

## Activité : Effet Doppler – Découverte d'une exoplanète

Une **exoplanète**, ou **planète extrasolaire**, est une planète située en dehors du Système solaire.

Beaucoup d'astronomes supposent leur existence dès le XVIème siècle. Ce n'est cependant que dans les années 1990 que les premières exoplanètes sont détectées de manière indirecte : on mesure par exemple leur vitesse radiale en utilisant l'effet Doppler.

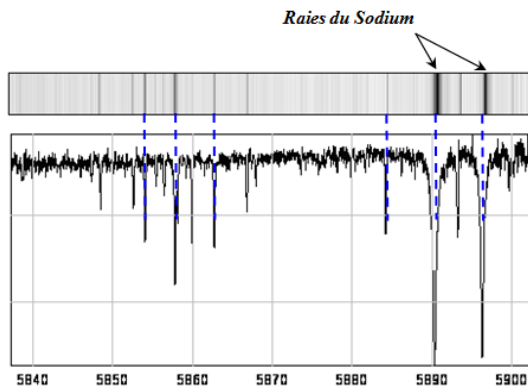
Depuis 2008, la puissance des télescopes comme Hubble permet une observation directe.

La plupart des exoplanètes découvertes à ce jour orbitent autour d'étoiles situées à moins de 400 années-lumière du Système solaire. Au 22 janvier 2015, 1 804 exoplanètes ont été confirmées

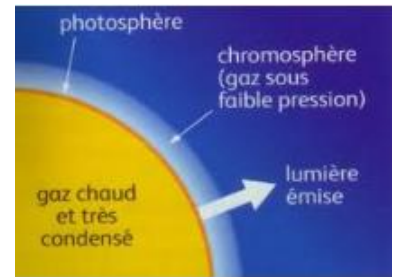
**Le but de l'activité qui suit est de déterminer le rayon de l'orbite d'une exoplanète autour d'une étoile et en utilisant l'effet Doppler.**

### Document 1 : Raies du sodium dans le spectre de l'étoile

Une étoile peut être modélisée par une boule de plasma de température élevée émettant de la lumière, entourée d'une atmosphère de gaz sous faible pression appelée chromosphère, contenant des atomes de différents éléments chimiques. Ces gaz sont responsables des raies



d'absorption qu'on peut observer dans le spectre de l'étoile.

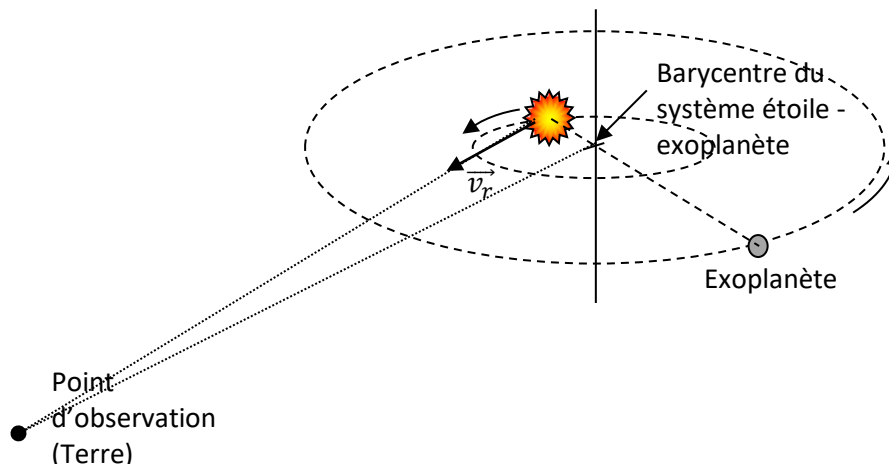


Par exemple, la présence de sodium dans la chromosphère de l'étoile fait apparaître les deux raies d'absorption caractéristiques du sodium.

Pour une étoile immobile par rapport à l'observateur terrestre, l'une de ces deux raies (celle de gauche) a pour longueur d'onde :  $\lambda_{ref} = 588,9950 \text{ nm}$

### Document 2 : La « méthode de la vitesse radiale » basée sur l'effet Doppler-Fizeau ou « spectroscopie Doppler »

La vitesse radiale  $v_r$  d'une étoile est la composante de sa vitesse mesurée dans la direction de la ligne de visée de l'observateur. L'étoile, si elle possède une planète en orbite, décrit un mouvement de rotation autour du centre de masse (barycentre) du système étoile-planète (voir schéma).



Ce mouvement de l'étoile fait qu'elle se rapproche et s'éloigne de l'observateur périodiquement.  
Or, quand une source lumineuse de longueur d'onde  $\lambda_{ref}$  se déplace par rapport à un observateur, celui-ci perçoit un rayonnement de longueur d'onde  $\lambda'$  différente telle que :

$$\lambda' = \lambda_{ref} \cdot \left(1 + \frac{v_r}{c}\right)$$

Le décalage en longueur d'onde  $\Delta\lambda$  s'exprime alors :

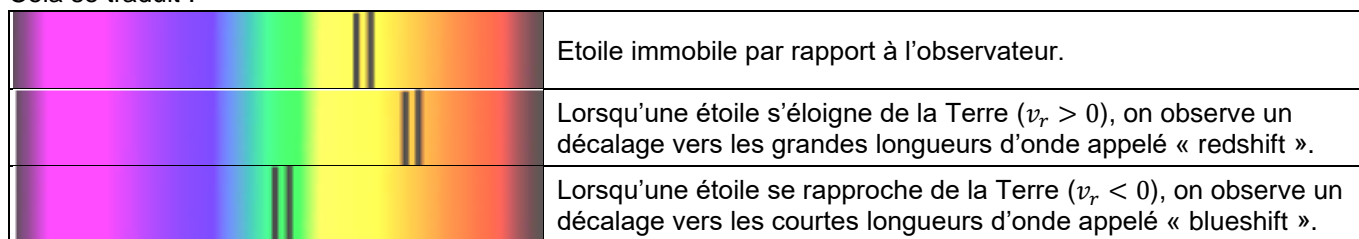
$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda_{ref} = \frac{\lambda_{ref} \cdot v_r}{c}$$

C'est l'effet Doppler-Fizeau pour les faibles vitesses.

Par convention :

- une vitesse radiale  $v_r$  négative indique que l'étoile se rapproche de l'observateur ;
- une vitesse radiale  $v_r$  positive indique qu'elle s'éloigne de lui.

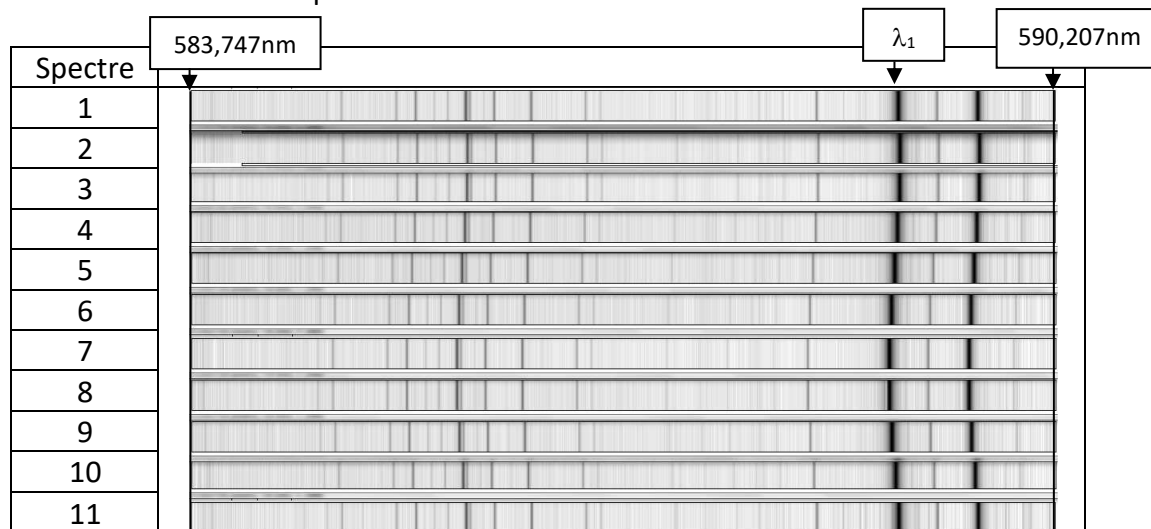
Cela se traduit :



La valeur de la vitesse radiale d'une étoile  $v_r$  peut donc être déterminée à partir de son spectre en comparant les longueurs d'onde mesurées de raies d'absorption connues aux longueurs d'onde de ces mêmes raies mesurées en laboratoire.

### Document 3 :

Le spectre de l'étoile a été établi pour différentes dates :



Remarques :

Les spectres ont été réalisés à des intervalles de temps correspondant à 1 journée terrestre, soit 86400s

### Document 4 : 3<sup>ème</sup> loi de Képler

Le carré de la période  $T$  des objets en orbite est proportionnel au cube du demi grand axe  $R$  de leur trajectoire (ou rayon de l'orbite).

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM} \cdot R^3$$


Avec  $M$  : masse de l'astre attracteur

$G$  : constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

### Questions :

1. En utilisant le logiciel SalsaJ, déterminer les longueurs d'onde de la raie d'absorption  $\lambda_1$  du sodium
2. En utilisant les valeurs de  $\lambda_1$ , calculer (en  $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ ) dans un tableur-grapheur la vitesse radiale  $v_r$  de l'étoile E aux différentes dates  $t$ .  
Donnée : célérité de la lumière dans le vide  $c = 299792,5 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$
3. Avec le tableur-grapheur, tracer le graphe  $v_r = f(t)$  correspondant à l'évolution de la vitesse radiale de l'étoile  $v_r$  en fonction du temps et modéliser la courbe obtenue.
4. Déduire la valeur de la période de révolution  $T$  de la planète P à partir du résultat de la modélisation précédente.
5. Déterminer le rayon de l'orbite de l'exoplanète (On suppose que la masse de l'étoile est  $M_E = 5,0 \times 10^{30} \text{ kg}$ )
6. Expliquer pourquoi on peut affirmer que le système étoile-exoplanète s'éloigne de la Terre ?  
Evaluer la vitesse d'éloignement.

### Aide :

- Modélisation par une fonction Cosinus :  $V = V_0 + V_m \times \cos(2\pi F \cdot t + \varphi)$   
Où  $F$  est la fréquence de rotation de la planète
- Utilisation SalsaJ
  - Lancer le logiciel de traitement d'image SalsaJ
  - Ouvrir l'image Exoplanete disponible sur le site.
  - Détermination de l'échelle :
    - Cliquer sur l'outil de *sélection rectiligne* 
    - En effectuant un cliquer-glisser, tracer un trait horizontal avec précision du bord gauche au bord droit du premier spectre.
    - Choisir « Analyse » puis « Indiquer l'échelle », cocher la case « Global » et compléter « distance réelle » en vous servant des indications du document. Choisir nm pour « unité ». Cette étape permet de définir l'échelle du document (correspondance entre les pixels et le nanomètre).  
Désormais, l'abscisse X qui s'affiche lorsqu'on déplace la souris est une mesure en nanomètre.
  - Détermination de la longueur d'onde  $\lambda$ 
    - Tracer un trait horizontal avec précision du bord gauche au bord droit du spectre concerné.
    - Choisir « Analyse » puis « Coupe ». Un graphique apparaît : il s'agit du spectre d'absorption donnant l'intensité lumineuse en fonction de la longueur d'onde. Une raie d'absorption correspond donc à un pic vers le bas, soit un « manque » de lumière. L'origine des abscisses ( $\lambda=0$ ) correspond au début du segment tracé
    - La souris agit comme un réticule sur la zone de graphique ; en cliquant sur « Liste » on fait apparaître les coordonnées des points de la courbe.