Calculatrice autorisée

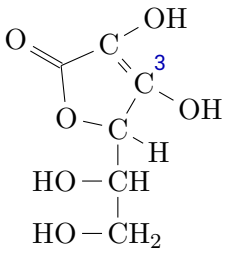
Exercice 1 : La vitamine C, de la molécule au comprimé

14,5 points

L'acide ascorbique, plus connu sous le nom de vitamine C, se dissout bien dans l'eau et protège les cellules de l'oxydation. Notre corps ne sait pas le fabriquer : il le trouve dans les fruits et les légumes frais. Lorsque l'alimentation n'en apporte pas assez pendant longtemps, des troubles apparaissent, et un complément en comprimés peut alors être prescrit.

Partie A : la molécule d'acide ascorbique

La formule semi-développée de l'acide ascorbique $C_6H_8O_6$ est donnée ci-contre ; l'atome de carbone repéré par le numéro 3 porte un groupe hydroxyle. Son spectre d'absorption infrarouge est reproduit sur la figure 1 ci-dessous.



1) Montrer que le spectre de la figure 1 est compatible avec la formule de l'acide ascorbique. Une des bandes attendues ne se distingue pas nettement sur ce spectre : laquelle ? Proposer une explication.

2) Le caractère acide de la molécule est dû à l'atome d'hydrogène du groupe hydroxyle porté par le carbone 3. Donner la définition d'un acide au sens de Brønsted, puis représenter l'ion ascorbate, base conjuguée de l'acide ascorbique.

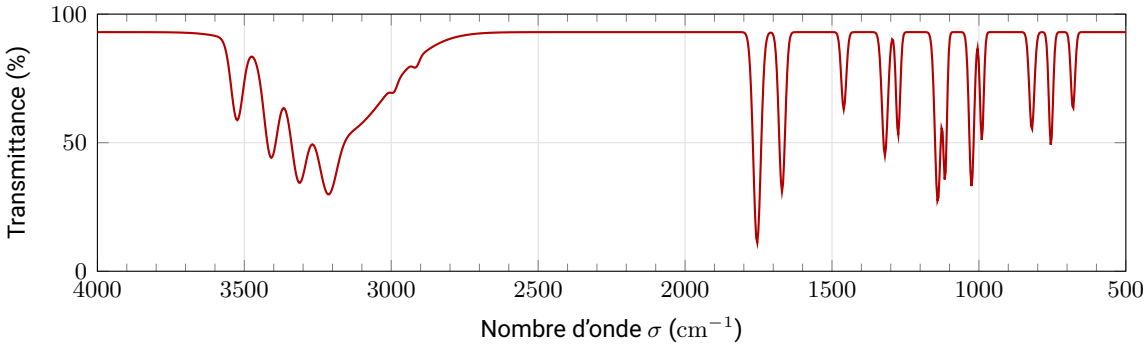


Figure 1 : spectre infrarouge de l'acide ascorbique (échantillon solide)

Liaison	O–H (alcool)	C–H	C=O	C=C
Nombre d'onde (cm^{-1})	3200 – 3600	2850 – 3100	1650 – 1780	1620 – 1680
Allure de la bande	forte et large	moyenne, fine	forte et fine	moyenne et fine

Partie B : la vitamine C d'un jus de fruits se dégrade

Une fiche d'information destinée aux consommateurs rappelle que la vitamine C supporte mal l'air, la lumière et la chaleur : un jus de fruits fraîchement pressé, laissé à la température de la pièce, perd environ la moitié de sa vitamine C en un peu plus d'une journée. Il vaut donc mieux le boire rapidement, ou le garder au réfrigérateur dans un récipient fermé.

Un jus de pamplemousse filtré est maintenu à la température $T_1 = 20\,°\mathrm{C}$. Des mesures régulières de la teneur en acide ascorbique du jus ont permis d'en modéliser l'évolution (figure 2, courbe en trait plein) ; la courbe en tirets correspond au même jus conservé à une autre température T_2. La vitamine C est oxydée par le dioxygène dissous selon la réaction d'équation :

$$2\,C_6H_8O_6(aq) + O_2(aq) \longrightarrow 2\,C_6H_6O_6(aq) + 2\,H_2O\,(l)$$

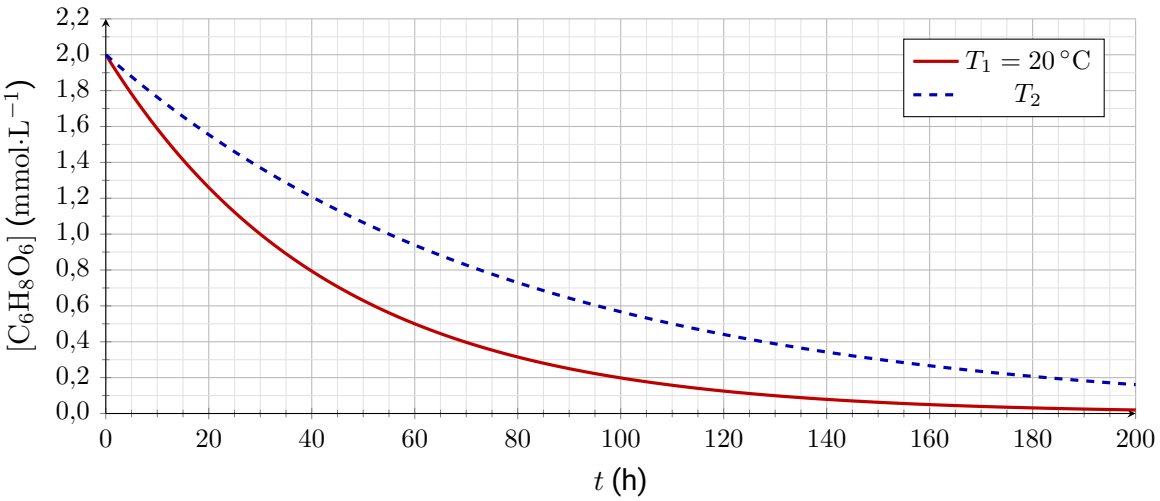


Figure 2 : teneur du jus en acide ascorbique en fonction du temps, à deux températures (à compléter sur le sujet)

3) Définir la vitesse volumique de disparition de l'acide ascorbique.

4) À température fixée, l'acide ascorbique disparaît-il de plus en plus vite ou de plus en plus lentement au fil des heures ? Répondre à l'aide de la figure 2, puis relier cette évolution à un facteur cinétique que l'on nommera.

5) La température T_2 est-elle plus haute ou plus basse que T_1 ? Justifier.

6) Par une construction graphique, évaluer à la température T_1 la vitesse volumique de disparition de l'acide ascorbique à l'instant $t_1 = 40\,\mathrm{h}$. Préciser l'unité du résultat.

7) Rappeler la définition du temps de demi-réaction $t_{1/2}$, puis le déterminer graphiquement à la température T_1. Cette valeur est-elle en accord avec la fiche d'information ?

8) Décrire deux façons d'utiliser un tableur, à partir des mesures de la concentration au cours du temps, pour tester si la disparition de la vitamine C suit une loi de vitesse d'ordre 1 par rapport à la vitamine C.

9) En réalisant d'autres expériences dans lesquelles on change un seul paramètre, proposer une troisième méthode pour réaliser ce test.

Partie C : contrôle d'un comprimé

Aucune connaissance sur les titrages n'est nécessaire pour traiter cette partie.

L'emballage d'une boîte de comprimés annonce $200\,\mathrm{mg}$ d'acide ascorbique par comprimé. Pour le vérifier, un comprimé est dissous dans $100{,}0\,\mathrm{mL}$ d'eau, puis $20{,}0\,\mathrm{mL}$ de cette solution sont titrés par une solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq) + HO^-(aq)$).

- Concentration de la solution titrante : $c_B = 1{,}20 \times 10^{-2}\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$; son incertitude-type vaut $u(c_B) = 2 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$.

- Volume versé à l'équivalence : $V_E = 18{,}4\,\text{mL}$, d'incertitude-type $u(V_E) = 0{,}2\,\text{mL}$.
- Le calcul (non demandé) donne la masse d'acide ascorbique du comprimé : $m_{\text{exp}} = 194{,}41\,\text{mg}$ (valeur non arrondie).

Données

- Incertitude-type sur la masse : $u(m_{\text{exp}}) = m_{\text{exp}}\sqrt{\left(\frac{u(V_E)}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{u(c_B)}{c_B}\right)^2}$.
- On considère que la mesure confirme une valeur annoncée $m_{\text{réf}}$ si l'écart normalisé (« z-score ») $\frac{|m_{\text{exp}} - m_{\text{réf}}|}{u(m_{\text{exp}})}$ ne dépasse pas 2.

10) Calculer l'incertitude-type $u(m_{\text{exp}})$.

11) Écrire le résultat de la mesure sous la forme $m = m_{\text{exp}} \pm u(m_{\text{exp}})$, avec un nombre adapté de chiffres significatifs.

12) Le titrage confirme-t-il la masse annoncée sur l'emballage ? Justifier par un calcul.

Partie D : un comprimé effervescent

Certains comprimés de vitamine C font des bulles quand on les plonge dans l'eau : l'acide citrique $C_6H_8O_7$ qu'ils contiennent réagit avec les ions hydrogénocarbonate HCO_3^- selon la réaction d'équation :

$$C_6H_8O_7(aq) + 3\,HCO_3^-(aq) \longrightarrow X\,(aq) + 3\,(CO_2, H_2O)\,(aq)$$

On admet que tout le dioxyde de carbone formé se dégage : $(CO_2, H_2O)\,(aq) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O\,(l)$.
On le recueille par déplacement d'eau dans une éprouvette graduée retournée, à la pression $p = 1{,}02 \times 10^5\,\text{Pa}$ et à la température $\theta = 18\,°\text{C}$: on obtient $0{,}30\,\text{L}$ de gaz pour un comprimé.

Données : constante des gaz parfaits $R = 8{,}314\,\text{J·K}^{-1}\text{·mol}^{-1}$; $T(\text{K}) = \theta(°\text{C}) + 273$; $M(C_6H_8O_7) = 192{,}1\,\text{g·mol}^{-1}$.

13) Déterminer la formule de l'ion X, en justifiant.

14) Le dioxyde de carbone est assimilé à un gaz parfait. Calculer le volume molaire des gaz dans les conditions de l'expérience et vérifier qu'il vaut environ $24\,\text{L·mol}^{-1}$.

15) L'acide citrique étant le réactif limitant, déterminer la masse d'acide citrique contenue dans un comprimé.

Exercice 2 : Un métro qui recycle son freinage

5,5 points

Un métro s'arrête très souvent. À chaque freinage, une partie de l'énergie cinétique de la rame peut être récupérée, mise en réserve, puis rendue au moment du démarrage suivant. On étudie le trajet d'une rame entre deux stations, sur une voie rectiligne et horizontale ; la figure 3 représente, de façon simplifiée, la valeur de sa vitesse au cours du temps.

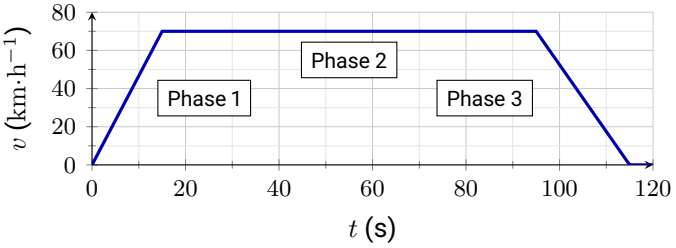
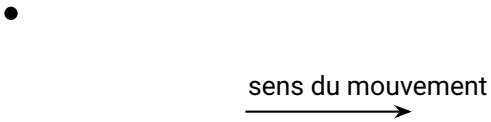


Figure 3 : valeur de la vitesse de la rame

1) Décrire le mouvement de la rame au cours de chacune des trois phases, en choisissant les termes adaptés dans la liste suivante et en justifiant chacun d'eux : **accéléré**; **circulaire**; **curviligne**; **ralenti**; **rectiligne**; **uniforme**; **uniformément**.

2) La rame est modélisée par un point matériel soumis à quatre forces : son poids $\vec{P}$, l'action normale des rails $\vec{R}$, la force motrice $\vec{F}_{\text{m}}$ et la résultante $\vec{f}$ des frottements, opposée au mouvement. Représenter ces forces sur le schéma ci-dessous, sans échelle mais de façon réaliste pendant la phase 1 *(à compléter sur le sujet)*. Justifier à l'aide d'une loi de Newton.



3) L'énergie récupérée pourrait être stockée dans une batterie ou dans un supercondensateur; on lui préfère souvent un volant d'inertie : un lourd cylindre (le rotor) qui tourne très vite autour de son axe, dans une enceinte où l'on a fait le vide, et qui stocke l'énergie sous forme d'énergie cinétique de rotation.

Parmi les quatre schémas ci-dessous, lequel représente correctement le vecteur vitesse $\vec{v}_{\text{A}}$ et le vecteur accélération $\vec{a}_{\text{A}}$ d'un point A du bord du rotor, vu de dessus, **pendant que sa rotation ralentit** ? Justifier.

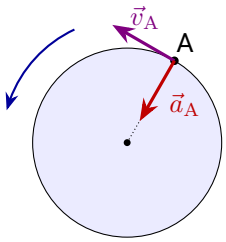


Schéma a

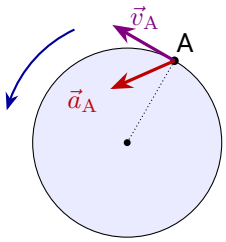


Schéma b

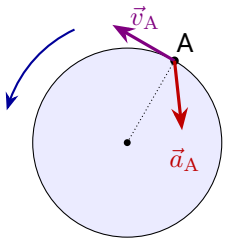


Schéma c

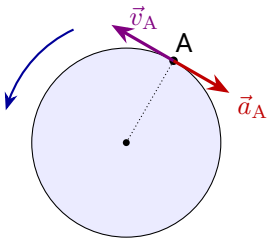


Schéma d

4) Le rotor a un rayon $r = 30\,\text{cm}$. Lorsqu'il tourne à vitesse angulaire constante, un point A de son bord a une vitesse de valeur $v_{\text{A}} = 240\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Établir l'expression, puis calculer la valeur de la composante normale a_{N} du vecteur accélération de A dans le repère de Frenet. Comparer cette valeur à l'intensité de la pesanteur ($g = 9{,}81\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$).