

I. Détection et habitabilité d'une exoplanète (10 points)

- Une nouvelle exoplanète a été détectée, le 15 septembre 2005, par une équipe européenne d'astronomes. La planète HD 189733b de la constellation du petit renard a pu être détectée et étudiée simultanément par la combinaison de deux méthodes : vitesse radiale et occultation. Elle est une des rares exoplanètes dont les chercheurs ont, à ce jour, pu déterminer à la fois la masse exacte et le rayon et conclure qu'il s'agit d'un « gros Jupiter chaud ». De ce fait, et compte-tenu de la proximité (environ 60 années-lumière de la Terre), l'exoplanète HD 189733b offre à la communauté scientifique de riches horizons d'études complémentaires. <http://www.insu.cnrs.fr>
- Cet exercice aborde certains aspects du principe de détection de cette exoplanète et envisage sa possible habitabilité.

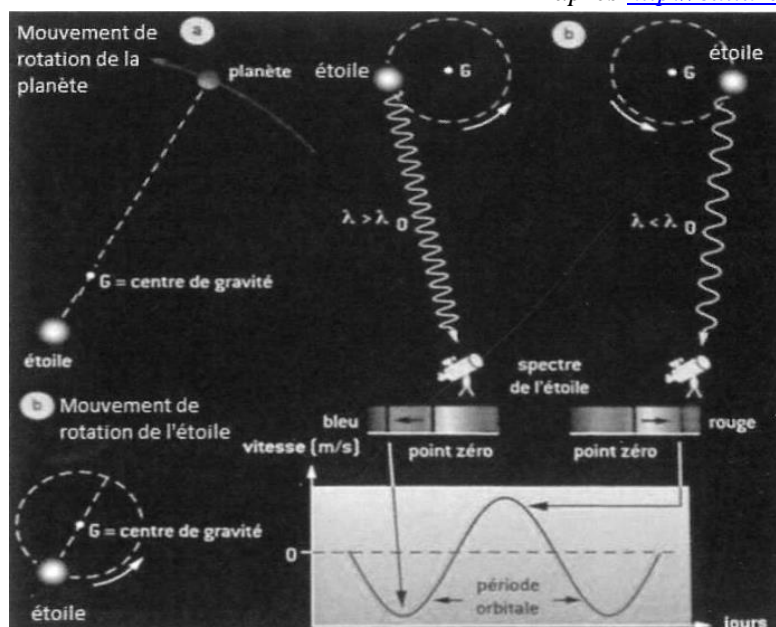
1. Illustration du principe de détection par vélocimétrie

- Une exoplanète est une planète qui tourne autour d'une étoile autre que le Soleil. L'ensemble des deux est appelé système {étoile-planète}. Ces systèmes peuvent être repérés par la méthode de vélocimétrie basée sur l'effet Doppler. Son principe s'appuie sur l'étude de la trajectoire de l'étoile autour d'un point G appelé centre de gravité du système {étoile-planète}. Les documents ci-dessous présentent des informations que nous sommes en mesure d'exploiter à partir de la méthode vélocimétrique et exposent les résultats de mesures effectuées pour le système HD 189733.

Document 1 : Principe de la méthode de vélocimétrie

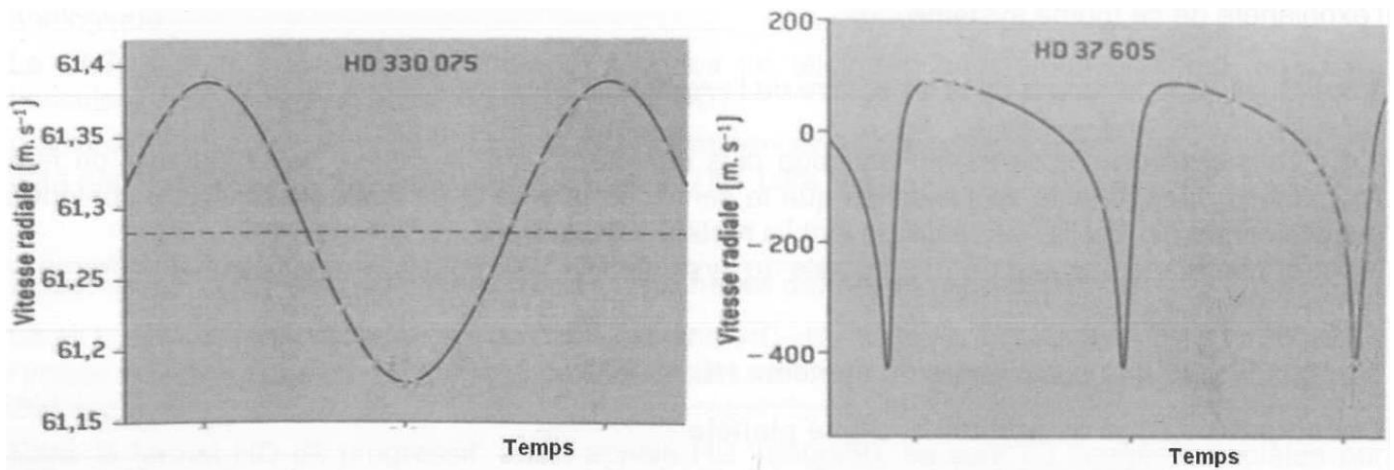
- Dans un système {étoile-planète}, la planète et l'étoile sont en mouvement de rotation autour du centre de gravité G du système. On enregistre les spectres de raies de l'étoile sur des cycles de plusieurs nuits, ce qui permet de mettre en évidence des oscillations périodiques de la longueur d'onde des raies observées. Ces oscillations peuvent être reliées, grâce à l'effet Doppler, au mouvement de rotation de l'étoile autour du centre de gravité du système. **La vitesse radiale de l'étoile (vitesse suivant l'axe d'observation Terre-étoile)** peut alors être déterminée par cette étude. Elle est composée d'une vitesse moyenne (vitesse du système par rapport à l'observateur terrestre) à laquelle s'ajoute une perturbation qui varie périodiquement. La période de la perturbation donne la période du mouvement de l'étoile qui est aussi la période du mouvement de la planète.

D'après <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr>



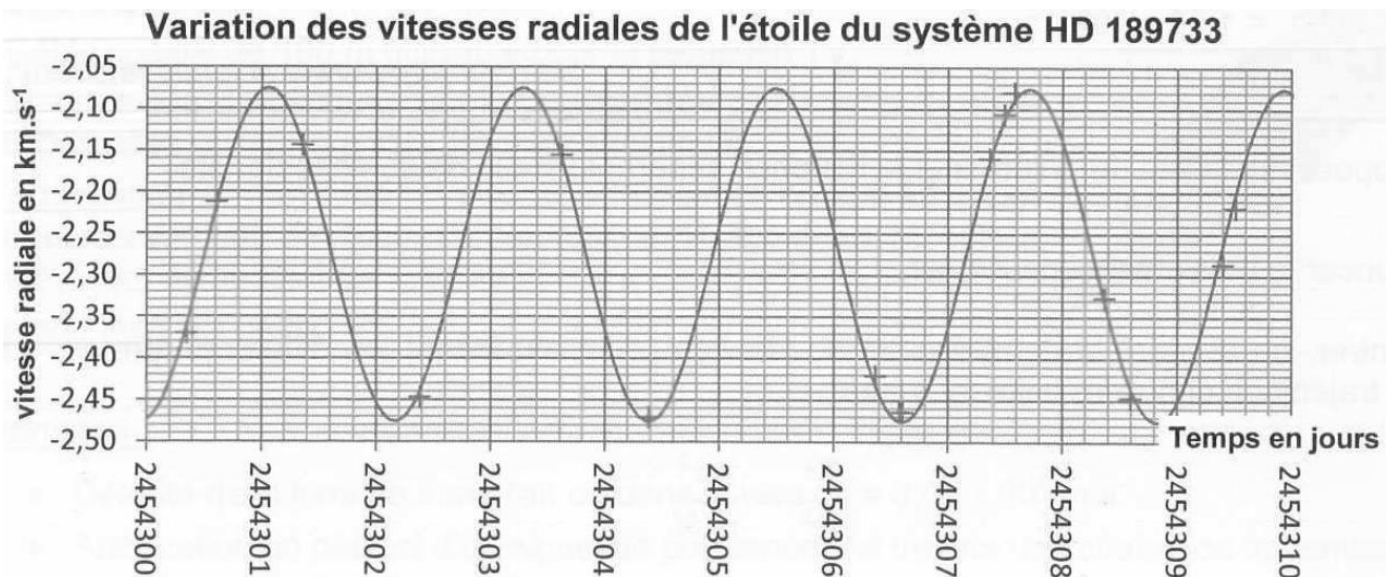
- La méthode des vitesses radiales utilisée permet de distinguer assez facilement les orbites circulaires des orbites elliptiques. Les planètes en orbite circulaire correspondent à des étoiles dont les variations de vitesse radiale sont régulières et symétriques en forme de sinusoïde (graphe de gauche). Lorsque la trajectoire est une ellipse allongée, il apparaît des « pics » dans la courbe de vitesses (graphe de droite).

D'après F. Casoli & T. Encrenaz, Planètes extrasolaires, 2005



Document 2 : Système {étoile-exoplanète} HD 189733

- Le graphe ci-dessous représente une modélisation des variations de la vitesse radiale de l'étoile du système HD 189733 autour de sa vitesse moyenne obtenue à partir de mesures réalisées à l'observatoire de Haute Provence par une équipe de chercheurs en juillet 2008.
- L'étoile du système HD 189733 est une étoile dont les caractéristiques sont assez proches de celle du Soleil : les températures de surface sont voisines, la masse de l'étoile est $M = 0,82 \times M_0$ où M_0 est la masse du Soleil ($M_0 = 1,989 \times 10^{30}$ kg).



- 1.1.** Le décalage spectral est lié au mouvement de rotation de l'étoile autour du centre de gravité G. On rappelle que le décalage spectral $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_{mesurée}$, où λ est une longueur d'onde de référence et $\lambda_{mesurée}$ sa valeur perçue depuis la Terre, permet de déterminer la vitesse v de déplacement du système par la relation :

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \text{ avec } c : \text{célérité de la lumière dans le vide ; } \lambda : \text{longueur d'onde de la raie de référence } (\lambda = 656,2 \text{ nm})$$

Quelles mesures, réalisées par l'observatoire de Haute Provence, ont permis de tracer la courbe du document 2 ? Expliquer la démarche des chercheurs.

- 1.2. Pour détecter la présence d'une planète extrasolaire, on repère une certaine périodicité dans la variation de vitesse radiale : ceci permet d'affirmer qu'il existe bien un système exoplanétaire.
Déterminer la période de révolution de l'étoile du système HD 189733 ainsi que celle de l'exoplanète de ce même système.
- 1.3. Quelle est la nature de la trajectoire de l'exoplanète autour du centre de gravité G ?
- 1.4. Énoncer la 2^{ème} loi de Kepler.
- 1.5. La masse de l'étoile étant beaucoup plus importante que la masse de la planète, on fera l'hypothèse dans la suite de l'exercice que le centre de gravité G du système peut être confondu avec le centre de l'étoile, les résultats établis restant valables.
En utilisant la 2^{ème} loi de Kepler, montrer que le mouvement de l'exoplanète du système HD 189733 est nécessairement uniforme.

2. Habitabilité de l'exoplanète du système HD 189733

Document 3 : Zone d'habitabilité d'une planète

- La zone d'habitabilité se définit par une fourchette de distance entre une planète et son étoile. Elle correspond à une zone dans laquelle la quantité d'énergie reçue par la planète permet à l'eau d'exister sous forme liquide. Dans notre système solaire, c'est le cas de la Terre située à 1 U.A. qui reçoit environ 1000 Watts par mètre carré d'énergie rayonnée par le Soleil. Si l'on s'approche du Soleil et que l'on dépasse Vénus situé à 0,723 U.A., la quantité d'énergie reçue est trop importante et l'eau se vaporise. Si on s'en éloigne et que l'on dépasse Mars située à 1,52 U.A., alors l'eau n'existe plus que sous forme de glace. Or, seule l'eau liquide permet à la vie d'exister sous la forme que nous lui connaissons.
 - La taille et la position de la zone d'habitabilité dépend naturellement de la puissance de l'étoile qui émet le rayonnement lumineux. Si l'étoile est petite, la zone d'habitabilité sera beaucoup plus proche d'elle que s'il s'agit d'une étoile géante.
- Donnée : 1 U.A. = $1,50 \times 10^8$ km

D'après <http://www.sciencesetavenir.fr>

- On se propose à présent de déterminer la distance séparant l'étoile de son exoplanète.

2.1. Démontrer que l'expression littérale de la vitesse orbitale de l'exoplanète est : $v = \sqrt{\frac{G \times M}{R}}$

Rappels sur le repère de Frenet : $\vec{a} = a_N \vec{n} + a_T \vec{t}$ avec $a_N = \frac{v^2}{R}$ et $a_T = \frac{dv}{dt}$.

2.2. Énoncer la troisième loi de Kepler.

2.3. Montrer, que la 3^{ème} loi de Kepler peut s'écrire : $\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G \times M}$

2.4. En déduire la distance moyenne R entre la planète et l'étoile ($G = 6,67 \times 10^{-11}$ N.m².kg⁻²).

2.5. La planète du système HD 189733 appartient-elle à la zone d'habitabilité ?

II. La vitamine C (10 points)

- La vitamine C est une espèce chimique hydrosoluble, dotée de propriétés antioxydantes. L'organisme humain la puise dans les aliments tels que les fruits et légumes. Une carence prolongée provoque des pathologies qui conduisent le médecin à prescrire un complément sous forme de comprimés.
- Dans cet exercice, on étudie la molécule de vitamine C dans une première partie, puis on vérifie l'indication apposée sur l'emballage d'une boîte de comprimés de vitamine C dans le cadre d'un contrôle.

Extrait de l'emballage de la boîte de comprimés de vitamine C

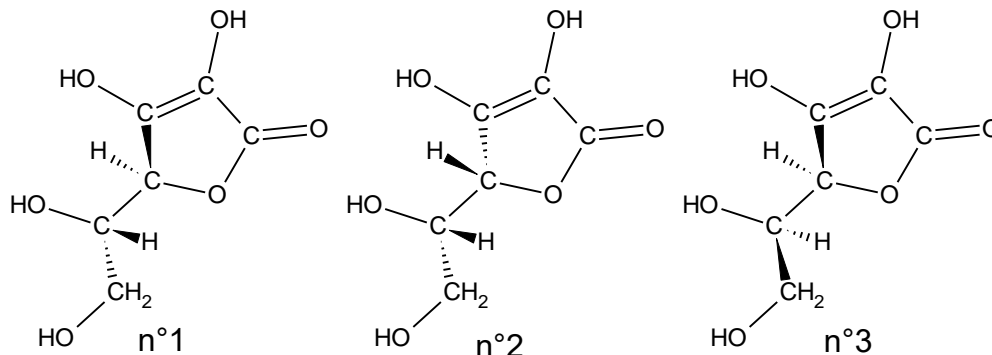
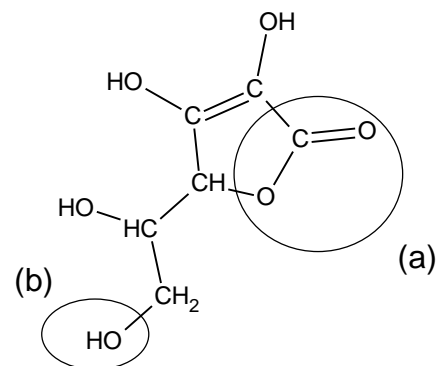
- La vitamine C est commercialisée sous forme de comprimés à croquer. Composition d'un comprimé de « Vitamine C UPSA® » :
- Acide ascorbique : 250 mg ; Ascorbate de sodium : 285 mg ; Excipients : sucres, arômes artificiels

Données

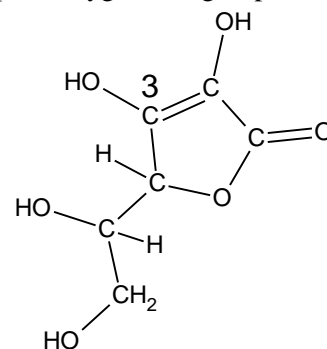
- L'acide ascorbique, de formule brute C₆H₈O₆ sera noté HA et sa base conjuguée A⁻ ;
- pK_A(HA/A⁻) = 4,1 à 37°C ;
- masse molaire de l'acide ascorbique M = 176,1 g.mol⁻¹ ; masse molaire de l'ascorbate de sodium M = 198,1 g.mol⁻¹
- pH de l'estomac environ égal à 1,5 ; pH de la salive compris entre 5,5 et 6,1.

1. Étude de la molécule de l'acide ascorbique

- La molécule d'acide ascorbique est représentée ci-contre :
- 1.1. Nommer les groupes caractéristiques (a) et (b) entourés sur la représentation de la molécule d'acide ascorbique.
- La molécule d'acide ascorbique possède des stéréoisomères.
- 1.2. Repérer ci-contre le ou les atomes de carbone asymétriques par un astérisque en justifiant votre choix.
- 1.3. Trois stéréoisomères de la molécule d'acide ascorbique sont représentés ci-dessous. Reconnaître si ces représentations sont identiques, énantiomères ou diastéréoisomères.



- 1.4. Les propriétés acido-basiques de cette molécule sont dues à l'hydrogène porté par l'oxygène du groupe caractéristique associé à l'atome de carbone en position 3 (schéma ci-contre). Représenter l'ion ascorbate, base conjuguée de l'acide ascorbique.
- 1.5. Sous quelle forme la substance active ingérée lors de la prise du comprimé de vitamine C se trouve-t-elle sur la langue ? Dans l'estomac ? Justifier par une méthode de votre choix.



2. Vérification de la masse d'acide ascorbique dans un comprimé

- On souhaite vérifier l'indication portée sur la boîte concernant la masse d'acide ascorbique présente dans un comprimé, à l'aide d'un titrage acidobasique suivi par conductimétrie.
- Une solution aqueuse S_A de volume $V = 200,0$ mL est préparée à partir d'un comprimé entier.
- On prélève un volume $V_A = (20,0 \pm 0,1)$ mL de la solution aqueuse S_A que l'on titre par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(aq)} + \text{HO}^-_{(aq)}$).
- 2.1. Rédiger le protocole de préparation de la solution aqueuse S_A .
- 2.2. Écrire l'équation de la réaction support du titrage. L'acide ascorbique sera noté AH.
- 2.3. Avec une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(aq)} + \text{HO}^-_{(aq)}$) de concentration molaire $C_B = 1,00 \times 10^{-2}$ mol.L⁻¹, le volume versé à l'équivalence vaut $V_E = 13,6$ mL. Démontrer que la masse expérimentale d'acide ascorbique du comprimé est égale à 239 mg.

3. Vérification de la masse d'ion ascorbate dans un comprimé

- 3.1. Pour vérifier par titrage la masse d'ascorbate de sodium contenue dans un comprimé, que faut-il choisir comme réactif titrant ?
A - une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(aq)} + \text{HO}^-_{(aq)}$) ;
B - une solution aqueuse d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$) ;
C - une solution aqueuse de chlorure de sodium ($\text{Na}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$).
Choisir la ou les propositions exactes en justifiant votre choix.
- 3.2. La masse d'ascorbate de sodium trouvée après titrage correspond à celle indiquée sur l'emballage. L'étiquette précise également que la masse totale des deux espèces conjuguées est équivalente à 500 mg d'acide ascorbique. Vérifier cette information par un calcul.
- 3.3. La formulation de La vitamine C est dite « tamponnée ». Rappeler la définition d'une solution tampon ainsi que ses propriétés.
- 3.4. Quel intérêt présente cette formulation du comprimé de vitamine C par rapport à un comprimé qui contiendrait uniquement 500 mg d'acide ascorbique ?