} \text{ rad} (= 1,7 * 10^{-4} \text{ °})$$

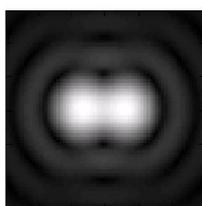
### 1.3) La performance d'un instrument d'optique dépend de sa capacité à distinguer deux points proches.

On appelle pouvoir de résolution  $\theta_R$  d'un instrument d'optique, l'écart angulaire minimal (en radians) entre deux points que l'instrument peut séparer. Il est défini par la relation :  $\theta_R = \frac{1,22 * \lambda}{D}$  où  $D$  est le diamètre de l'instrument d'optique et  $\lambda$  la longueur d'onde de la lumière reçue.

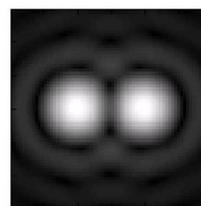
Selon la valeur de l'angle  $\theta$  entre les directions d'observation de deux points lumineux, on observera les images suivantes :



$$\theta < \theta_R$$



$$\theta = \theta_R$$



$$\theta > \theta_R$$

D'après le site : [www.scienceetavenir.fr](http://www.scienceetavenir.fr)

Le télescope LBT a un diamètre de **8,4 m** mais, en raison des perturbations atmosphériques, son pouvoir de résolution est équivalent à celui d'un télescope de **20 cm**, pour une longueur d'onde d'observation de **1000 nm**.

Montrer la nécessité d'avoir recours à l'optique adaptative.

On calcule le pouvoir de résolution du LBT :  $\theta_R = \frac{1,22 \cdot \lambda}{D}$  avec  $\lambda = 1000 \text{ nm} = 1000 \cdot 10^{-9} \text{ m}$  et  $D = 20 \text{ cm} = 20 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

$$\theta_R = \frac{1,22 \cdot 1000 \cdot 10^{-9}}{20 \cdot 10^{-2}} = 6,1 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$$

On compare avec l'angle précédent :  $\theta < \theta_R$

Sans optique adaptative, on serait dans le cas de la première photo et donc dans l'impossibilité de distinguer l'étoile de la planète.

**Deuxième partie : l'effet Doppler-Fizeau pour étudier les objets célestes**

La présence d'une exoplanète peut induire un mouvement circulaire de son étoile. C'est l'étude du mouvement de cette étoile qui permet de détecter l'exoplanète par la méthode dite « de la vitesse radiale » en s'appuyant sur l'effet Doppler-Fizeau.

Dans cette étude, on suppose la Terre et le centre O de la trajectoire de l'étoile immobiles. On se place dans le cas où la trajectoire de l'étoile et la Terre sont dans le même plan.

La vitesse radiale est la composante  $\vec{V}_R$  suivant la direction Terre-étoile de la vitesse  $\vec{V}$  de l'étoile.

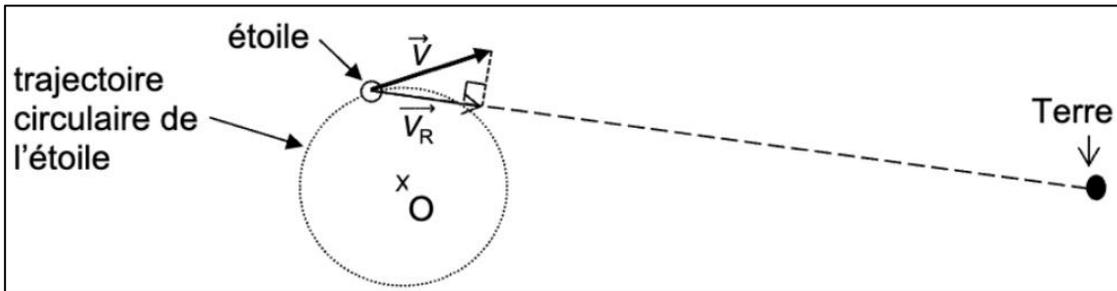
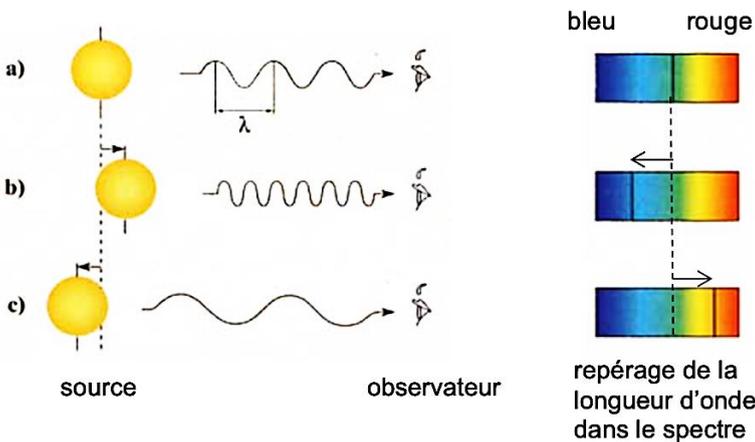


Figure 1

**Document : Effet Doppler-Fizeau observé en astrophysique**

Lorsqu'une étoile se rapproche ou s'éloigne de la Terre, le spectre de la lumière reçue sur la Terre est décalé par rapport au spectre de la lumière émise par l'étoile.

Décalage vers le bleu ou décalage vers le rouge :



Si l'étoile a une vitesse radiale nulle par rapport à la Terre, la fréquence d'une onde électromagnétique reçue sur la Terre est la même que celle de l'onde émise (cas a).

La vitesse de l'étoile étant beaucoup plus petite que la vitesse  $c$  de la lumière, le décalage de longueur d'onde observé  $\Delta\lambda$  s'exprime selon la relation :

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{|\lambda - \lambda_0|}{\lambda_0} = \frac{V_R}{c}$$

où  $\lambda$  est la longueur d'onde mesurée par l'observateur,  $\lambda_0$  la longueur d'onde de la lumière émise par la source au repos et  $V_R$  la vitesse radiale de la source de l'onde.

2.1) Expliquer qualitativement, à partir de l'analyse du schéma précédent, le décalage vers le bleu et le décalage vers le rouge.

On sait que  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{V_R}{c}$

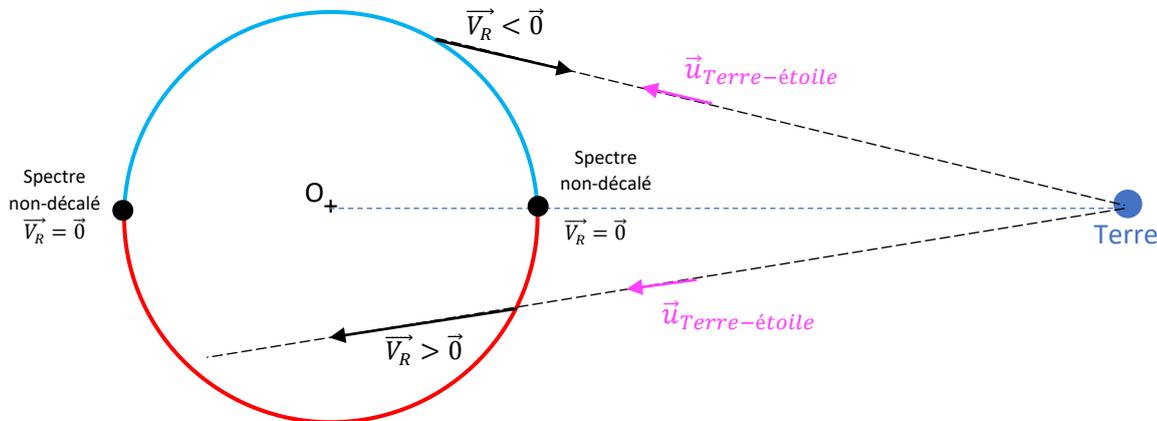
D'après la figure 1, si l'étoile se rapproche de la Terre alors  $V_R < 0$  (car le vecteur  $\vec{V}_R$  s'oppose à la direction Terre-étoile). En sachant que  $c > 0$  et  $\lambda_0 > 0$ , cela signifie que  $\Delta\lambda < 0$  et que la longueur d'onde perçue est donc inférieure à la longueur émise. Soit, un décalage vers le bleu comme nous le montre le document ci-dessus.

Inversement, si l'étoile s'éloigne de la Terre alors  $V_R > 0$ . En sachant que  $c > 0$  et  $\lambda_0 > 0$ , cela signifie que  $\Delta\lambda > 0$  et que la longueur d'onde perçue est donc supérieure à la longueur émise. Soit, un décalage vers le rouge comme nous le montre le document ci-dessus.

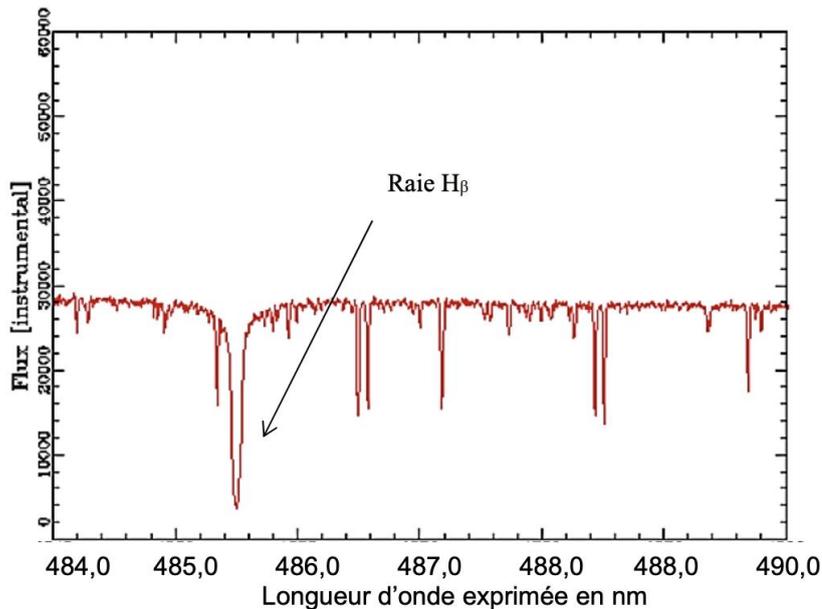
2.2) Sur la figure ci-dessous, représentant la trajectoire de l'étoile :

- Indiquer en noir la ou les position(s) où le spectre n'est pas décalé ;
- Repasser en bleu la portion de trajectoire pour laquelle le spectre est décalé vers le bleu ;
- Repasser en rouge la portion de trajectoire pour laquelle le spectre est décalé vers le rouge.

Dans chaque cas, justifier la réponse en traçant le vecteur vitesse radiale  $\vec{V}_R$  de l'étoile (sans souci d'échelle) pour une position particulière.



2.3) Sur le spectre de l'étoile HD 2665 ci-dessous, on observe la raie  $H_\beta$  de l'hydrogène dont la longueur d'onde mesurée en laboratoire est  $\lambda_0 = 486,1 \text{ nm}$ .



<http://atlas.obs-hp.fr/elodie>

Déterminer la vitesse radiale de l'étoile et expliquer si celle-ci s'éloigne ou se rapproche de la Terre au moment où le spectre est enregistré

Sur le spectre, on lit  $\lambda_{H\beta} = 485,5 \text{ nm} < \lambda_0 = 486,1 \text{ nm}$ . Il y a donc un décalage vers le bleu. L'étoile se rapproche.