

DÉTECTION D'EXOPLANÈTES



Capacité(s) contextualisée(s) mise(s) en jeu durant l'activité :

- ✓ Utiliser des données spectrales et un logiciel de traitement d'images pour illustrer l'utilisation de l'effet Doppler comme moyen d'investigation en astrophysique.

I. But

- Déterminer la présence d'une exoplanète par la méthode des vitesses radiales.

II. Documents

(s'approprier)



II.1. Doc.1 : L'effet Doppler-Fizeau

L'effet Doppler-Fizeau est le décalage de fréquence d'une onde électromagnétique entre la mesure à l'émission et la mesure à la réception lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.



Si on désigne de façon générale ce phénomène physique sous le nom d'effet Doppler, on réserve le terme d'« effet Doppler-Fizeau » aux ondes lumineuses.

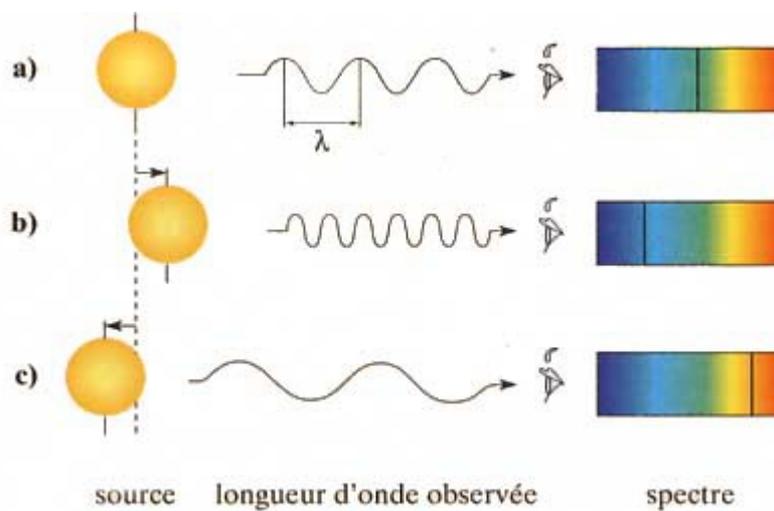


Fig.1 : Décalage d'une raie d'absorption dans le spectre d'une étoile en fonction de son mouvement par rapport à l'observateur.

II.2. Doc.2 : Méthode des vitesses radiales

La méthode des vitesses radiales est basée sur l'étude du spectre lumineux de l'étoile cible. L'étoile, si elle possède une planète en orbite, décrit un mouvement autour du centre de masse du système. Ce mouvement fait qu'elle se rapproche et s'éloigne de nous périodiquement. Lorsqu'une source lumineuse s'éloigne, les ondes électromagnétiques sont décalées vers le rouge. Alors que le rapprochement de la source, implique un décalage des ondes vers le bleu (Fig.2).

La lumière de l'étoile est donc périodiquement décalée, tantôt vers le bleu, tantôt vers le rouge, à mesure qu'elle s'éloigne et qu'elle se rapproche de nous.

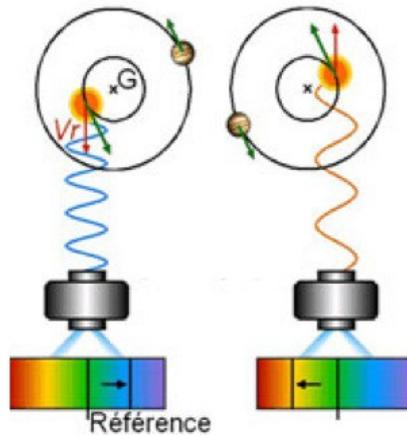


Fig.2 : Mouvement d'une raie d'absorption du spectre d'une étoile en rotation autour de son centre de masse

D'après la relation de Doppler-Fizeau, on a :

$$v_r = c \cdot \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = c \cdot \frac{\lambda_{\text{émise}} - \lambda_{\text{reçue}}}{\lambda_{\text{émise}}}$$



Cette méthode de détection est plus performante pour des vitesses radiales élevées : autrement dit, pour des planètes évoluant très près de leur étoile, et qui sont très massives, car l'attraction gravitationnelle qu'exerce la planète sur l'étoile (et inversement) est plus grande lorsque les deux astres sont relativement proches, et elle diminue avec la distance. Ceci explique que de nombreuses exoplanètes découvertes jusqu'à aujourd'hui ont une orbite très proche de leur étoile.

Infographie du CEA téléchargeable :

<http://www.cea.fr/content/download/99406/1896610/file/effet-doppler-fizeau-defisCEA176.pdf>

II.3. Doc.3 : Méthode du transit planétaire

La méthode du transit planétaire est l'une des principales méthodes en exobiologie et astronomie pour la détection des exoplanètes. On l'utilise en particulier pour découvrir des superterres.

Il s'agit d'une méthode photométrique. Elle repose sur la mesure des faibles variations périodiques de la luminosité d'une étoile lorsqu'une planète passe devant elle (**Fig.3**). On peut assez bien déterminer la valeur de l'angle i que fait la normale au plan de l'orbite de la planète avec la ligne de visée d'un observateur. Cet angle doit être tout au plus légèrement inférieur ou supérieur à 90° , ce qui veut dire que si l'on peut compléter l'observation d'un transit par une mesure de vitesses radiales, il est possible de lever l'indétermination sur la masse de l'exoplanète.

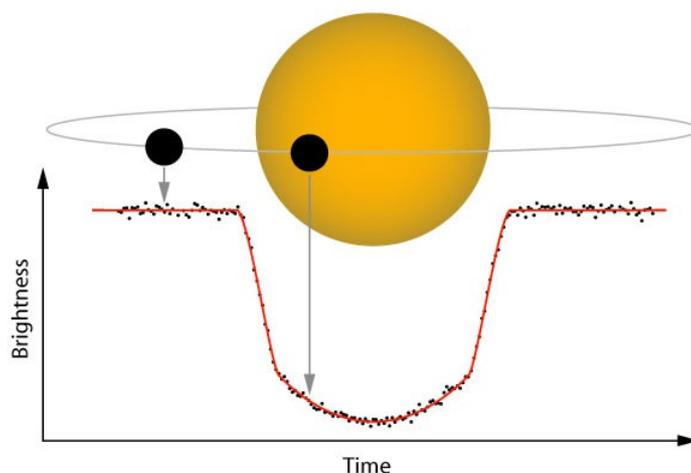


Fig.3 : Schéma illustrant le principe du transit planétaire s'accompagnant d'une baisse de luminosité (brightness) de l'étoile d'autant plus importante que l'exoplanète est de grande taille par rapport à son soleil. © Institute for Astronomy-University of Hawai

Source : <http://www.futura-sciences.com/>

III. Etude de l'étoile 51 Pegasi



C'est autour d'elle que fut découverte et confirmée avec certitude la première exoplanète (51 Pegasi b), en 1995.

On dispose de 11 spectres de cette étoiles pris à des dates différentes.

Spectre	t (jours)
1	0
2	0,974505
3	1,969681
4	2,944838
5	3,970746
6	4,886585
7	5,924292
8	6,963536
9	7,978645
10	8,973648
11	9,997550

III.1. Mise en évidence du déplacement des raies du spectre de l'étoile *(réaliser)*



- Lancer le logiciel Salsa J.
- Cliquer sur **Fichier** puis dans le menu déroulant qui apparaît cliquer sur **ouvrir**.
- Sélectionner les 11 images de spectres : fic01, fic02,...,fic10 et fic11 dans le dossier 11_spectra_fit.
- **Ouvrir** ces 11 images puis cliquer sur **Images** : dans le menu déroulant qui apparaît cliquer sur **Piles** : dans le nouveau menu déroulant qui apparaît cliquer sur **Transférer images dans Pile**.
- Cliquer à nouveau sur **Images** : dans le menu déroulant qui apparaît cliquer sur **Piles** : dans le nouveau menu déroulant qui apparaît cliquer sur **Démarrer animation**.
- Noter vos observations.

Appel du professeur

III.2. Exploitation des résultats

(analyser, valider)



- A quoi est dû se décalage des raies d'absorption dans le spectre ?
- Conclure.

Appel du professeur

III.3. Détermination de la vitesse de rotation v_r et de la période T

(réaliser)



- Ouvrir le fichier spectre1_o54.dat correspondant au spectre 1 se trouvant dans le dossier 11_spectra_data.



On remarque dans ce spectre de raies d'absorption 2 raies très marquées et distantes de moins de 1 nm ($1\text{nm} = 10 \text{ \AA} : \text{Ångström}$). Il s'agit des raies du doublet du sodium.

- A l'aide de la souris, mesurer en Å les valeurs des longueurs d'onde correspondant à ces deux raies : la longueur d'onde en Å est notée X sous le graphe.

Vous devez trouver : $\lambda_1 = 5890,411 \text{ \AA}$ et $\lambda_2 = 5896,366 \text{ \AA}$



En cliquant sur **Liste** sous le graphe, on obtient l'ouverture d'un tableau des coordonnées des points de la courbe qui permet de déterminer précisément ces 2 longueurs d'onde : valeurs de X pour Y minimal, avec X voisin de 5890 Å dans un cas et voisin de 5896 Å dans l'autre cas.

- Déterminer les valeurs des longueurs d'onde correspondantes à ces deux raies pour les 10 autres spectres et récapituler ses valeurs dans un tableau.

Appel du professeur

III.4. Exploitation des résultats

(analyser, valider)



- Déterminer la vitesse radiale de l'étoile pour chaque spectre.

Données :

- x Longueurs d'onde des deux raies du sodium : $\lambda_{\text{Na}1} = 5889,950 \text{ \AA}$ et $\lambda_{\text{Na}2} = 5895,924 \text{ \AA}$
- x Célérité de la lumière dans le vide : $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1}$

- Tracer l'évolution de cette vitesse radiale en fonction du temps.
- Modéliser cette courbe par une fonction adéquate.
- En déduire la période de rotation de l'étoile autour de son centre de masse.

Appel du professeur

Soit R la distance entre le centre de l'étoile et le centre de masse du système et r la distance entre le centre de l'exoplanète et le centre de masse du système.

On se place dans l'hypothèse d'orbites circulaires et $R \ll r$.

- Déterminer r à l'aide de la 3^{ème} lois de Kepler.
- Déterminer la vitesse de l'exoplanète.

Données :

- x Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ USI
- x Masse de l'étoile : $M = 1,05M_{\text{Soleil}} = 2,1 \cdot 10^{30}$ kg

Appel du professeur

IV. Compte-rendu

(communiquer)



- Rédiger le compte rendu de cette activité expérimentale.



Fiche méthode : Rédiger une compte rendu d'activité expérimentale



Pour les plus curieux...

Il y aurait des milliards d'exoterres habitables dans la Voie lactée...

<http://www.futura-sciences.com/magazines/espace/infos/actu/d/astronomie-il-y-aurait-milliards-exoterres-habitable-voie-lactee-50019/>