

# Physique-chimie enseignement spécifique

EXERCICE I : (5 points) : Détartrant et acide lactique

EXERCICE II : (10 points) : Les planètes de 16-CYgni-B

EXERCICE III : (5 points) : Contrôle de qualité en agroalimentaire

**EXERCICE I : DETARTRANT ET ACIDE LACTIQUE**

- Ennemi numéro un des cafetières, le tartre s'y installe au quotidien. Il peut rendre ces machines inutilisables et altérer le goût du café. Pour préserver ces appareils, il est donc indispensable de les détartrer régulièrement.
- Plusieurs fabricants d'électroménager recommandent d'utiliser des détartrants à base d'acide lactique ; en plus d'être efficace contre le tartre, cet acide est biodégradable et non corrosif pour les pièces métalliques se trouvant à l'intérieur des cafetières.
- Après une étude de la réaction entre l'acide lactique et l'eau, on vérifiera par un titrage la teneur en acide lactique dans un détartrant et on s'intéressera à l'action de ce détartrant sur le tartre.

Les parties 1, 2 et 3 sont indépendantes les unes des autres.

**1. PARTIE 1 : L'acide lactique**

- Ennemi numéro un des cafetières, le tartre s'y installe au quotidien. Il peut rendre ces machines inutilisables et altérer le goût du café. Pour préserver ces appareils, il est donc indispensable de les détartrer régulièrement.
- Plusieurs fabricants d'électroménager recommandent d'utiliser des détartrants à base d'acide lactique ; en plus d'être efficace contre le tartre, cet acide est biodégradable et non corrosif pour les pièces métalliques se trouvant à l'intérieur des cafetières.
- Après une étude de la réaction entre l'acide lactique et l'eau, on vérifiera par un titrage la teneur en acide lactique dans un détartrant et on s'intéressera à l'action de ce détartrant sur le tartre.

**Les parties 1, 2 et 3 sont indépendantes les unes des autres.**

**2. Partie 2 : L'acide lactique**

- Le détartrant à base d'acide lactique est conditionné sous forme liquide dans un petit flacon. La notice d'utilisation indique qu'il faut verser la totalité de son contenu dans le réservoir de la cafetière et qu'il faut ajouter de l'eau.
- Après ajout de l'eau, le pH de la solution aqueuse d'acide lactique vaut 1,9.

➤ **Données** : Caractéristiques de l'acide lactique.

Formule semi-développée	Masse molaire	Constante d'acidité (à 25°C) du couple acide lactique / ion lactate noté AH/A <sup>-</sup>
$\begin{array}{c} & \text{O} \\ & \parallel \\ \text{H}_3\text{C} - \text{CH} - \text{C} & \\   & \diagdown \\ \text{OH} & \text{OH} \end{array}$	M = 90,0 g.mol <sup>-1</sup>	pK <sub>A</sub> = 3,9

**2.1. La molécule d'acide lactique**

2.1.1 Entourer et nommer le groupe caractéristique responsable de l'acidité de la molécule.

2.1.2 Quel est le nom de l'acide lactique en nomenclature officielle choisi dans le tableau suivant ?

Acide 2-hydroxy -3-propanoïque	Acide 2-hydroxy méthanoïque	Acide 2-hydroxy éthanoïque	Acide 2-hydroxy propanoïque
-----------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	--------------------------------

2.1.3 Le spectre RMN de l'acide lactique est donné sur le document 1. Compléter ce document en entourant les groupes de protons équivalents sur la formule semi-développée de la molécule, et en les faisant correspondre au spectre RMN. On explicitera sa démarche.

**2.2. Réaction de l'acide lactique avec l'eau**

2.2.1 On note AH la molécule d'acide lactique. Écrire l'équation de la réaction de l'acide lactique avec l'eau.

2.2.2 Quelle est l'espèce qui prédomine dans la solution de détartrant ? Justifier.

**3. Partie 3 : Titrage de l'acide lactique dans un détartrant**

- Sur l'étiquette de la solution commerciale de détartrant, on trouve les indications suivantes : « **contient de l'acide lactique, 45 % en masse** ».

➤ **Donnée** : masse volumique du détartrant :  $\rho = 1,13 \text{ kg.L}^{-1}$ .

- Afin de déterminer la concentration molaire  $C$  en acide lactique apporté dans la solution de détartrant, on réalise un titrage acido-basique.
- La solution de détartrant étant trop concentrée, on prépare par dilution une solution 10 fois moins concentrée (on note  $c_d$  la concentration de la solution diluée).

### 3.1. Dilution

- On dispose des lots de verrerie A, B, C, D suivants :

Lot A	Lot B	Lot C	Lot D
Pipette jaugée 5,0 mL Bécher 50 mL Eprouvette 50 mL	Pipette jaugée 10,0 mL Fiole jaugée 1,000 L	Pipette jaugée 10,0 mL Fiole jaugée 100,0 mL	Eprouvette graduée 10 mL Fiole jaugée 100,0 mL

➤ Choisir le lot de verrerie permettant de réaliser la dilution le plus précisément possible. Justifier l'élimination des trois autres lots de verrerie.

### 3.2. Titrage acido-basique

- On réalise le titrage pH-métrique d'un volume  $V_A = 5,0$  mL de solution diluée par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+_{(aq)} + \text{HO}^-_{(aq)}$ ) de concentration molaire en soluté apporté  $c_B = 0,20 \text{ mol.L}^{-1}$ . On obtient la courbe du document 2
- L'équation de la réaction support du titrage est la suivante :  $\text{AH}_{(aq)} + \text{HO}^-_{(aq)} \longrightarrow \text{A}^-_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}$  (on note AH la molécule d'acide lactique).

**3.2.1** Déterminer graphiquement, le volume  $V_E$  de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence.

**3.2.2** En précisant la démarche suivie, calculer la concentration molaire  $c_d$  en acide lactique dans la solution diluée.

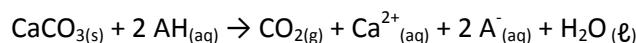
**3.2.3** Montrer alors que la concentration molaire  $C$  en acide lactique dans le détartrant est proche de 6mol/L.

**3.2.4** Calculer la masse d'acide lactique présente dans 1,00 L de détartrant.

**3.2.5** Montrer que le pourcentage massique d'acide lactique présent dans le détartrant est cohérent avec l'indication de l'étiquette.

## 4. Action du détartrant sur le tartre

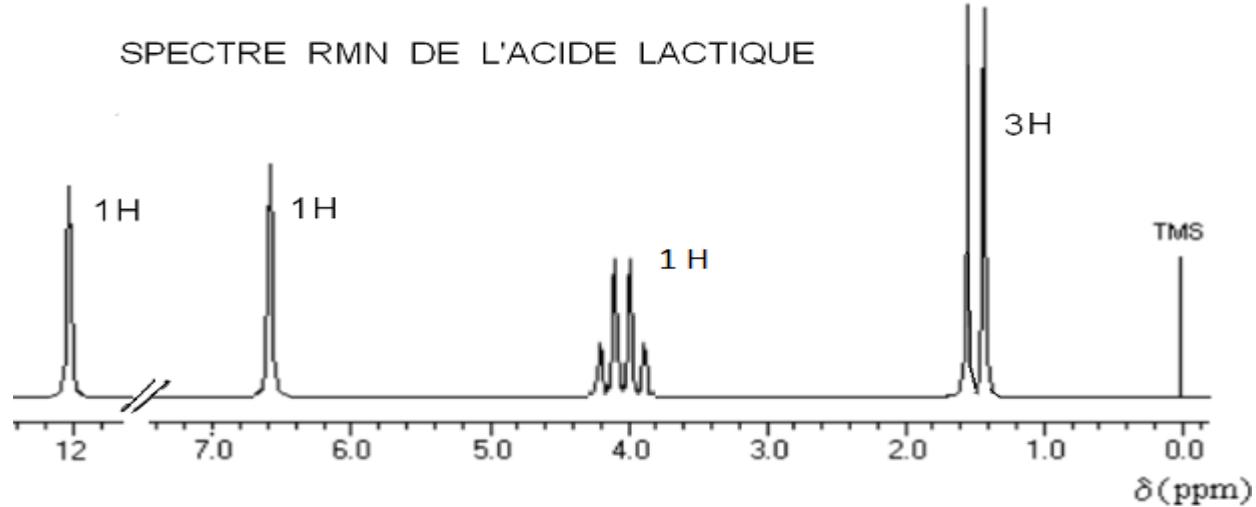
- Dans cette partie, on cherche à évaluer le temps nécessaire à un détartrage efficace, en étudiant la cinétique d'une transformation réalisée au laboratoire.
- Le tartre est essentiellement constitué d'un dépôt solide de carbonate de calcium de formule  $\text{CaCO}_3$  (masse molaire  $M=100,1 \text{ g/mol}$ ). Lors du détartrage, l'acide lactique réagit avec le carbonate de calcium suivant la réaction d'équation :



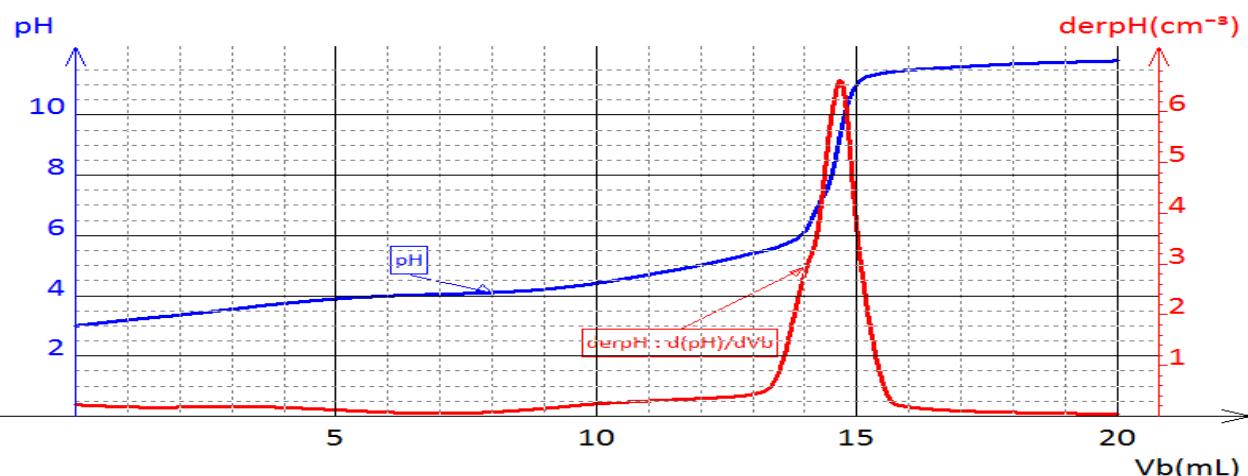
- Dans la cafetière, on verse la solution de détartrant de telle sorte que l'acide lactique soit en excès par rapport au carbonate de calcium. On mesure la surpression due au dioxyde de carbone produit lors de la réaction qui se déroule à la température constante de 25°C. Cette surpression est équivalente à la pression du dioxyde de carbone seul dans le ballon. On détermine ainsi l'avancement  $x$  de la réaction au cours du temps (voir le document 3)

- 4.1. A partir de ce document 3, déterminer la valeur de l'avancement maximal  $x_{\max}$ . Justifier votre réponse.
- 4.2. En déduire la valeur de la masse  $m$  de carbonate de calcium présent dans la cafetière. On pourra s'aider d'un tableau d'avancement.
- 4.3. Déterminer précisément le temps de demi-réaction  $t_{1/2}$ . Justifier votre réponse.
- 4.4. Lors du détartrage d'une cafetière, le mode d'emploi proposé conduit à utiliser une solution un peu plus concentrée en acide lactique et à chauffer cette solution. Quelle est la conséquence sur la durée de détartrage ?

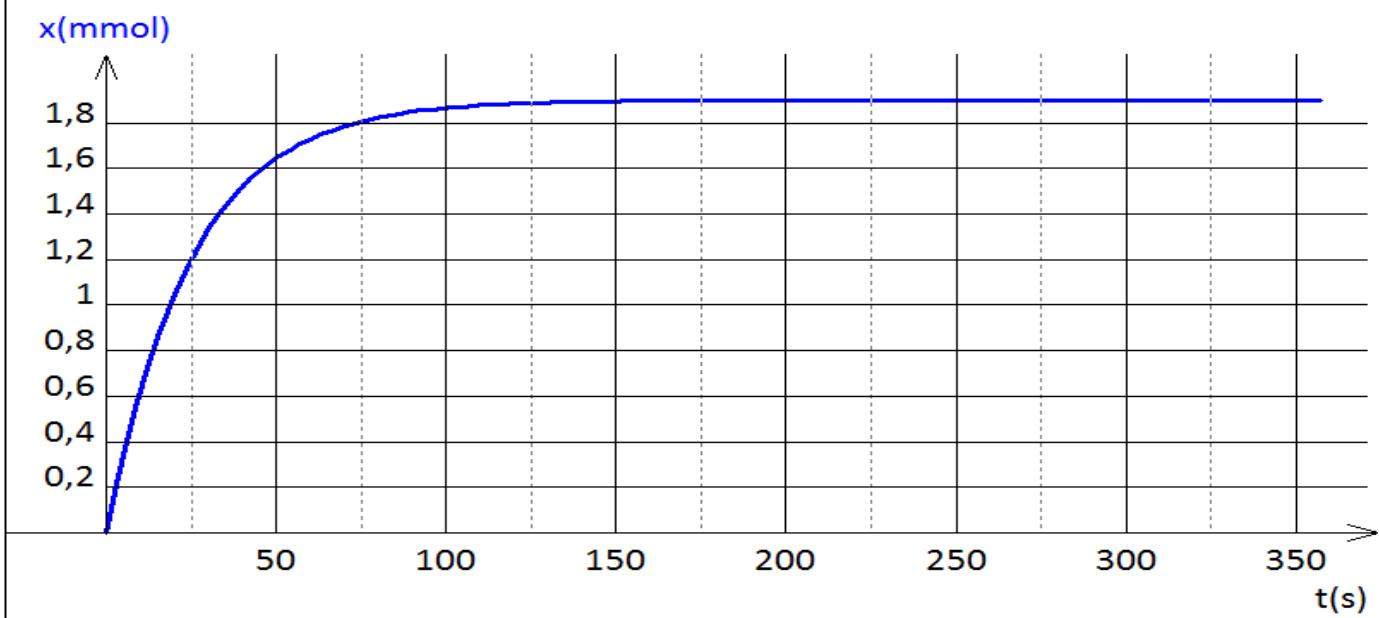
Document 1



Document 2



document 3



## EXERCICE II : LES PLANÈTES DE 16 CYGNI-B

En 1997, plusieurs observatoires terrestres ont détecté la présence d'une planète géante autour de l'étoile 16Cygni-B dans la constellation du Cygne par la méthode des vitesses radiales. Celle-ci, étant assez similaire à Jupiter mais beaucoup plus grosse, plusieurs satellites naturels pourraient orbiter autour d'elle. Des simulations indiqueraient qu'un satellite semblable à la Terre autour de cette planète géante pourrait abriter de l'eau sous forme liquide tout au long de la révolution de la planète.

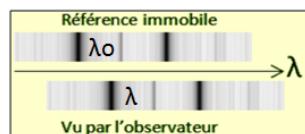
### Partie A : DETECTION

#### Doc 1 : Méthode des vitesses radiales

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.

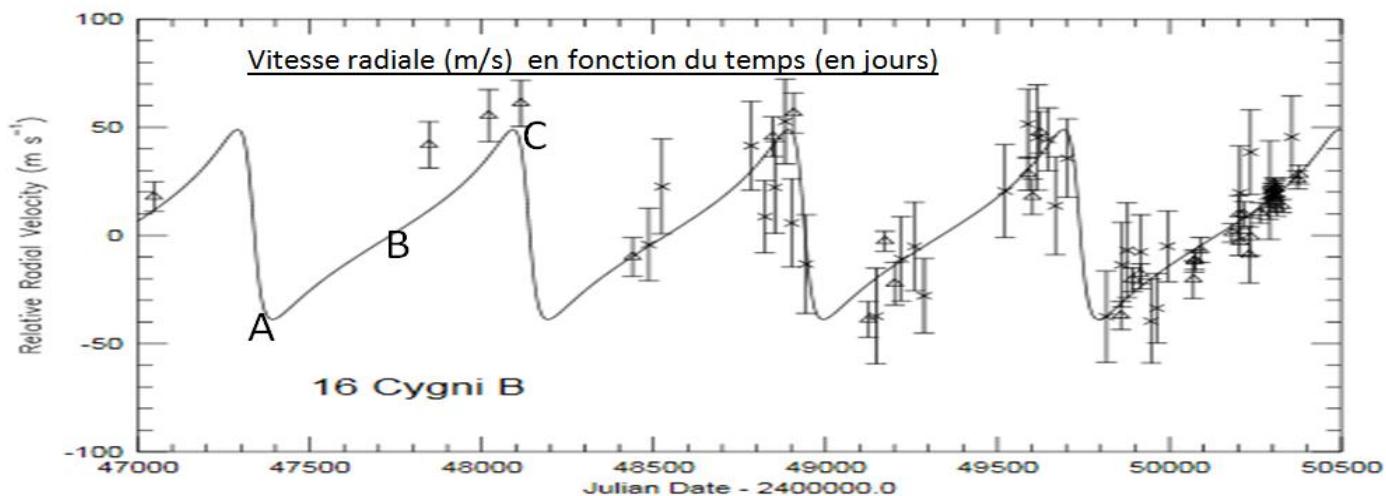
On note  $\lambda_0$  la longueur d'onde de référence de la raie étudiée dans le spectre (source immobile par rapport à l'observateur) et  $\lambda$  la longueur d'onde de la radiation émise par la source en mouvement.

$$\text{Vitesse radiale : } V_r = c \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad \text{Avec } \Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 \text{ et } c : \text{vitesse de la lumière dans le vide}$$

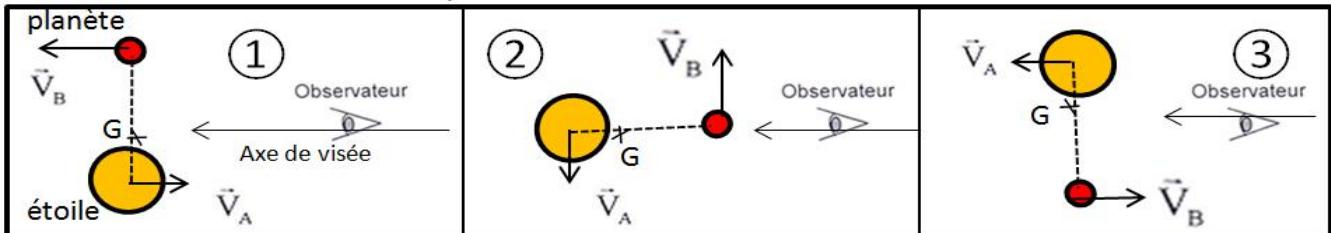


une vitesse radiale positive indique que l'objet s'éloigne. Une vitesse négative que l'objet se rapproche

#### Doc 2 : résultats pour 16cygniB



3 configurations d'observation L'observateur se trouve infiniment loin sur Terre à 21.4 al et ne voit que la lumière de l'étoile



3 décalages spectraux observés



- 1- Faire correspondre les instants A, B et C avec les 3 configurations 1, 2 et 3 et avec les 3 décalages spectraux I, II et III. Justifier pour un seul des 3 cas.
- 2- Trouver à l'aide du graphique et de mesures la vitesse propre de l'étoile par rapport à la Terre.
- 3- Mesurer avec le plus de précision possible la période de révolution de la planète autour de 16Cygni-B.
- 4- Votre résultat est-il suffisamment précis pour se trouver dans l'intervalle estimé correct :  $T = 799.5 \pm 0.6$  j

## Partie B : l'orbite de la planète géante autour de 16Cygni-B

1- Placer sur le schéma ci contre le centre de l'ellipse et les 2 foyers F1 et F2. Par une mesure, montrer que l'excentricité de l'orbite est bien d'environ 0.689. ( excentricité  $e = c/a$  avec  $c$ = distance centre-foyer et  $a$  = demi-grand axe)

2- Sachant que  $a = 1.68$  ua (unités astronomiques), calculer la distance de la planète au périhélie (distance la plus proche) et à l'aphélie (distance la plus éloignée de l'étoile).

3- Comment évolue la vitesse de cette planète autour de son étoile ?

4- L'expression de la force d'attraction gravitationnelle de l'étoile sur la planète est :

$$\vec{F} = -G \frac{m \cdot M}{r^2} \vec{u}$$

Que représente tous les symbole de cette équation ainsi que leurs unité de mesure. Représenter cette force quand la planète se trouve en p ainsi que le vecteur u.

5- Calculer la masse de l'étoile 16Cygni-B en utilisant la 3<sup>eme</sup> loi de KEPLER.

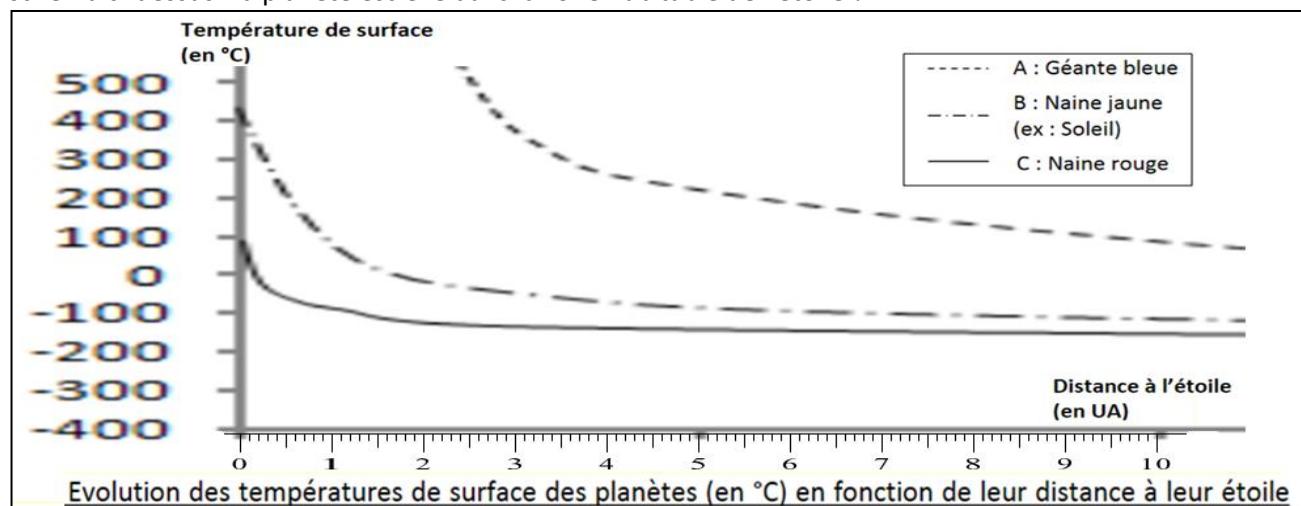
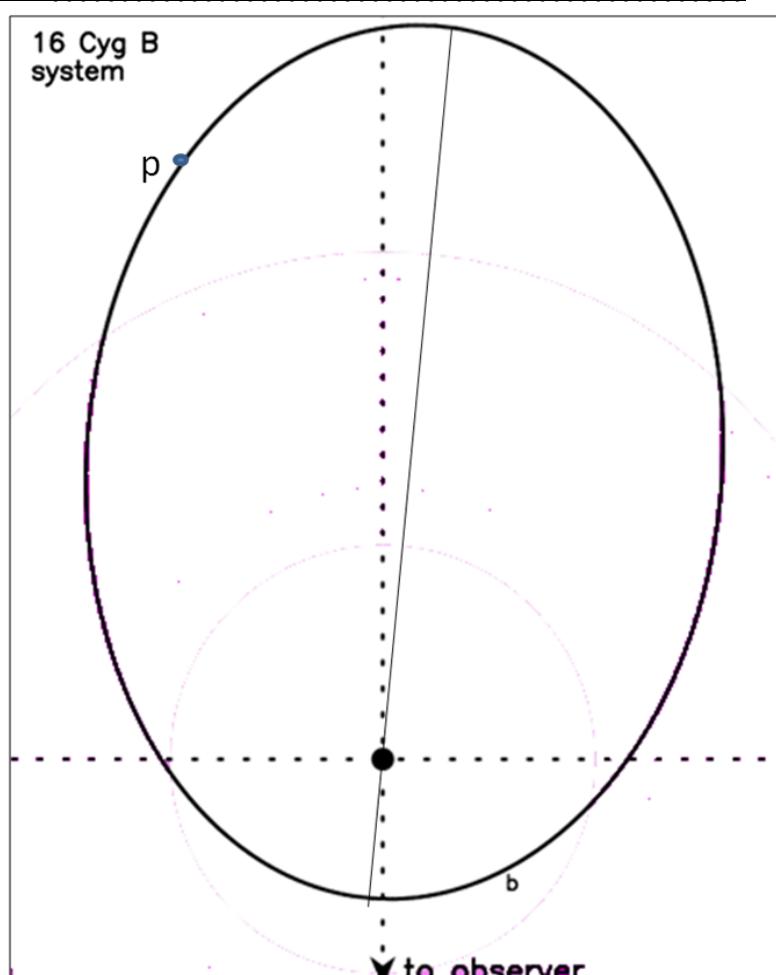
$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G \times M}{4 \times \pi^2}$$

$G=6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

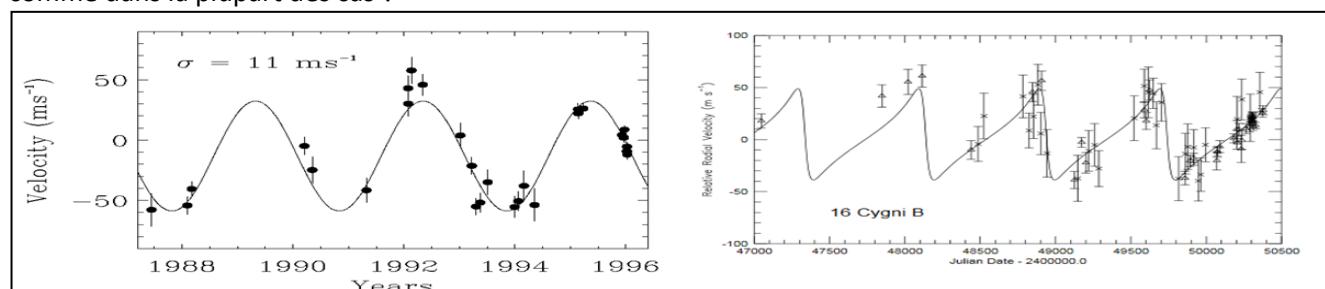
1ua = 150 millions de km

Puis comparer sa masse à celle de notre Soleil  
 $M_s = 1.9891 \times 10^{30} \text{ kg}$ .

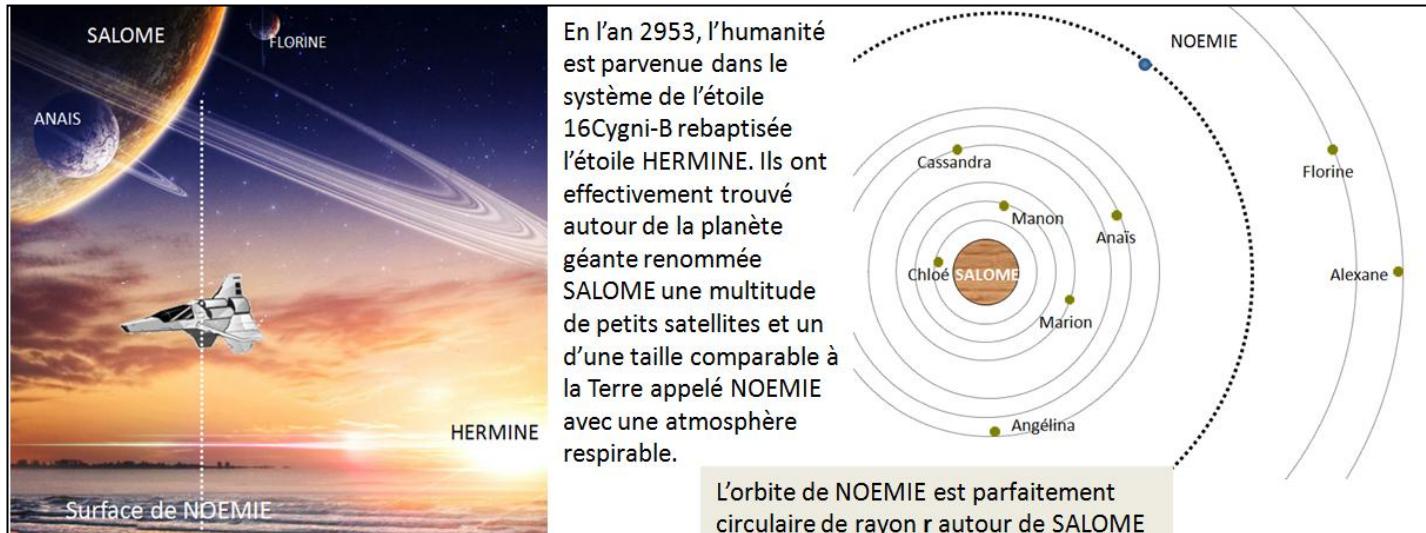
6- La zone habitable d'une étoile est en gros la zone où le rayonnement de l'étoile permet à l'eau de **rester liquide** sur une planète. On estime que la luminosité de l'étoile 16Cygni-B est comparable à celle du Soleil. A l'aide du graphique suivant estimer les limites de la zone habitable de cette étoile et représenter approximativement cette zone habitable sur le schéma ci-dessus. La planète est-elle dans la zone habitable de l'étoile ?



7- En quelques mots expliquer pourquoi la courbe de détection des vitesses radiales n'était pas sinusoïdale comme dans la plupart des cas ?



## Partie C : NOEMIE et SALOME



- 1- Représenter sur le schéma de droite ci-dessus le vecteur accélération et le vecteur vitesse de la planète NOEMIE. La rotation se fait dans le sens des aiguilles d'une montre.. Montrer que le mouvement de NOEMIE autour de SALOME est uniforme et montrer que l'expression de la vitesse de NOEMIE est  $v = \sqrt{G \frac{M}{r}}$  ( $M$  : masse de SALOME et  $r$  : rayon de l'orbite de NOEMIE).
- 2- Une navette est en orbite circulaire autour de la planète NOEMIE à une altitude  $z = 550$  km. Sa vitesse orbitale est  $v = 7,10$  km/s par rapport au centre de NOEMIE. Trouver la masse  $M_n$  de la planète NOEMIE sachant que son rayon  $R_n$  est estimé à 5900 km.
- 3- La navette de masse  $m = 7,53 \times 10^3$  kg est en phase finale de sa descente sur NOEMIE (voir schéma ci-dessus à gauche) Grace à ses rétrofusées sa descente se fait verticalement à la vitesse constante  $v = 0,5$  m/s. Les rétrofusées développent une force de  $6,43 \times 10^4$  N. Grace à une des lois de NEWTON, trouver la valeur de l'accélération de la pesanteur sur NOEMIE.

### EXERCICE III : Contrôle de qualité en agroalimentaire

Le **macaron** est un petit gâteau granuleux et moelleux à la forme arrondie, d'environ 3 à 5 cm de diamètre, pouvant être teinté par des colorants alimentaires (généralement désignés par la lettre E, suivie d'un nombre). On désire savoir si un fabricant respecte la législation en vigueur sur l'utilisation des colorants. Cette étude s'intéresse à un macaron coloré au rouge Ponceau (masse molaire  $M = 604$  g/mol). Le gâteau de masse  $m = 15$  g est lyophilisé puis réduit en poudre dans un mortier. Après solvatation (dissolution dans l'eau) et filtration sur Büchner, on obtient 25 mL de filtrat. On considère que la totalité du rouge Ponceau est récupérée dans cette solution aqueuse.

#### 5. Questions préliminaires

- 5.1. D'après son nom le colorant semble rouge. Cette affirmation est-elle en accord avec le document 1 ? Justifier.
- 5.2. A l'aide des documents 1, 2 et 3, les colorants alimentaires sont généralement désignés par la lettre E, suivie d'un nombre. Sous quelle dénomination a-t-on référencé le rouge Ponceau. Justifier

#### Loi de Beer-Lambert

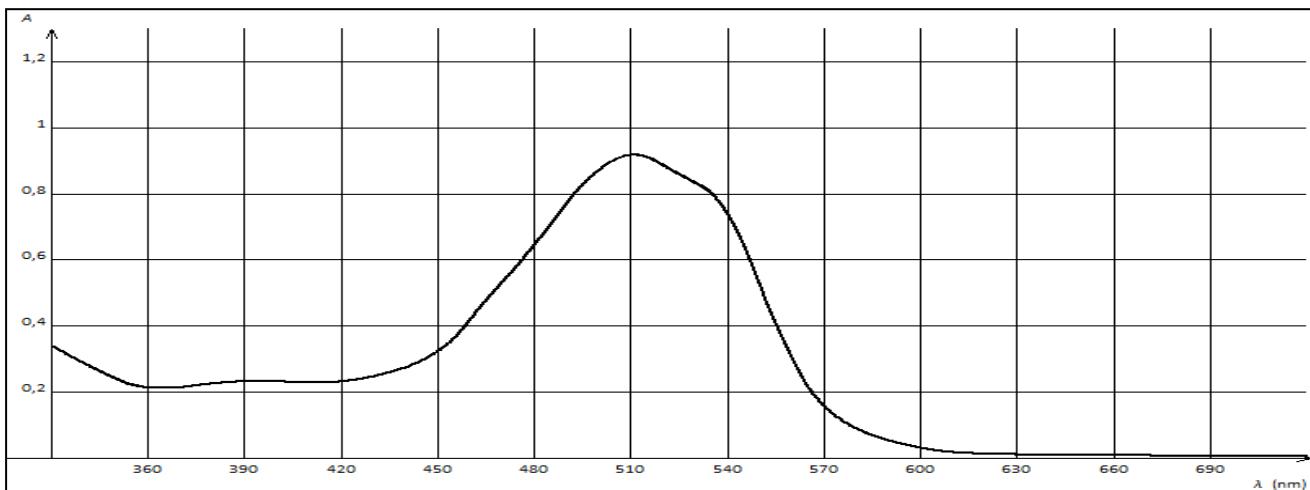
- Après avoir fabriqué une gamme de solutions étalons contenant ce colorant, on mesure leur absorbance à la longueur d'onde  $\lambda = 510$  nm
- On remplit avec le filtrat une cuve de largeur  $\ell = 1,0$  cm et on mesure son absorbance :  $A = 0,94$  avec  $\lambda = 510$  nm. Le graphique  $A=f(C_m)$  est donné dans le document 4.
- 5.3. La loi de Beer Lambert est-elle vérifiée ? Justifier votre réponse.
- 5.4. Déterminer l'équation de cette droite.
- 5.5. En déduire la concentration massique  $C'_m$  en rouge Ponceau du filtrat.

#### 6. Conclusion

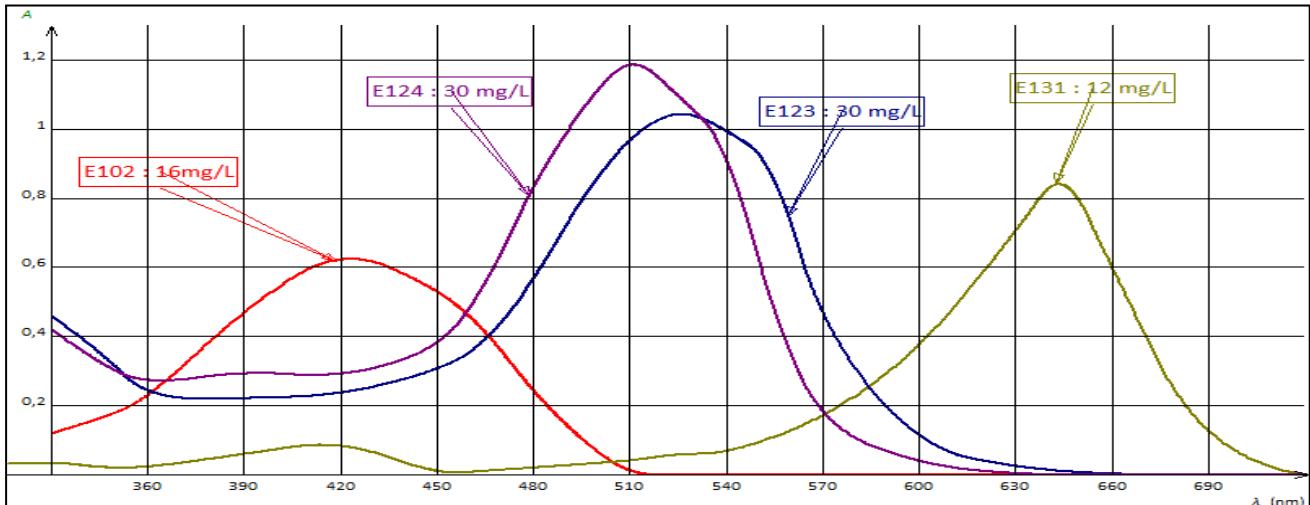
- La législation impose de ne pas dépasser 50 mg de rouge Ponceau par kilogramme d'aliment.
- 6.1. Préciser si la législation est respectée pour le rouge Ponceau dans le cas du macaron. *Tout début de raisonnement sera valorisé.*

$C_m$ (mg/L)	0	10	20	30	40
A	0	0,41	0,82	1,23	1,64

➤ **Document 1** : Spectre d'absorption de la solution obtenue



➤ **Document 2** : Spectre d'absorption de différents colorants.



Document 3 : colorant rouge

Colorant	Réglementation française	DJA*	Précisions
E124	autorisé	0,7	mentionner au consommateur « peut avoir des effets indésirables sur l'activité et l'attention des enfants »
E123	interdit		
E102	autorisé	7,5	mentionner au consommateur « peut avoir des effets indésirables sur l'activité et l'attention des enfants »
E131	autorisé	2,5	

DJA\* : Dose journalière autorisée (en mg/kg de masse corporelle)

➤ **Document 4** :

