

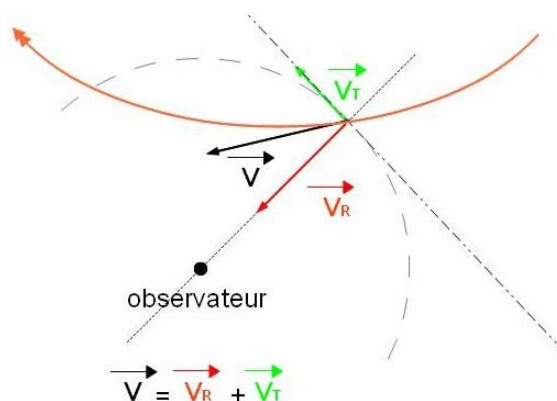
Effet Doppler Fizeau Exoplanètes

1 - Introduction

Il est extrêmement difficile d'observer une planète extra-solaire directement. En effet, le rayonnement indirect d'une telle planète est très faible comparé au rayonnement direct de son étoile. De plus, ces exoplanètes sont souvent trop petites et trop proches de leur étoile pour pouvoir être observées directement avec un télescope.

Les astronomes utilisent donc l'effet Doppler-Fizeau pour détecter ces planètes.

La vitesse radiale d'une étoile (composante de sa vitesse mesurée dans la direction de la ligne de visée) ou d'un autre objet lumineux éloigné peut être mesurée précisément en prenant un spectre à haute-résolution et en comparant les longueurs d'onde mesurées de raies spectrales connues aux longueurs d'onde de ces mêmes raies mesurées en laboratoire. Par convention, une vitesse radiale positive indique que l'objet s'éloigne (on parle de décalage vers le rouge des longueurs d'onde ou "redshift") et une vitesse négative que l'objet se rapproche (décalage vers le bleu ou "blueshift").



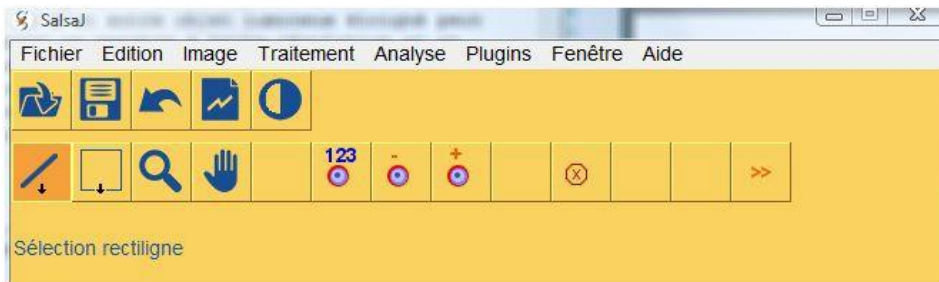
\vec{V}_R représente la vitesse radiale d'un mobile suivant sa trajectoire.

Même si la masse d'une exoplanète est petite comparée à la masse de l'étoile autour de laquelle elle gravite, elle reste suffisante pour provoquer un mouvement faible mais mesurable de l'étoile, cela se traduit par une variation de sa vitesse radiale.

Dans la manipulation qui va suivre, nous allons étudier le spectre d'émission d'une étoile sur une dizaine de jours grâce au logiciel SalsaJ pour prouver la présence d'une exoplanète autour de cette étoile.

2- Mise en évidence du décalage spectral

On ouvre tout d'abord le logiciel SalsaJ.



Voici ce que l'on voit à l'ouverture du logiciel.

On étudie 11 spectres d'une étoile pris à des instants différents pendant une dizaine de jours. Sur le site www.prof-tc.fr, on télécharge les fichiers intitulés [Exoplanète-fit](#) (fichier .zip à décompresser) contenant 11 images au format ".fit", et [Exoplanète-dat](#) (fichier .zip à décompresser) contenant 11 spectres au format ".dat".

Les temps auxquels ont été pris ces spectres sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Spectre	fitc01	fitc02	fitc03	fitc04	fitc05	fitc06	fitc07	fitc08	fitc09	fitc10	fitc11
date t (en jours)	0	0,944505	1,969681	2,944838	3,970746	4,886585	5,924292	6,963536	7,978645	8,973648	9,997550

Dans "SalsaJ"», on clique sur "fichier" puis sur "ouvrir". On se rend alors dans le répertoire où sont stockées les images "fitcxx.fit". On sélectionne la première image par un clic de souris puis on fait de même avec la dernière image mais en maintenant la touche "shift" enfoncée. Cela permet de sélectionner toutes les images en une seule fois. On clique alors sur le bouton "ouvrir".

On clique ensuite sur "image" puis "piler" et "transférer images dans pile".

Ces images vont former alors un petit film. Pour lire ce film, on clique sur "image", "piler" et "options des animations".

Dans la case "speed" on rentre la valeur "1", pour ralentir le temps de passage entre deux images, on coche également "Start Animation", si ce n'est pas déjà fait, et enfin pour lancer l'animation, on clique sur "oui".

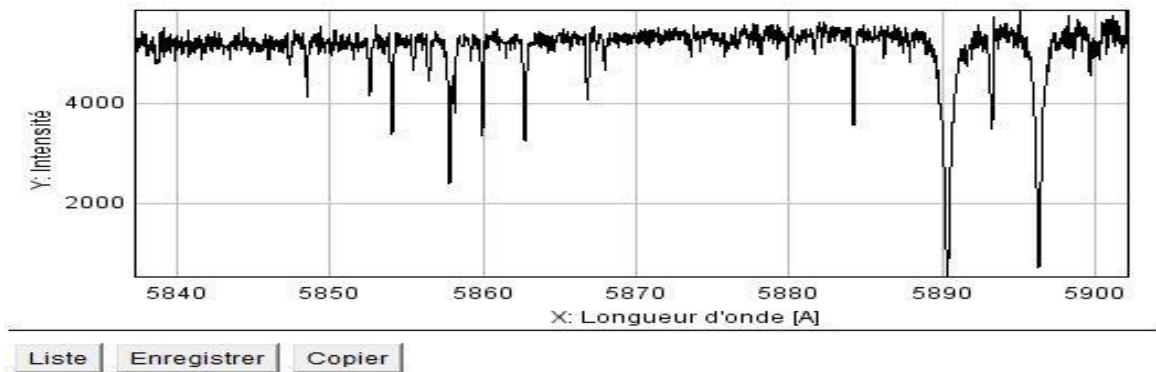
On observe alors le déplacement des raies dû à l'effet Doppler-Fizeau. On remarque que les raies se décalent alternativement dans le rouge puis dans le bleu.

3- Détermination de la vitesse radiale de révolution V_R de l'étoile

Pour ce faire, on utilise les mêmes spectres mais l'extension ne sera plus en ".fit", mais en ".dat".

Cliquer sur "fichier" puis "ouvrir" pour sélectionner le fichier "spectre1_o54.dat".

On obtient le spectre ci-dessous:



Graphique Intensité=f(λ).

On remarque, dans ce spectre de raies d'absorption, deux raies très marquées et distantes de moins de 1nm ($1\text{nm}=10\text{\AA}$) qui correspondent aux raies du doublet du sodium.

En passant la souris sur ces deux pics, on obtient une valeur approximative de leurs longueurs d'onde en lisant la valeur de X, sous le graphe ($X_1=5890\text{\AA}$ et $X_2=5896\text{\AA}$).

En cliquant sur le bouton "Liste", on cherche la valeur précise de ce pic. Ce sera les longueurs d'onde pour lesquelles l'intensité lumineuse sera minimale.

On aura finalement:

$$\lambda_1=5890,411\text{\AA} \text{ et } \lambda_2=5896,366\text{\AA}$$

En comparant ces deux valeurs à celles du doublet du sodium, on constate qu'il y a une différence due à l'effet Doppler-Fizeau:

$$\lambda_{\text{Na1}}=5889,950\text{\AA} \text{ et } \lambda_{\text{Na2}}=5895,924\text{\AA}$$

On mesure λ_1 et λ_2 pour tous les spectres en suivant le même protocole et on rassemble ces résultats dans un tableau.

Spectre	Date en jour	λ_1	λ_2
Spectre1_ o54	0	5890,411	5896,366
Spectre2_ o54	0,974505		
Spectre3_ o54	1,969681		
Spectre4_ o54	2,944838		
Spectre5_ o54	3,970746		
Spectre6_ o54	4,886585		
Spectre7_ o54	5,924292		
Spectre8_ o54	6,963536		
Spectre9_ o54	7,978645		
Spectre10_ o54	8,973648		
Spectre11_ o54	9,997550		

Pour obtenir la vitesse radiale V_R , on applique la relation:

$$V_R = c \cdot \left(\frac{\Delta\lambda_i}{\lambda_{\text{NaI}}} \right) \quad \text{avec} \quad \Delta\lambda_i = \lambda_i - \lambda_{\text{NaI}}$$

i valant tout d'abord 1 puis 2

λ_{NaI} étant la longueur d'onde mesurée dans le laboratoire terrestre et λ_i étant la longueur d'onde mesurée dans la spectre de l'étoile en mouvement.

Compléter les deux tableaux ci-dessous.

Spectre	Date en jour	$\Delta\lambda_1$ en Å	V_R en km.s^{-1}
Spectre1_ o54	0	0,461	23,481
Spectre2_ o54	0,974505		
Spectre3_ o54	1,969681		
Spectre4_ o54	2,944838		
Spectre5_ o54	3,970746		
Spectre6_ o54	4,886585		
Spectre7_ o54	5,924292		
Spectre8_ o54	6,963536		
Spectre9_ o54	7,978645		
Spectre10_ o54	8,973648		
Spectre11_ o54	9,997550		

Spectre	Date en jour	$\Delta\lambda_2$ en Å	V_R en km.s^{-1}
Spectre1_ o54	0	0,442	22,49
Spectre2_ o54	0,974505		
Spectre3_ o54	1,969681		
Spectre4_ o54	2,944838		
Spectre5_ o54	3,970746		
Spectre6_ o54	4,886585		
Spectre7_ o54	5,924292		
Spectre8_ o54	6,963536		
Spectre9_ o54	7,978645		
Spectre10_ o54	8,973648		
Spectre11_ o54	9,997550		

3- Détermination de la période de révolution T de l'étoile

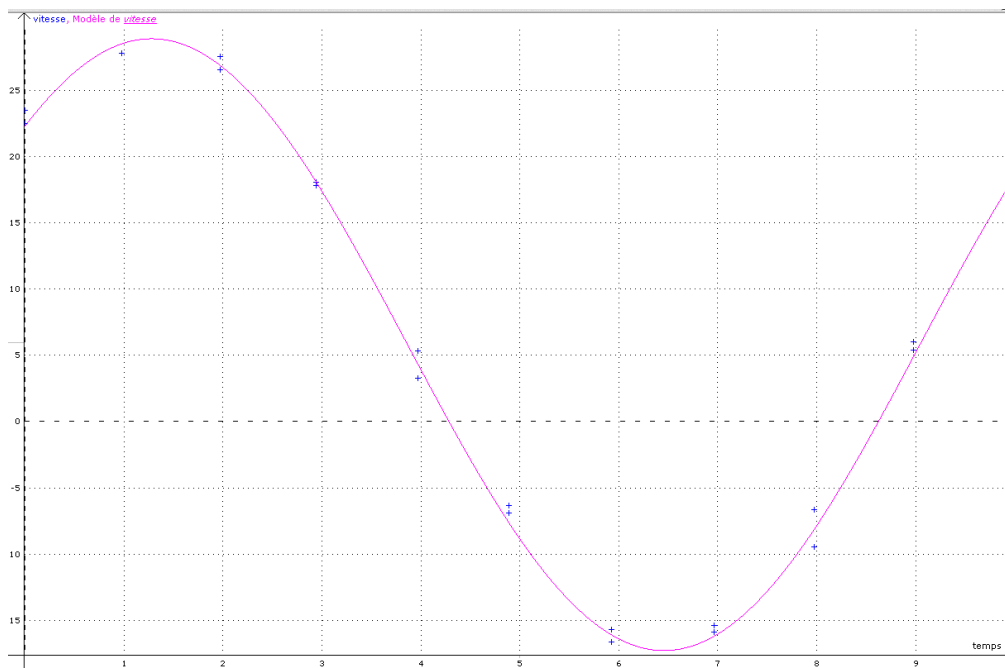
A l'aide du tableur grapheur LatisPro, on rentre les dates des spectres dans la première colonne et dans la deuxième colonne, on rentre les valeurs calculées de V_R .

On fera ensuite une modélisation en choisissant une allure en cosinus du type:

$$V_R = V_0 + V_m \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t + \varphi\right)$$

On obtient: $V_0 =$ $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ et $V_m =$ $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$

La courbe obtenue est représentée ci-dessous.



On trouve pour cette étoile une période de révolution T de jours.

On montre ainsi que l'étoile possède bien une exoplanète en orbite autour d'elle. De plus cette exoplanète a également une période de révolution identique autour de l'étoile (plus précisément, autour du barycentre du système double étoile-planète).

On pourrait avec les autres valeurs trouvées lors de la modélisation et en utilisant des lois de mécanique newtonienne déterminer la masse de cette exoplanète et ainsi conclure sur le type de planète détectée.

La première exoplanète orbitant autour d'une étoile fut découverte en 1995. Il s'agit de "51 Pegasi".

Depuis plusieurs centaines d'exoplanètes ont été identifiées en utilisant cette méthode.