Lorsqu'une exoplanète tourne autour d'une étoile, cette dernière effectue également un mouvement circulaire autour du barycentre du système {étoile-planète}, avec la même période de révolution. La lumière qu'elle nous envoie subit donc un effet Doppler, que l'on peut exploiter pour déterminer les caractéristiques de l'exoplanète.

Mise en évidence du déplacement des raies du spectre de l'étoile étudié au cours du temps : simulation du déplacement des raies.

On étudie 11 spectres d'une étoile pris à des dates différentes, nommées `fic01` à `fic11` et présentes dans le dossier *11_spectra_png*.

En première approximation, l'intervalle de temps moyen séparant la prise de deux spectres consécutifs est 1 jour.

Visualiser le déplacement des raies au cours du temps dû à l'effet Doppler au cours du mouvement de rotation de l'étoile autour du barycentre du système double, en faisant défiler ces images.

1. Décrire et interpréter l'animation observée.

Détermination expérimentale de la vitesse de rotation v_r et de la période T.

Pour cette étude on utilisera les spectres donnés en extension .dat, les dates de ces spectres étant données dans le fichier *dates.csv*. Dans ce format, l'intensité lumineuse du spectre est fourni en fonction de la longueur d'onde λ mesurée sur Terre. Copier pour cela l'ensemble des fichiers présents dans le dossier *11_spectra_dat* vers le dossier *fichiers_python*.

1. Étude des spectres

   Ouvrir le fichier *Graphique.ipynb* sous l'environnement JupyterLab, et y importer le fichier `fic01.dat` copié précédemment.

   Afficher le graphique correspondant à ce premier spectre sous forme de ligne.

   On obtient la courbe Flux lumineux fonction de la longueur d'onde : $\Phi = f(\lambda)$, où λ est exprimée en nanomètres .

   1.1. Comment a-t-on pu en pratique associer une valeur de longueur d'onde à chaque radiation du spectre ?

   On remarque dans ce spectre de raies d'absorption 2 raies très marquées et distantes de moins de 1 nm. Elles correspondent aux raies d'absorption du sodium, qui forment un doublet caractéristique.

   1.1. Mesurer le plus précisément possible et noter la valeur de la longueur d'onde correspondant à l'une de ces deux raies, λ_1 ou λ_2.

   1.2. Comparer cette valeur à celle correspondant au doublet du sodium mesuré sur Terre :

$$\lambda_{Na_1} = 588{,}9950\,\text{nm}$$

$$\lambda_{Na_2} = 589{,}5924\,\text{nm}$$

   1.3. Vérifier qu'il existe une différence (faible ici) due à l'effet Doppler.

   1.4. L'étoile s'approche-t-elle ou s'éloigne-t-elle de la Terre au moment où la lumière est émise ?

   1.5. Mesurer de même et noter les valeurs des longueurs d'onde correspondant à la même raie du sodium pour les 10 autres spectres.

2. Modélisation

On travaillera ici dans le fichier *Modelisation.ipynb*

2.1. Écarts en longueurs d'onde

2.1.1 Éditer le fichier *dates.csv* afin d'y ajouter une colonne `lambda1` (ou `lambda2` selon le choix de la raie d'absorption mesurée), et remplir les valeurs correspondantes. Le sauvegarder.

2.1.2 Dans le fichier *Modelisation.ipynb*, créer et calculer la grandeurs `deltaLambda1` ou `deltaLambda2` permettant de calculer l'écart en longueurs d'onde entre la raie mesurée et celles obtenues dans un laboratoire terrestre.

2.2. Détermination de la vitesse radiale v_E par effet Doppler-Fizeau.

Par effet Doppler-Fizeau on a la relation :

$$\frac{v_E}{c} = \frac{\Delta\lambda_i}{\lambda_{Na_i}} \qquad \text{d'où} \qquad v_E = c \cdot \frac{\Delta\lambda_i}{\lambda_{Na_i}}$$

avec $\Delta\lambda_i = \lambda_i - \lambda_{Na_i}$, où $i = 1$ ou 2, λ_{Na_i} étant la longueur d'onde mesurée dans le laboratoire terrestre et λ_i étant la longueur d'onde mesurée dans le spectre de l'étoile en mouvement.

2.2.1 Créer et calculer la grandeur donnant la valeur de la vitesse radiale v_E à chaque date.

2.3. Détermination de la vitesse V_R de rotation de l'étoile et de sa période de rotation T (dans le repère du centre de masse du système (repère barycentrique)).

2.3.1 Tracer le graphique donnant la vitesse radiale au cours du temps $v_E = f(t)$.

On effectue ensuite une modélisation : si le mouvement de l'étoile est circulaire, il est raisonnable de penser que l'évolution temporelle de la vitesse radiale de celle-ci est sinusoïdale :

$$v_E = V_0 + V_R \times \cos(2\pi t/T + \Phi)$$

2.3.1 Noter les valeurs des paramètres obtenus. Que représentent T et Φ ?

2.3.2 Indiquer la valeur obtenue pour V_0 (vitesse d'éloignement de l'étoile).

2.3.1 Que représente physiquement cette valeur de vitesse ?

2.3.2 Noter également la valeur obtenue pour V_R (vitesse de rotation linéaire de l'étoile dans le référentiel barycentrique.)

Remarque : on suppose ici que l'angle d'inclinaison de l'axe de révolution de l'orbite de cette étoile par rapport à la direction de visée est de 90°.