

LA DETECTION D'UNE EXOPLANETE

Lycée Saint-Exupéry de Mantes-la-Jolie

17 décembre 2012

Sommaire

I	Formation accélérée sur les exoplanètes et les différentes méthodes de détection	2
II	Le communiqué de presse du 5 octobre 2005	4
III	Méthode du transit	8
3.1	Objectifs	9
3.2	Détection d'une exoplanète avec SalsaJ	9
3.2.1	Ouverture des photos et réglages	9
3.2.2	Photométrie	10
3.2.3	Tableur LibreOffice	10
3.2.4	Généris 5+	10
3.2.5	SalsaJ	10
3.3	Analyse des données	10
3.3.1	Généris 5+	10
3.3.2	Exploitation	11
3.4	Le transit de Vénus	13
IV	Bonus : De l'effet Doppler-Fizeau aux exoplanètes	14
4.1	Introduction	15
4.2	Mise en évidence du décalage du spectre	15
4.3	Détermination de la période T de révolution de l'étoile	16
4.3.1	Etude du spectre1_054.dat	16
4.3.2	Etude de tous les spectres restants	16
4.3.3	Détermination des vitesses radiales V_R par effet Doppler-Fizeau	17
4.3.4	Détermination de la période de révolution T de l'étoile	17

Première partie

Formation accélérée sur les exoplanètes et les différentes méthodes de détection

C'est pas sorcier : Les exoplanètes.

Pendant le visionnage l'épisode de « C'est pas sorcier » sur les exoplanètes, répondre aux questions suivantes :

1. Qu'est-ce qu'une exoplanète ?
2. De quand date la première détection d'une exoplanète ? Où a-t-elle eu lieu ?
3. Comment s'appelle notre galaxie ?
4. Quel est le nom de l'étoile autour de laquelle a été trouvé la première exoplanète ?
5. Se forme-t-il toujours des étoiles de nos jours ?
6. Est-il facile d'observer des exoplanètes directement ? Pourquoi ?
7. Comment procède-t-on pour détecter des exoplanètes à l'aide de « SuperWASP » (Wide Angle Search for Planets) ?
8. Quelles informations, les astrophysiciens, peuvent-ils déduire des données de « superWASP » ?
9. Pourquoi les étoiles entourées d'une exoplanète ne sont pas immobiles ?
10. Quel est le nom du satellite européen chargé de détecter des exoplanètes ?
11. Quel est le nom de « l'effet » qui permet d'avoir confirmation de l'existence d'une exoplanète ?
12. Vers quelle couleur se décale le spectre d'émission d'une étoile qui s'éloigne de nous ?
13. Quelle est la plus grosse planète de notre système solaire ?
14. Qu'est-ce qu'un Jupiter chaud ?
15. Qu'est-ce qu'une planète orpheline ?
16. Qu'est-ce qu'une zone habitable ?
17. Pourquoi Mars n'a-t-elle pas d'atmosphère ?
18. Quelles sont les conditions nécessaires pour avoir de l'eau liquide sur une exoplanète ?

Maintenant que vous avez décroché brillamment votre diplôme théorique d'astrophysicien, il faut passer à la pratique. Le but que nous allons nous fixer est de retrouver certains résultats publiés par des astrophysiciens concernant l'exoplanète HD189733b grâce notamment à la méthode du transit vu dans ce documentaire. Un graphique issu de l'étude de l'étoile par effet Doppler-Fizeau nous sera également utile pour déterminer la masse de la planète.

Deuxième partie

Le communiqué de presse du 5 octobre 2005

**Contacts
chercheurs :**

François Bouchy,
Observatoire
Astronomique
Marseille Provence,

(33) 1 44 32 80 79

Claire Moutou,
Laboratoire
d'Astrophysique de
Marseille,

(33) 4 91 05 59 66

Stéphane Udry,
Observatoire de
Genève,

(41) 22 37 92 467

Michel Mayor,
Observatoire de
Genève,

(41) 22 37 92 460

Le 5/10/05

**Communiqué de presse LAM - OHP / OAMP / CNRS / Université de
Provence / Université de Genève**

Eclipse d'une étoile par une exoplanète proche de notre système solaire

Une équipe européenne d'astronomes parmi lesquels François Bouchy et Claire Moutou du Laboratoire d'Astrophysique de Marseille et de l'Observatoire de Haute Provence (Observatoire Astronomique de Marseille Provence, CNRS, Université de Provence), vient d'annoncer la découverte d'une nouvelle exoplanète. La planète HD189733b de la constellation du petit renard a pu être détectée et étudiée simultanément par la combinaison de deux méthodes, vitesses radiales et occultation, à l'aide des télescopes de l'Observatoire de Haute Provence (CNRS, OAMP). Elle est une des rares exoplanètes dont les chercheurs ont à ce jour pu déterminer le rayon (1,26 rayon de Jupiter) et la masse (1,15 fois la masse de Jupiter). De ce fait, et compte tenu de sa proximité, environ 60 années-lumière de la Terre, l'exoplanète HD189733b offre à la communauté scientifique de riches horizons d'études complémentaires.

Une nouvelle exoplanète a été détectée à l'Observatoire de Haute Provence le 15 septembre dernier par une équipe européenne¹ composée de chercheurs du Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, de l'Observatoire de Haute Provence et de l'Observatoire de Genève. Cette détection a été faite avec le spectrographe ELODIE du télescope de 1,93 m, qui avait permis 10 ans plus tôt de déceler la toute première exoplanète 51 Peg-b par la méthode des vitesses radiales. Simultanément la caméra photométrique du télescope de 1,20 m, en mesurant la lumière émise par l'étoile HD189733, détectait le passage de l'ombre de l'exoplanète devant le disque de son soleil. Ce phénomène s'explique par l'orientation favorable du système observé depuis la Terre: l'orbite est vue par la tranche, l'exoplanète occultant partiellement l'étoile en passant devant. L'équipe



L'étoile HD189733 est repérée par la flèche verte. Elle est située à moins de 0.15° (équivalent à une demi lune) de la nébuleuse Dumbell (photographie de Daniel Jaroschik).

¹ Cette équipe comprend :

- F. Bouchy, Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, Observatoire de Haute Provence,
- C. Moutou, Laboratoire d'Astrophysique de Marseille,
- N. Iribarne, S. Ilovaisky, Observatoire de Haute Provence,
- S. Udry, M. Mayor, F. Pont, R. Da Silva, D. Queloz, D. Segransan, Observatoire de Genève,
- N.C. Santos, Lisbon Observatory,
- S. Zucker, Weizmann Institute of Science, , Israel

a ainsi pu déterminer à la fois la masse exacte et le rayon de la planète, et conclue qu'il s'agit d'un gros « Jupiter chaud ». Le système planétaire de HD189733 est particulièrement intéressant à plusieurs titres :

- **Cette nouvelle exoplanète rejoint le groupe des très rares planètes détectées hors de notre système solaire que les chercheurs ont pu caractériser.** En effet, si aujourd'hui 160 exoplanètes sont connues, ce n'est que pour 9 d'entre elles que la masse et le rayon sont précisément mesurés. HD189733b a une masse 365 fois plus importante que la Terre et un rayon presque 14 fois plus grand. Sa densité est comparable à celle de Saturne.

- **C'est une exoplanète proche de notre système solaire, à seulement 63 années lumière.** L'étoile HD189733 est par ailleurs accessible aux jumelles ($m_v=7,7$) près de la constellation du petit renard. Elle est, par hasard, située à proximité de la nébuleuse Dumbell M27 bien connue des astronomes amateurs.

- **Sa période orbitale est l'une des plus courte connue** (seulement 2,2 jours), soit 2 000 fois plus rapide que notre Jupiter qui tourne autour du Soleil en une douzaine d'années. Tous les 2,2 jours, grâce à une géométrie favorable, la planète HD189733b occulte donc le disque de son étoile en provoquant un « transit photométrique » (un peu semblable à une éclipse de Soleil), c'est-à-dire une petite baisse de flux lumineux de l'étoile pendant 2h.

- **Le transit de HD189733b, provoque une baisse de luminosité de son étoile de 3%. C'est le transit le plus marqué des 9 exoplanètes dont on mesure l'éclipse.** Cela provient du fait de la petite taille de l'étoile (3/4 de la taille du Soleil) et de la grande taille de la planète (1,26 fois la taille de Jupiter).

-**L'étoile centrale de ce nouveau système planétaire est brillante; la plupart des télescopes au sol et dans l'espace tenteront donc prochainement de mesurer d'autres paramètres de cette exoplanète géante, en particulier les caractéristiques de son atmosphère.** Compte tenu de la faible distance qui la sépare de son étoile (seulement 3/100 de la distance Terre-Soleil), la température de son atmosphère doit atteindre plusieurs centaines de degrés. On essaiera donc de mesurer le pouvoir réfléchissant de cette atmosphère, ses composants chimiques, et la vitesse à laquelle elle s'évapore. De surcroît, la relative proximité permettra peut-être de trouver la lumière émise par la planète elle-même, grâce aux interféromètres.

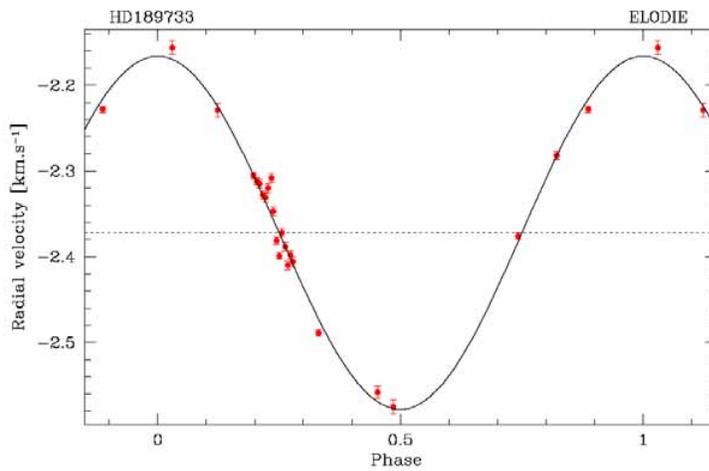
L'exoplanète HD189733b passera devant son étoile le mercredi 5 octobre à 22h40 et ainsi de suite toutes les 53 heures. Les chercheurs du LAM ne manqueront pas ces rendez-vous et tenteront d'obtenir de nouvelles informations sur cette planète. Si de telles mesures effectuées depuis un observatoire au sol (en particulier l'Observatoire de Haute Provence) permettent de mettre en évidence des planètes géantes, la méthode des transits depuis l'espace permettra de découvrir des planètes beaucoup plus petites ; c'est l'objet de la mission CoRoT qui sera lancée en 2006.

Reference: "ELODIE metallicity-biased search for transiting Hot Jupiters : II. A very hot Jupiter transiting the bright K star HD189733", Bouchy et al., soumis à Astronomy and Astrophysics.

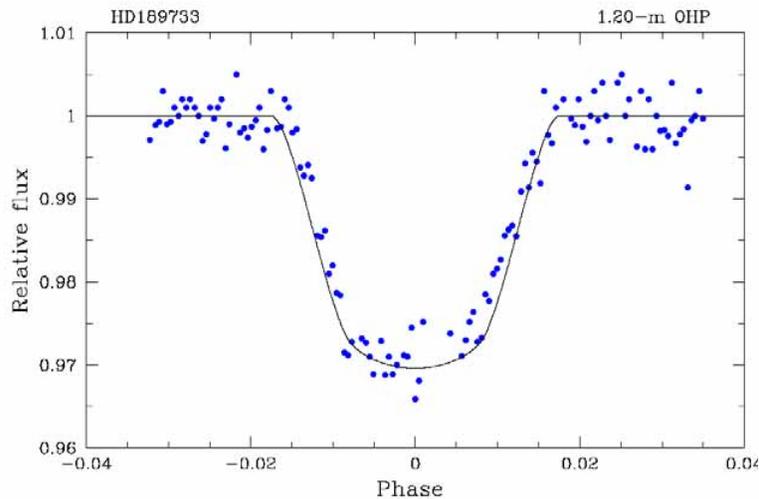
Ce communiqué et l'article scientifique sont en ligne sur : www.oamp.fr



"Télescope de 1,20 m de l'Observatoire de Haute Provence ayant permis de mesurer le transit photométrique de HD189733. La coupole du télescope de 1,93 m, qui a permis les mesures de vitesses radiales, apparaît au deuxième plan."



Vitesses radiales de l'étoile HD189733 obtenues avec le spectrographe ELODIE indiquant la présence d'une planète de 1.15 fois la masse de Jupiter à seulement 0.03 unité astronomique. *Les mesures de vitesse radiale mettent en évidence l'interaction gravitationnelle entre l'étoile et la planète.*



Mesures photométriques de l'étoile HD189733 obtenues avec la caméra du télescope de 1.2-m indiquant le transit d'une planète de 1.25 fois le diamètre de Jupiter.

Troisième partie

Méthode du transit

3.1 Objectifs

Vous voici dans la peau de François Bouchy ou de Claire Mouton. Vous allez ainsi étudier une petite partie du ciel en étudiant des photos prises non pas à l'Observatoire de Haute-Provence, comme ils l'ont fait, mais depuis l'espace grâce au télescope spatial Spitzer, lancé par la NASA en 2003. Ces photos couvrent un laps de temps d'un peu moins de 5 heures. Sur ces 20 images réelles, vous verrez trois étoiles plus brillantes que les autres. Vous les nommerez :

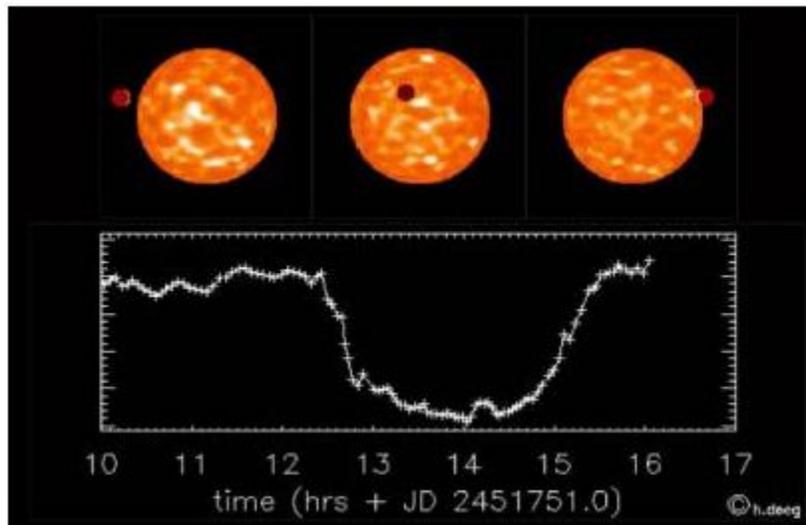
- ☆ étoile A (en haut, au centre)
- ☆ étoile B (en bas, à droite)
- ☆ étoile C (en bas, à gauche)

Parmi ces 3 étoiles, il faudra déterminer laquelle est l'étoile HD189733, possédant une exoplanète HD 189733b en orbite autour d'elle et par conséquent, lesquelles sont des étoiles dites de référence. Il vous faudra aussi montrer que le transit de cette exoplanète est bien de 2 heures et qu'elle provoque une baisse de luminosité de son étoile de 3%. Avec cette donnée, le rayon de la planète nous sera accessible. On pourra ensuite représenter l'évolution de l'intensité lumineuse reçue de cette étoile sur 3 jours avec une échelle de 4 heures par cm en abscisse connaissant la période orbitale, celle-ci étant déterminé grâce à la méthode de mesure des vitesses radiales. On aura également accès au rayon de l'orbite, à la vitesse de la planète, à la masse de la planète et à la masse volumique.

3.2 Détection d'une exoplanète avec SalsaJ

(D'après Suzanne et Michel Fraye)

Il existe plusieurs types d'exoplanètes qui sont classifiées selon leur masse, leur taille etc...La détection des planètes, en dehors du système solaire, est très difficile à cause de la grande distance entre l'observateur et la planète. On peut cependant utiliser la méthode des vitesses radiales, basée sur l'effet Doppler-Fizeau ou la méthode du transit (appelée également « occultation »). Celle-ci révèle une faible mais néanmoins mesurable variation de la luminosité de l'étoile quand la planète passe entre l'observateur et l'étoile. Cette méthode n'est possible que pour des planètes dont l'angle d'inclinaison i est proche de 90° (l'orbite de ces planètes est ainsi quasiment dans notre axe de visée), ce qui est malheureusement assez rare.



Le logiciel SalsaJ permet de déterminer la luminosité d'une étoile. On peut alors avec plusieurs images de cette étoile suivre la variation d'intensité lumineuse au cours du temps.

3.2.1 Ouverture des photos et réglages

Lancez le logiciel SalsaJ et ouvrez les 20 images contenues dans le dossier « spitzer » (on les trouve également [ici](#) sur le site « euhou ». Pour cela, on sélectionne la première image, puis on sélectionne, en appuyant

simultanément sur le bouton « schift », la dernière. On clique ensuite sur « ouvrir ». Les 20 photos apparaissent à l'écran. On peut les séparer en cliquant sur « fenêtre » puis « séparer ». On relève l'heure des quatre premières photos en cliquant sur « Image » puis « Informations... » pour chaque photo. On peut ainsi déterminer le temps écoulé entre deux clichés. On vérifiera que celui-ci est toujours le même en choisissant au hasard deux photos successives parmi les dernières.

Pour chaque image, on règle le contraste. Pour cela, on clique sur « Image », « Ajustements » et « Luminosité\Contraste ». Si on fait varier manuellement les curseurs sur une photo, on voit apparaître de nombreuses autres étoiles. Pour simplifier les réglages, on clique sur « valeurs », puis on entre dans la case « minimum visible » la valeur « 20 » et dans « maximum visible » la valeur « 100 ». On coche « propagate to all open images » et, pour finir, on clique sur « oui ». On clique ensuite sur , en haut et à droite de chaque image, pour agrandir la photo à 242%.

3.2.2 Photométrie

Il faut maintenant régler les paramètres de mesures photométriques. On va dans le menu « Analyse »-« Paramètres de la photométrie ». On rentre manuellement le rayon de l'étoile et le rayon du ciel, on choisira les valeurs de « 6 » pour le premier et de « 36 » pour le second. On sélectionne la première image. Nous allons commencer logiquement par l'étoile 1. On place le curseur au centre de l'étoile de façon la plus précise possible. Lorsque l'on clique avec le bouton gauche de la souris, une valeur de l'intensité lumineuse apparaît dans la fenêtre « Photométrie ». On répète la même opération, sur la même étoile, pour les 19 images suivantes, prises dans l'ordre chronologique. Enfin, dans la fenêtre « Photométrie », avec le menu « Edition », on copie l'ensemble des données.

3.2.3 Tableur LibreOffice

On ouvre le tableur LibreOfficeCalc, on colle les résultats que l'on vient de copier. On copie simplement la colonne contenant les différentes valeurs de l'intensité lumineuse. On utilise, pour les traiter, un logiciel scientifique comme Générís ou Regressi.

3.2.4 Générís 5+

On ouvre « Générís ». Dans le tableau de valeurs, on crée une première variable que l'on appellera « Temps », son unité sera la minute. Il y aura 20 points que l'on rentrera ultérieurement. La deuxième variable sera l'intensité lumineuse, I_1 et son unité « ADU » (Arbitrary Digital Unit). On colle alors dans cette colonne les 20 valeurs d'intensité copiées auparavant dans « LibreOfficeCalc ».

3.2.5 SalsaJ

On retourne dans SalsaJ, la fenêtre des résultats photométriques étant visible, on efface les résultats de photométrie précédents, menu « Analyse » et « Effacer les résultats photométriques ». Et on suit le même protocole avec les deux autres étoiles.

3.3 Analyse des données

3.3.1 Générís 5+

On remplit la première colonne (variable temporelle) avec un temps d'incrémentation de 14 mn : 0, 14, 28, 42... Les trois étoiles ayant des intensités lumineuses très différentes, on ne peut pas afficher les 3 graphes simultanément si l'on veut déceler ce transit. Il sera nécessaire de normaliser ces valeurs pour les afficher sur un même graphique avec une échelle correcte, afin de voir ce transit car la baisse de luminosité est relativement faible.

On calcule une moyenne d'intensité lumineuse I_{moy1} pour la première étoile en prenant les 7 premières valeurs. Je rappelle que Générís possède, comme tous les tableurs, la fonction « moyenne ». On crée une nouvelle variable que l'on appellera I_{v1} (v pour variation), son unité sera également « ADU ». Cette variable sera égale à $I_{v1} = I_1 - I_{moy1}$.

On refait ces mêmes opérations pour les étoiles 2 et 3. Et, quand on représente I_{v1} , I_{v2} et I_{v3} en fonction du temps, on doit observer un transit pour une des étoiles. Les deux autres étoiles doivent avoir une intensité lumineuse fluctuant autour d'une valeur moyenne.

L'étoile qui possède une planète en orbite autour d'elle est :

- L'étoile 1
- L'étoile 2
- L'étoile 3

3.3.2 Exploitation

Avant toute chose, nous aurons besoin de données qui ne nous sont pas accessibles par nos résultats. Grâce au spectrographe CORALIE et à des modèles complexes de classements d'étoiles, les astronomes connaissent sa masse et son rayon, ceux-ci sont donnés en fonction de notre soleil :

$$R_E = 0,76.R_{\odot} \text{ et } M_E = 0,82.M_{\odot} .$$

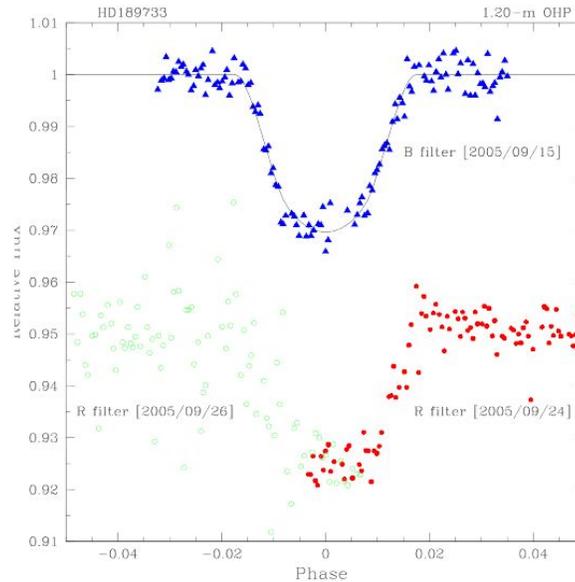
De plus, grâce à la méthode de la parallaxe, ils savent que l'étoile HD189733 est une étoile naine qui se situe à 19,3 pc (parsec pour « parallaxe-seconde ») de notre soleil.

- Retrouver la distance soleil-HD189733 en Années-Lumière sachant que $1 \text{ pc} = 3,085\,677 \cdot 10^{16} \text{ m}$.
- Vous avez obtenu avec Générïs quelque chose qui ressemble au graphique obtenu par l'équipe d'Aix-en-Provence. On peut alors estimer le pourcentage de cette baisse d'intensité lumineuse avec notre courbe $I=f(t)$.

Quel calcul doit-on faire ?

Comparer ce résultat avec celui du communiqué de presse.

Expliquer la différence en vous aidant du graphique ci-dessous.



- Estimer la durée du transit de HD189733b.
Comparer ce résultat avec celui du communiqué de presse.
- Le rayon de la planète HD189733b peut être calculé en appliquant la formule :

$$R_p = R_E \times \sqrt{\frac{\Delta I}{I_{moy}}}$$

Calculer R_p et l'exprimer en fonction du rayon de la planète Jupiter R_J .

Données : $R_{\odot} = 696\,342 \text{ km}$; $R_J = 71\,492 \text{ km}$

5. Faire un graphique du suivi de l'évolution de l'intensité lumineuse normalisée de l'étoile en fonction du temps sur 3 jours, le premier transit commençant au bout de 8 heures. La période étant de 2,219 jours. On prendra comme échelle en abscisse (\leftrightarrow) 1 cm pour 4h et en ordonnée (\updownarrow) 1 cm pour 200 ADU.

Faire apparaître la période orbitale sur ce graphe.

6. Connaissant la période orbitale, le calcul du rayon a de l'orbite de la planète se fait en utilisant la troisième loi de Kepler :

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G.M_E}$$

Donnée : $G = 6,67428.10^{-11} U.S.I$

Calculer a .

Exprimer a en U.A.

Comparer cette distance avec celle qui sépare Jupiter du soleil qui est de 5,2 U.A.

7. La vitesse de la planète est donnée par la formule :

$$V_p = \frac{2\pi.a}{T}$$

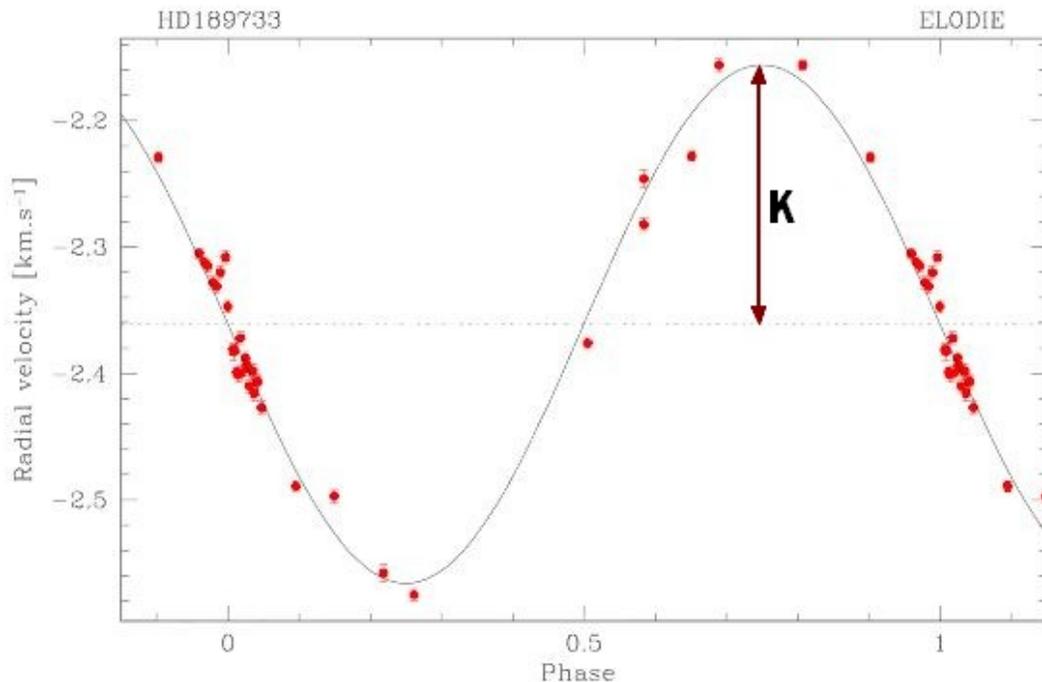
Expliquer d'où vient cette formule.

Calculer cette vitesse V_p que l'on appelle aussi « vélocité ».

8. Pour calculer la masse M_p de la planète, il faut connaître la vitesse de l'étoile V_E . On utilise pour cela le graphe obtenu par la méthode Doppler-Fizeau avec le spectrographe ELODIE dans lequel

$$V_E = \frac{K}{\sin i} \simeq K$$

car l'angle d'inclinaison est presque de 90° ($i = 85^\circ$) donc $\sin i \simeq 1$



Déterminer graphiquement V_E . Exprimer V_E en $m.s^{-1}$.

9. La masse de la planète est reliée à la masse de son étoile par la relation :

$$M_P = \frac{M_E \cdot V_E}{V_P}$$

Calculer M_P et exprimer ce résultat par rapport à la masse de Jupiter.

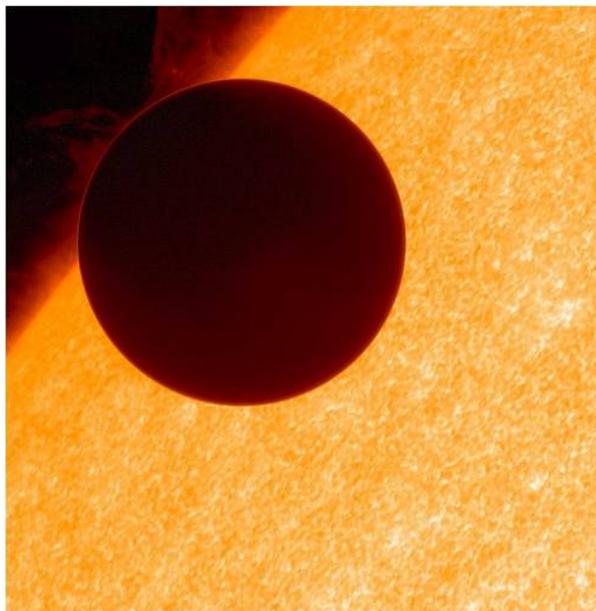
10. Calculer la masse volumique ρ_P de cette planète. On rappelle que le volume d'une sphère de rayon r est égale à $\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$.
Comparer cette valeur à celle de Jupiter qui est de $1\,326 \text{ Kg.m}^{-3}$.
Pourquoi dit-on que la densité de HD189733b est comparable à celle de Saturne ?
11. Pourquoi dit-on que cette planète est classée comme un Jupiter chaud.
12. Quelle justification est apportée dans le communiqué de presse pour expliquer une baisse de luminosité aussi significative ?
13. Peut-on trouver par cette méthode des planètes de la taille de la nôtre ?
14. Compléter le tableau ci-dessous avec vos propres données :

Paramètres	valeurs publiées	valeurs trouvées
Planet mass [M_J]	$1,15 \pm 0,04$	...
Planet radius [R_J]	$1,26 \pm 0,03$	...
Planet density [g.cm^{-3}]	$0,75 \pm 0,08$	...
Orbital semi-major axis [UA]	$0,0313 \pm 0,0004$	...

Si vos résultats sont proches de ceux trouvés par les astronomes de l'Observatoire de Haute-Provence, vous serez admis dans le cercle très fermé des astronomes éclairés.

3.4 Le transit de Vénus

Pour finir, voici une petite vidéo ainsi qu'une jolie illustration qui montrent le transit de Vénus devant notre Soleil. Cela a eu lieu en juin 2012. J'espère que, la prochaine fois, vous pourrez voir ce spectacle par vous-même. Ce sera le 11 décembre 2117. ☺



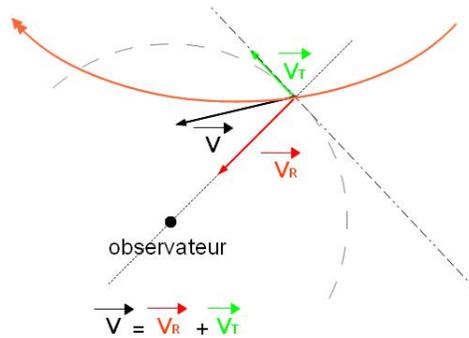
Quatrième partie

Bonus : De l'effet Doppler-Fizeau aux exoplanètes

4.1 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 »).



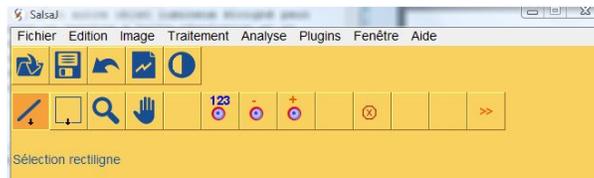
\vec{V}_R représente la vitesse radiale d'un mobile suivant la trajectoire « orange ».

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 en adaptant un exercice proposé par Roger Ferlet, Michel Faye et Suzanne Faye que l'on trouve [ici](#).

4.2 Mise en évidence du décalage du spectre

On ouvre tout d'abord le logiciel SalsaJ que l'on peut télécharger [ici](#).



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. On télécharge ces images en .fit (une fois décompressées) à l'adresse donnée dans la partie « 4.1 ». On aura également besoin plus tard des données de ces spectres, on les trouve à la même adresse. Ils auront l'extension .dat. Les temps auxquels ont été pris ces spectres sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Spectre	fitc01	fitc02	fitc03	fitc04	fitc05	fitc06	fitc07
date t (en jours)	0	0,944505	1,969681	2,944838	3,970746	4,886585	5,924292

Spectre	fitc08	fitc09	fitc10	fitc11
date t (en jours)	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 « .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 ».

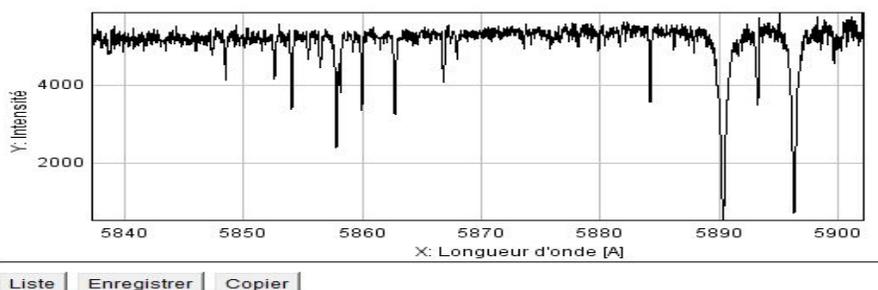
On clique ensuite sur « image » puis « piles » et « transférer images dans pile ». Ces images vont formées alors un petit film. Pour lire ce film, on clique sur « image », « piles » et « options des animations ». Dans la case « speed » on rentre la valeur « 1 », pour ralentir le temps de passage entre 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 dans le rouge puis dans le bleu.

4.3 Détermination de la période T de révolution de l'étoile

Pour se faire on utilise les mêmes spectres mais l'extension ne sera plus en « .fit » mais en « .dat ».

4.3.1 Etude du spectre1_o54.dat

On clique sur « fichier » puis « ouvrir », on sélectionne le fichier adéquat. On obtient :



Graphique Intensité=f(λ).

On remarque, dans ce spectre de raies d'absorption, deux raies très marquées et distantes de moins de 1 nm (1 nm = 10 Å) 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 ($X_1 \approx 5890 \text{ Å}$ et $X_2 \approx 5896 \text{ Å}$). 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.

Finalement :

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

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 :

$$\lambda_{Na_1} = 5889,950 \text{ Å et } \lambda_{Na_2} = 5895,924 \text{ Å}$$

4.3.2 Etude de tous les spectres restants

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	...	...

4.3.3 Détermination des vitesses radiales V_R par effet Doppler-Fizeau

Pour obtenir cette vitesse, on applique la relation :

$$V_R = c \cdot \left(\frac{\Delta\lambda_i}{\lambda_{Na_i}} \right)$$

avec $\Delta\lambda_i = \lambda_i - \lambda_{Na_i}$, i valant tout d'abord 1 puis 2.

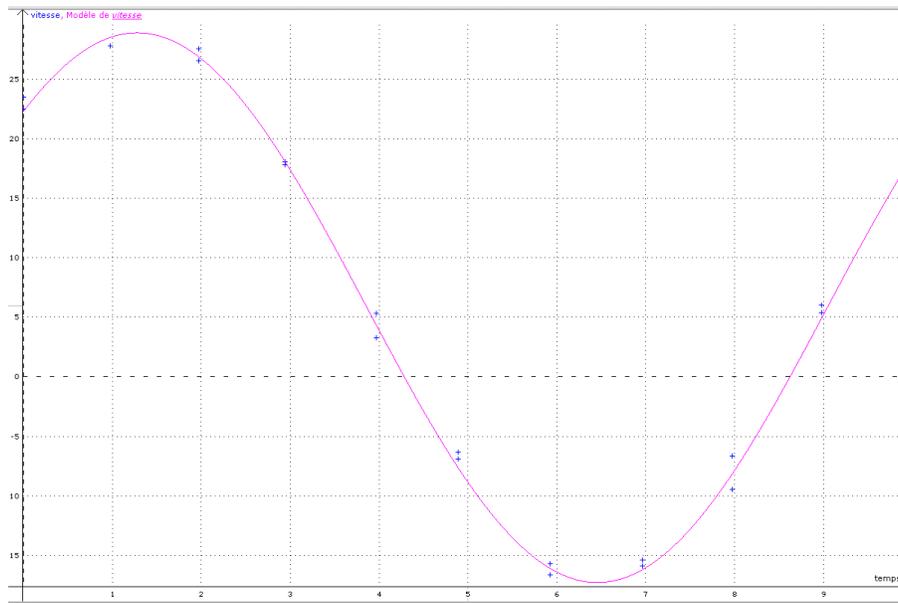
Spectre	Date en jour	$\Delta\lambda_1$ en Å	V_R en km.s ⁻¹
Spectre1_o54	0	0,461	23,48
Spectre2_o54	0,974505	...	...
Spectre3_o54	1,969681	...	...
Spectre4_o54	2,944838	...	...
Spectre5_o54	3,970746	...	...
Spectre6_o54	4,886585	...	...
Spectre7_o54	5,924292	...	...
Spectre8_o54	6,963536	...	...
Spectre9_o54	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	...	...

4.3.4 Détermination de la période de révolution T de l'étoile

A l'aide d'un tableur, comme LATIS, on rentre les dates des spectres dans la première colonne et dans la deuxième, on rentre les valeurs calculées de V_R . On fera ensuite une modélisation en choisissant une allure

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



Modélisation $V_R = f(t)$.

On trouve pour cette étoile une période de révolution de 10,35 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 de 10,35 jours 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.