

AVEC NOS ELEVES

Détection de planètes extrasolaires par la méthode des vitesses radiales

Alain Sarkissian, OHP

Mes sincères remerciements à François Bouchy qui m'a aidé à finaliser ce TD et à Mayor et Queloz qui ont obtenu ces données et m'ont orienté dans la finalisation de ce TD.

Résumé : *51 Peg b est la première exoplanète détectée autour d'une étoile de la séquence principale ou de type solaire. C'est Mayor et Queloz (1995, Nature, 378, 355) qui, à l'aide du spectrographe ELODIE de l'OHP en 1995, ont découvert que 51 Peg montrait des variations périodiques de sa vitesse radiale, indiquant la présence d'un compagnon. A l'aide des propriétés de l'orbite de ce compagnon nous pouvons calculer la masse de la planète (en fait sa masse minimale $m \sin i$ où i représente l'angle d'inclinaison de l'orbite sur la ligne de visée) et sa distance à l'étoile centrale.*

Ce TD consiste à refaire de façon simplifiée l'interprétation des mesures originales qui ont permis la découverte de 51 Peg b.

Introduction

Dans un premier temps, on observera le déplacement d'une raie spectrale de 51 Peg à une longueur d'onde connue, sur quelques spectres sélectionnés par nos soins. Ce sont ces mêmes spectres qui ont été utilisés par Mayor et Queloz en 1995. Nous mesurerons le décalage spectral de cette raie. Nous en déterminerons la vitesse radiale de l'étoile à partir de la loi du décalage Doppler-Fizeau. A cette valeur, il faudra soustraire la composante vitesse radiale de la Terre dans son mouvement autour du Soleil (la valeur BERV sur les figures). La composante constante de vitesse radiale propre de l'étoile 51 Peg par rapport à notre Soleil ne sera pas prise en compte dans ce TD pour simplifier les calculs. Le résidu après soustraction du BERV correspond à l'oscillation de 51 Peg due à la présence de la planète 51 Peg b.

Mesure du décalage Doppler

Décalage Doppler : $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta V}{c}$ où λ est la longueur

d'onde, V la vitesse radiale et c la vitesse de la lumière, soit 299792458 m/s .

Attention au signe : un objet qui s'éloigne induit un décalage vers le rouge. Lorsqu'on obtient des spectres sur le télescope de 193 cm de diamètre à l'aide du spectrographe ELODIE, ils sont étalonnés en longueur d'onde : la longueur d'onde donnée avec les spectres est

très précise, mais pas l'intensité car on ne connaît pas la transparence de l'atmosphère terrestre au moment de l'observation. Le décalage Doppler de ces spectres peut donc être obtenu en comparant la longueur d'onde d'une raie spectrale connue avec sa position sur le spectre de l'étoile. Cela nous donne $\Delta\lambda$ et on en déduit ΔV .

Propriétés pour les spectres de 51 Peg

Vitesse Radiale de l'étoile par rapport au Soleil $-33,250 \text{ km/s}$. Nous n'en tiendrons pas compte dans ce TD pour simplifier.

La valeur BERV indiquée sur les figures correspond au "Barycentric Earth Radial Velocity" en anglais. C'est la vitesse radiale due à la rotation de la Terre autour de son axe et autour du Soleil, projetée dans la direction de 51 Peg. La date du spectre est également indiquée sur les figures : F199511010018 correspond à AAAA/MM/JJ/PPPP avec année/mois/jour/num_pose. Le maximum de vitesse radiale est observé à $T_{\text{max}_VR} = 22,266$ en Jour Julien 2450000 modifié. Le JD modifié du 01/11/1995 à 0h est le 22. Amplitude de l'oscillation : 65 m/s ; période de l'orbite de 51 Peg b : $4,233 \text{ jours}$. Le JD des spectres est indiqué dans le tableau ci-dessous. Longueur d'onde de référence pour la raie spectrale présentée sur les figures ci-dessous : $6041,42717 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$).

TD

Etape 1 : Faire le schéma d'un système planète+étoile orbitant autour d'un centre de gravité commun.

Etape 2 : Reproduire sur un graphique les variations de vitesse de l'étoile que l'on observerait depuis un point éloigné du système, et situé dans le plan de l'orbite en respectant les signes. Noter les différences de phases entre l'oscillation de la planète et celle de l'étoile. Faire correspondre les positions principales du schéma précédent (étoile au plus proche de la Terre, étoile au plus éloigné de la Terre, etc...) sur le graphique.

Etape 3 : Observer les figures 3 à 16 ci-dessous. A quel décalage spectral correspond une vitesse radiale de 20 m/s ? Une telle résolution est-elle mesurable sur les figures ?

Etape 4 : Rechercher sur les figures la position du milieu des raies spectrales par les méthodes :

1. de la position du maximum d'intensité sur les points de mesure, sans tenir compte de la gaussienne ;
2. de la position du milieu de la mi-hauteur : chercher la mi-hauteur de la raie, chercher les positions des longueurs d'onde aux deux points de ces mi-hauteurs et prendre le milieu ;
3. de l'ajustement de la raie spectrale par une gaussienne (résultats sur la figure).

Etape 5 : Utiliser le dernier cas (Etape 4, méthode 3) pour construire une table avec le modèle ci-dessous comprenant pour chacun des graphiques : λ mesuré, BERV, et la vitesse résiduelle. Pourquoi a-t-on besoin de BERV ?

Etape 6 : Calculer la vitesse radiale théorique en fonction du temps en utilisant les paramètres donnés plus haut (T_{\max_VR} , Période, Amplitude) pour 51 Peg. Notez que Mayor et Queloz utilisent tout le spectre ce qui revient à moyenner plus de 2000 raies spectrales.

Star : 51 Peg

From the [Extrasolar Planets Encyclopaedia](http://www.obspm.fr/planets) : <http://www.obspm.fr/planets>

THE STAR

- **Basic data :**

Name	51 Peg
Distance	14.7 pc
Spectral Type	G2 IV
Apparent Magnitude	V = 5.49
Right Asc. Coord.	22 57 27
Decl. Coord.	+20 46 07

- **More data :**

- [Basic data](#) (from [Simbad](#))
- [Most recent ref](#) (from [ADS](#))

PLANET

- **Basic data :**

Name	51 Peg b
Mass	0.468 (\pm 0.007) M_J
Semi major axis	0.052 AU
Orbital period	4.23077 (\pm 5e-05) days
Eccentricity	0
Omega	0 deg.
$T_{\max VR}$	2497 (\pm 0.022) JD 2.450.000

Table 1

Spectre	JDM2450000	BERV (km/s)	λ (Å)	$\Delta\lambda$ (Å)	ΔV (m/s)	Résidu (m/s)
F199511010008	22.7874223	-19.3104				
F199511010017	22.9214733	-19.6085				
F199511010018	22.9339507	-19.6325				
F199511020010	23.8023028	-19.6788				
F199511020019	23.9206618	-19.94				
F199511030006	24.7502482	-19.8928				
F199511030013	24.9437682	-20.3098				
F199511040008	25.7817282	-20.2844				
F199511040019	25.9330946	-20.6119				
F199511050017	26.8920519	-20.8481				
F199511050020	26.9355134	-20.9317				
F199511060007	27.783198	-20.9172				
F199511060011	27.8365655	-21.0384				

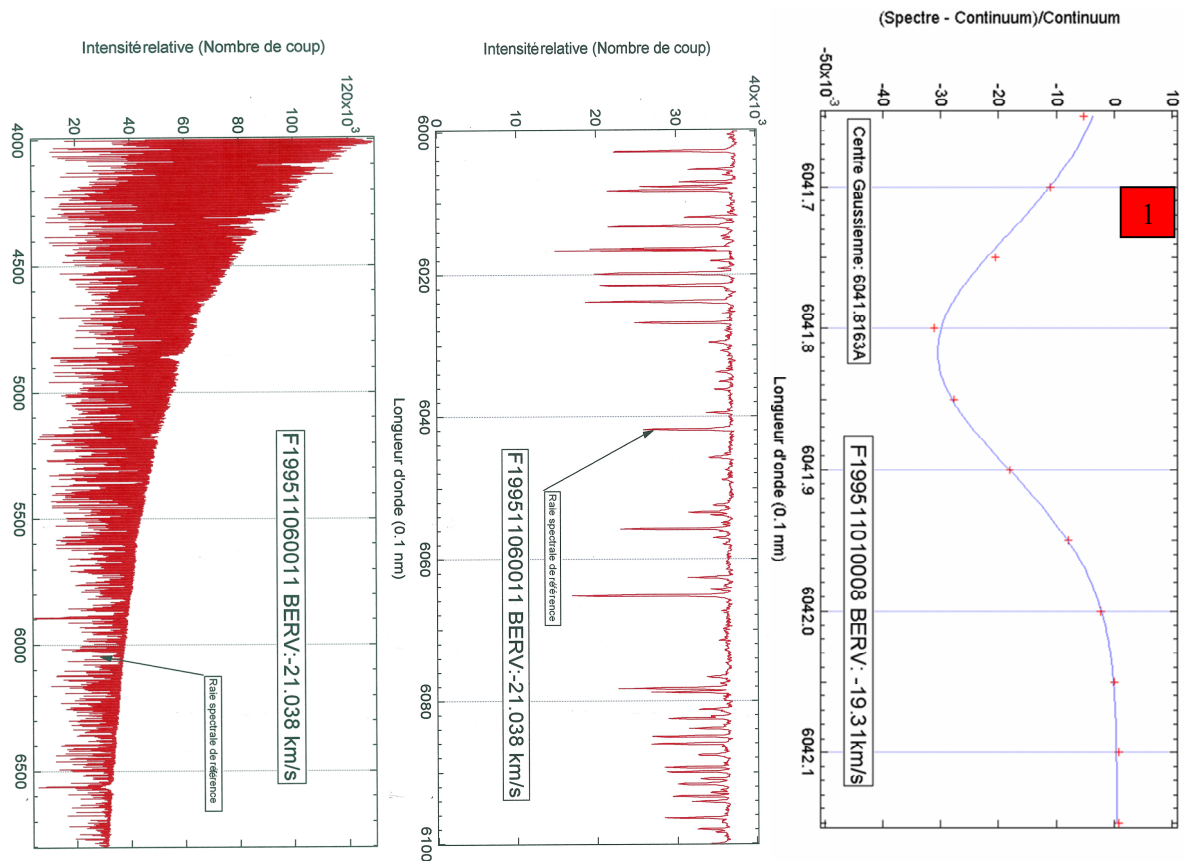


Fig 1 (à gauche) :

Tout le spectre de 51 Peg obtenu par ELODIE le 6 Novembre 1995.

Fig 2 (au milieu) :

Zoom sur la raie spectrale de référence.

Fig 3 à 16 (à droite et ci-dessous, pour différentes dates - *Respectez bien les numéros d'ordre en rouge.*) :

Zoom à très haute résolution sur la raie spectrale de référence. Les croix rouges correspondent aux points mesurés par ELODIE. L'ajustement est la courbe en bleu.

Le corrigé de cet exercice sera publié dans le prochain Cahier Clairaut (CC118). Que voulez-vous, il faut bien tenir le lecteur en haleine... Non la vraie raison est que nous manquons de place pour publier un corrigé détaillé.

