

## 3 Cosmologie et détection d'exoplanètes

Le 8 octobre 2019, l'Académie royale des sciences de Suède a attribué le prix Nobel de physique aux chercheurs suisses Michel Mayor et Didier Queloz, pour la découverte de la première exoplanète en orbite autour d'une étoile de type solaire, ainsi qu'au cosmologiste d'origine canadienne James Peebles.

C'est en 1995, à l'Observatoire de Haute-Provence, que M. Mayor et D. Queloz ont réussi à détecter l'infime irrégularité dans le mouvement de l'étoile 51 Pegasi, signature de la présence d'une exoplanète en orbite autour d'elle. Une première qui a ouvert la voie à toute une discipline : fin 2019, 4 118 exoplanètes ont été découvertes, présentant une variété époustouflante.

### Doc. 1 Détection d'exoplanètes

Une exoplanète est une planète en orbite autour d'une étoile autre que le Soleil. Par son attraction gravitationnelle, elle fait légèrement tourner l'étoile autour de laquelle elle orbite (**doc. 4**). Ainsi, l'étoile s'approche et s'éloigne légèrement de nous, de façon périodique. Par effet Doppler-Fizeau, la lumière de l'étoile va paraître tour à tour légèrement plus rouge et légèrement plus bleue.

Ainsi, il est possible de déceler la présence d'une exoplanète en orbite autour d'une étoile en observant le déplacement périodique du spectre de la lumière qu'elle émet. Cette technique, développée dans les années 1990, est appelée méthode des vitesses radiales.

### Doc. 2 Décalage Doppler

Lorsqu'un émetteur d'onde est en mouvement à une vitesse  $v$  par rapport à un récepteur fixe, la fréquence  $f_{\text{rec}}$  reçue par le récepteur diffère de la fréquence  $f_{\text{em}}$  émise selon les formules suivantes, où  $v_{\text{onde}}$  est la vitesse de propagation de l'onde :

- si l'émetteur et le récepteur se rapprochent :

$$f_{\text{rec}} = f_{\text{em}} \cdot \left( \frac{v_{\text{onde}}}{v_{\text{onde}} - v} \right)$$

- si l'émetteur et le récepteur s'éloignent :

$$f_{\text{rec}} = f_{\text{em}} \cdot \left( \frac{v_{\text{onde}}}{v_{\text{onde}} + v} \right)$$

### Questions

#### 1. Effet Doppler

La technique de détection d'exoplanètes dite des « vitesses radiales » repose sur l'effet Doppler.

##### 1.1 Décrire brièvement l'effet Doppler.

On modélise ce phénomène par une source sonore mobile se rapprochant, à une vitesse  $v$ , d'un récepteur fixe. La source émet des « bips » successifs avec une fréquence  $f_{\text{em}}$ . Le récepteur perçoit une fréquence  $f_{\text{rec}}$ . À l'instant  $t = 0$  s, la source se situe à une distance  $d$  du récepteur et émet une première impulsion.

1.2 Exprimer l'instant  $t_1$  où le récepteur reçoit le premier « bip » en fonction de  $d$  et  $v_{\text{son}}$ .

1.3 Exprimer la distance  $d'$  que le deuxième « bip » parcourt avant d'arriver au récepteur en fonction de  $d$ ,  $f_{\text{em}}$  et  $v$ .

1.4 Exprimer l'instant  $t_2$  où le récepteur reçoit le deuxième « bip » en fonction de  $d'$ ,  $f_{\text{em}}$  et  $v_{\text{son}}$ .

1.5 Exprimer la fréquence  $f_{\text{rec}}$  en fonction de  $t_2 - t_1$ .

1.6 Démontrer l'expression de  $f_{\text{rec}}$  du **doc. 2**.

### Coups de pouce

- 1.1 Développer l'explication en évoquant le déplacement de la source qui rapproche ou éloigne les fronts d'onde les uns des autres.
- 1.2 Utiliser la relation liant vitesse, distance parcourue et durée de parcours.
- 1.3 Entre les deux « bips », préciser qu'il s'écoule une durée  $T_{\text{em}} = \frac{1}{f_{\text{em}}}$  durant laquelle la source s'est rapprochée du récepteur.
- 1.4 Tenir compte d'une première période  $T_{\text{em}}$  passée et de la distance  $d'$ .
- 1.5 Exprimer la période du signal reçu.
- 1.6 Remplacer les expressions de  $t_2$  et  $t_1$  dans la formule précédente.

**Doc. 3 Décalage Doppler-Fizeau**

Dans le cas où la vitesse de l'émetteur est très faible devant celle de l'onde, comme c'est le cas pour la détection des exoplanètes à l'aide de l'effet Doppler pour les ondes électromagnétiques, on a :

- $f_{\text{rec}} = f_{\text{em}} \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)$  (en approche)
- $f_{\text{rec}} = f_{\text{em}} \cdot \left(1 - \frac{v}{c}\right)$  (en éloignement)

Du fait de l'effet Doppler-Fizeau, une radiation de longueur d'onde  $\lambda_{\text{em}}$  émise par un astre en mouvement à une vitesse  $v$  sera décalée d'une valeur  $\Delta\lambda$  :

$$\Delta\lambda = \frac{v}{c} \cdot \lambda_{\text{em}}$$

Si l'astre s'éloigne, la longueur d'onde reçue  $\lambda_{\text{rec}}$  sera égale à  $\lambda_{\text{rec}} = \lambda_{\text{em}} + \Delta\lambda$  tandis qu'en cas d'approche, on aura  $\lambda_{\text{rec}} = \lambda_{\text{em}} - \Delta\lambda$

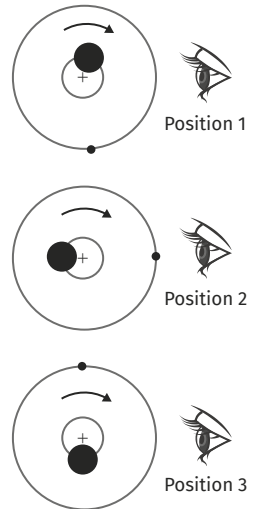
**Questions**

Soit la raie  $H_{\beta}$  de l'hydrogène, qui se trouve à une longueur d'onde  $\lambda_0 = 486,1 \text{ nm}$  lorsqu'on la mesure sur Terre.

- 2.1 Pour chacune des trois positions du **doc. 4**, comparer, en justifiant votre réponse, la valeur de la position de la raie  $H_{\beta}$  mesurée dans le spectre de l'étoile 51 Pegasi à la valeur  $\lambda_0$ .
- 2.2 Calculer la vitesse radiale de l'étoile lorsque le décalage  $\Delta\lambda$  mesuré pour la raie  $H_{\beta}$  vaut  $1,18 \times 10^{-13} \text{ m}$ .
- 2.3 La précision du dispositif utilisé par Mayor et Queloz ne leur permettait pas de mesurer une vitesse inférieure à  $13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . En déduire le décalage le plus faible qu'ils étaient capables de détecter pour cette raie.

**Doc. 4 Différentes positions**

Le schéma ci-contre présente trois positions relatives d'une exoplanète en orbite autour d'une étoile et d'un observateur situé sur Terre. La direction d'observation est signifiée par un œil.

**Coups de pouce**

- 2.1 Déterminer, pour chaque position, si l'étoile s'éloigne ou s'approche de l'observateur.
- 2.2 Manipuler la relation du **doc. 3** pour isoler  $v$ .
- 2.3 Calculer  $\Delta\lambda_{\text{min}}$  pour la vitesse fournie dans la question.

**Numérique**

Connectez-vous sur [lelivrescolaire.fr](https://lelivrescolaire.fr) pour retrouver plus de sujets Bac. [LLS.fr/PCTP577](https://lls.fr/PCTP577)

