

EXERCICE 1 - ÉTUDE DE LA VITAMINE C CONTENUE DANS LES KIWIS (9 points)

L'acide ascorbique, couramment appelé vitamine C, intervient dans de nombreux processus métaboliques dans le corps humain. Comme l'organisme ne peut ni la synthétiser ni la stocker, les apports en vitamine C doivent se faire par l'alimentation.

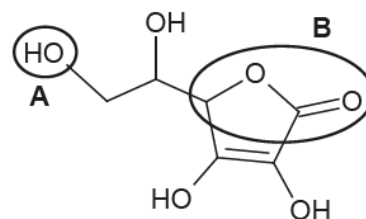
Les kiwis jaunes et les kiwis verts font partie des fruits les plus riches en acide ascorbique. L'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation recommande un apport minimum en vitamine C de 110 mg par jour pour un adulte.



L'objectif de cet exercice est d'étudier les propriétés de l'acide ascorbique et de déterminer la quantité de kiwis nécessaire aux besoins journaliers d'un adulte en vitamine C.

Données :

- formule brute de l'acide ascorbique : $C_6H_8O_6$;
- formule topologique de l'acide ascorbique (ci-contre) ;
- masse molaire de l'acide ascorbique : $M = 176 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- couple acide-base associé à l'acide ascorbique : $C_6H_8O_6(aq) / C_6H_7O_6^-(aq)$;
- concentration standard : $c^o = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$;



- données de spectroscopie infrarouge :

| Liaison | O–H | C–H | C=C | C=O |
|--------------------------------------|----------------|-------------|----------------|---------------|
| Nombre d'onde (en cm^{-1}) | 3200 – 3700 | 2850 – 3100 | 1620 – 1680 | 1650 – 1730 |
| Allure de la bande caractéristique | Forte et large | Forte | Faible et fine | Forte et fine |

1. Quelques propriétés de l'acide ascorbique

Q1. Représenter la formule semi-développée de l'acide ascorbique puis nommer les familles fonctionnelles associées aux groupes **A** et **B** entourés sur la formule topologique.

Q2. Justifier que le spectre infrarouge de la figure 1 est compatible avec la structure de l'acide ascorbique.

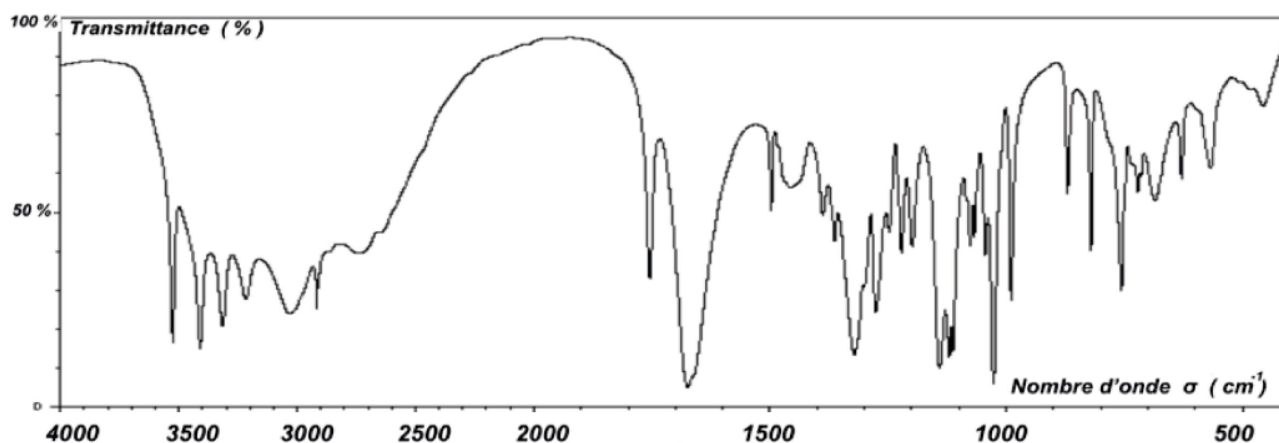
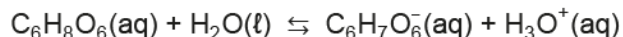


Figure 1. Spectre infrarouge de l'acide ascorbique

Pour étudier les propriétés acidobasiques de la vitamine C, on dissout 1,0 g d'acide ascorbique commercial dans une fiole jaugée de 50 mL puis on complète jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée. La mesure du pH de la solution donne $\text{pH} = 2,6$.

Q3. Déterminer la quantité de matière initiale n_0 d'acide ascorbique introduite dans la fiole jaugée.

La transformation entre l'acide ascorbique et l'eau est modélisée par la réaction d'équation :



Q4. Donner la définition d'un acide faible.

Q5. Montrer que l'acide ascorbique est un acide faible dans l'eau.

Q6. Donner l'expression de la constante d'acidité K_A du couple associé à l'acide ascorbique en fonction des concentrations $[\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6]$, $[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6^-]$, $[\text{H}_3\text{O}^+]$ à l'équilibre et de la concentration standard c° puis montrer que la valeur du $\text{p}K_A$ est proche de 4,2.

2. Acide ascorbique dans un kiwi jaune

Pour déterminer la concentration en acide ascorbique d'un kiwi jaune, on le mixe jusqu'à en obtenir du jus dont le pH est de 3,5.

Q7. Déterminer l'espèce acide-base prédominante associée à l'acide ascorbique présente dans le jus d'un kiwi jaune.

La quantité d'acide ascorbique présent dans un kiwi jaune est déterminée à l'aide d'un dosage par excès. Le principe de ce dosage est le suivant :

- on met le jus de kiwi en présence d'une quantité connue de diiode I_2 . Seul l'acide ascorbique réagit avec le diiode, introduit en excès ;
- on détermine ensuite par titrage la quantité de diiode restant ;
- on en déduit alors la quantité d'acide ascorbique dans le kiwi jaune.

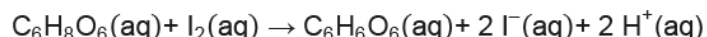
Protocole du dosage

- Étape 1 : réaction de l'acide ascorbique avec le diiode

Introduire la totalité du jus d'un kiwi jaune mixé dans une fiole jaugée de 250 mL, puis compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. On appelle S la solution ainsi obtenue.

Introduire dans un erlenmeyer un volume $V = 50,0$ mL de la solution S, ainsi qu'un volume $V_1 = 20,0$ mL d'une solution aqueuse de diiode I_2 à la concentration $C_1 = 2,9 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Cette transformation peut être modélisée par la réaction d'équation suivante :

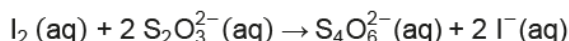


- Étape 2 : titrage du diiode restant par les ions thiosulfate $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$

Titre le contenu de l'erlenmeyer préparé lors de l'étape 1 par une solution aqueuse de thiosulfate de sodium de concentration $C_2 = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, en présence d'un indicateur coloré spécifique au diiode.

On obtient un volume à l'équivalence $V_2 = 16,5$ mL.

La transformation mise en jeu lors du titrage peut être modélisée par la réaction d'équation suivante :



Q8. En exploitant le résultat du titrage, montrer que la quantité de matière de diiode dosé lors de l'étape 2 est égale à $4,13 \times 10^{-4} \text{ mol}$.

Q9. Après avoir calculé la masse d'acide ascorbique contenue dans un kiwi jaune, déterminer combien il faudrait en manger pour satisfaire les besoins journaliers en acide ascorbique d'un adulte.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.

Le même dosage est réalisé avec un kiwi vert de même masse. On obtient un nouveau volume à l'équivalence pour le titrage du diiode restant $V'_2 = 19,7$ mL.

Q10. Expliquer sans calcul si le kiwi vert contient plus ou moins d'acide ascorbique que le kiwi jaune.

3. Oxydation de l'acide ascorbique par le bleu de méthylène

L'acide ascorbique est un réducteur, ce qui conditionne sa conservation à l'air libre. Dans cette partie, pour des raisons pratiques, on étudie ses propriétés réductrices en le faisant réagir avec du bleu de méthylène.

Au contact du bleu de méthylène, noté BM^+ , l'acide ascorbique $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ contenu dans le jus de kiwi se transforme en un nouveau composé de formule brute $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6$.

Données :

- couple oxydant / réducteur associé à l'acide ascorbique : $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6(\text{aq}) / \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6(\text{aq})$;
- couple oxydant / réducteur associé au bleu de méthylène : $\text{BM}^+(\text{aq}) / \text{BMH}(\text{aq})$.

Q11. À l'aide des demi-équations électroniques de chacun des couples mis en jeu, établir l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique ayant lieu entre l'acide ascorbique $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ et le bleu de méthylène BM^+ .

On réalise le suivi cinétique de cette réaction à deux températures différentes. Après traitement des résultats, on trace sur la figure 2 l'évolution temporelle de la concentration C_{ASC} de l'acide ascorbique, pour les deux températures choisies.

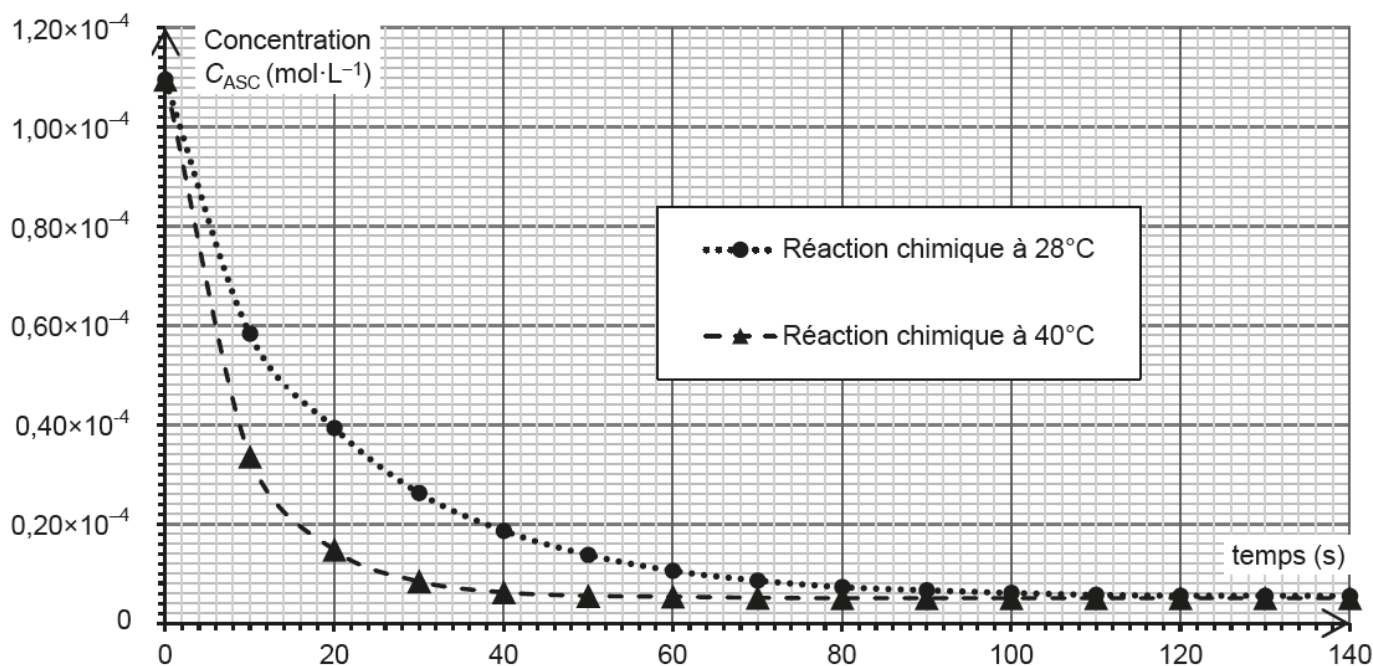


Figure 2. Évolution temporelle de la concentration C_{ASC} de l'acide ascorbique en solution

Q12. Exprimer la vitesse volumique de disparition de l'acide ascorbique en fonction de C_{ASC} puis déterminer sa valeur à l'instant initial à la température de 28 °C.

Q13. En utilisant les courbes de la figure 2, identifier en justifiant deux facteurs cinétiques de la réaction entre l'acide ascorbique et le bleu de méthylène.

Exercice A - LA PHYSIQUE DU JONGLAGE (5 points)

MOTS-CLÉS : mouvement dans un champ de pesanteur uniforme, énergie mécanique

L'art du jonglage est la plus ancienne des disciplines de cirque connue ; son origine remonte à l'Égypte ancienne. Le but de cet exercice est d'étudier le mouvement d'une balle lors d'une démonstration filmée. On étudie, dans le référentiel terrestre supposé galiléen, le mouvement d'une balle de jonglage de masse m et de centre de masse C.

Donnée :

- intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

La figure 1 est extraite d'une vidéo au cours de laquelle une personne jongle avec plusieurs balles. On suit le mouvement d'une balle.

Dans cette étude :

- on note $(x; y)$ les coordonnées de la position de C dans le repère $(O; x; y)$ et $(v_x; v_y)$ celles de sa vitesse ;
- les évolutions temporelles $y(t)$ et $v_y(t)$ sont respectivement représentées sur les figures 2a et 2b qui font apparaître alternativement des phases notées ① et ② ;
- à la date $t = 0 \text{ s}$ la balle, située à l'origine du repère, quitte pour la première fois la main du jongleur avec une vitesse initiale \vec{v}_0 ;
- lorsque la balle n'est pas en contact avec la main du jongleur, elle est en chute libre. Elle effectue alors un mouvement parabolique en passant d'une main à l'autre, la réception et le lancer se faisant toujours en $y = 0 \text{ m}$;
- la référence de l'énergie potentielle de pesanteur est choisie à l'ordonnée $y = 0 \text{ m}$.

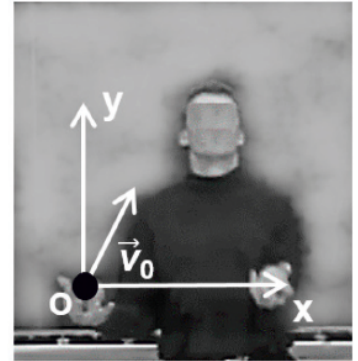


Figure 1. Photographie

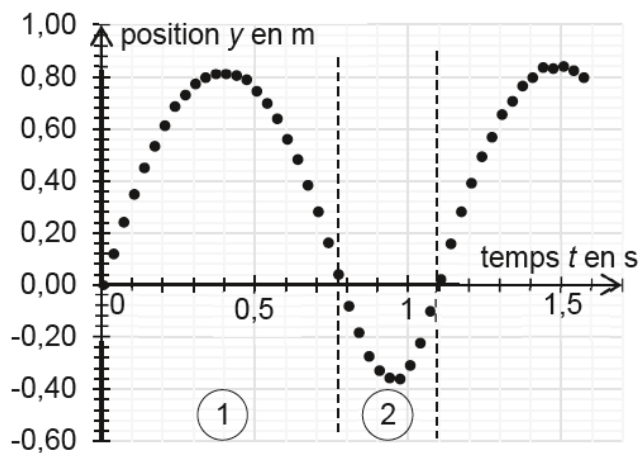


Figure 2a. Courbe représentant $y(t)$

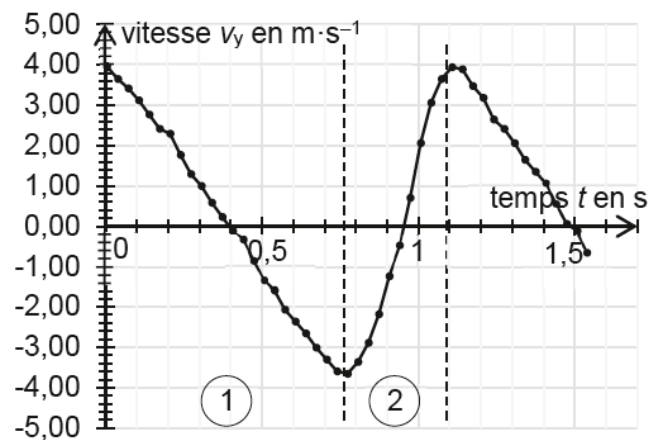


Figure 2b. Courbe représentant $v_y(t)$

Q1. Décrire qualitativement, selon l'axe Oy, le mouvement de la balle lors de la phase ① à l'aide des figures 2a et 2b.

Q2. Interpréter la figure 2a pour décrire le rôle de la main sur le mouvement de la balle lors de la phase ②.

Q3. Justifier à l'aide de la deuxième loi de Newton, dans le cadre du modèle de la chute libre, que la valeur de la composante v_x de la vitesse est constante et égale à la vitesse initiale v_{0x} lorsque la balle n'est plus en contact avec la main du jongleur.

Q4. Exprimer l'énergie mécanique initiale E_{m0} de la balle en fonction de sa masse m et des composantes v_{0x} et v_{0y} de la vitesse initiale dans le référentiel terrestre.

Dans toute la suite de l'exercice, on ne s'intéresse qu'à la phase ①.

Q5. À l'aide d'un raisonnement énergétique appliqué lors de la phase ①, établir que l'expression de l'altitude maximale H atteinte par la balle s'écrit :

$$H = \frac{v_{0y}^2}{2g}$$

Q6. Déterminer la valeur de H à partir de la relation précédente et d'une lecture graphique de v_{0y} sur la figure 2b. Comparer le résultat à celui obtenu par lecture graphique de la figure 2a.

Q7. Établir l'expression littérale de la coordonnée $v_y(t)$ du vecteur vitesse de la balle lors de la phase ①.

Q8. Évaluer l'intensité de la pesanteur g à l'aide de la figure 2b lors de la phase ①. Commenter.

Q9. Déterminer l'équation horaire $y(t)$ du mouvement du centre de la balle lors de la phase ①.

Q10. On note t_{air} la durée pendant laquelle la balle est en l'air lors de la phase ①. Établir l'expression de t_{air} en fonction de v_{0y} et de g . En déduire que l'expression du temps de vol dans l'air d'une balle s'écrit :

$$t_{\text{air}} = \sqrt{\frac{8H}{g}}$$

Q11. Calculer la valeur de t_{air} en utilisant la valeur de H obtenue par lecture graphique de la figure 2a. Commenter.

Exercice B - REFROIDISSEMENT D'UN FER À CHEVAL (5 points)

MOTS-CLÉS : premier principe de la thermodynamique, loi de Newton de la thermique

Le maréchal-ferrant est un artisan spécialisé dans le ferrage des chevaux ; il pose un fer sous chaque sabot du cheval afin de les protéger.

Un fer à cheval doit être parfaitement adapté à la morphologie du sabot du cheval pour que celui-ci ne se blesse pas. Cela nécessite un ensemble d'opérations réalisées lors de la pose du fer par le maréchal-ferrant : le fer est chauffé à une température d'environ 900 °C dans une forge pour être malléable. À l'aide d'un marteau, il est ensuite déformé pour s'ajuster à la forme du sabot.



Données :

- température du fer à la sortie de la forge : $\theta_0 = 900 \text{ °C}$;
- volume du fer à cheval : $V_{\text{Fer}} = 104 \text{ cm}^3$;
- masse volumique du fer, supposée indépendante de la température : $\rho_{\text{Fer}} = 7,87 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$;
- surface extérieure du fer à cheval : $S = 293 \text{ cm}^2$;
- température ambiante extérieure : $\theta_{\text{Ext}} = 15 \text{ °C}$;
- capacité thermique massique du fer supposée indépendante de la température :
 $c_{\text{Fer}} = 440 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;
- loi de Newton donnant l'expression du flux thermique reçu par le système {fer à cheval}, de température θ en provenance de l'air extérieur, de température θ_{Ext} :
$$\Phi = h \cdot S \cdot (\theta_{\text{Ext}} - \theta)$$

avec h le coefficient de transfert thermique surfacique et S la surface d'échange :
 - dans l'air : $h_{\text{air}} = 14 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$;
 - dans l'eau froide : $h_{\text{eau}} = 360 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

1. Chauffage du fer

Lors du chauffage du fer à cheval pour le rendre plus malléable, sa température passe de la température ambiante $\theta_{\text{Ext}} = 15 \text{ °C}$ à $\theta_0 = 900 \text{ °C}$.

Q1. Déterminer la valeur de la masse m_{Fer} du fer à cheval.

Q2. Calculer la variation d'énergie interne ΔU du fer à cheval lors de cette étape.

Q3. Interpréter au niveau microscopique la variation d'énergie interne ΔU du fer à cheval.

2. Refroidissement du fer

Lorsque le fer est à la température souhaitée de 900 °C, le maréchal-ferrant le sort de la forge et le façonne à l'aide d'un marteau pendant une minute environ. Il s'installe ensuite près du cheval et il s'écoule à nouveau environ une minute.

Le fer, encore chaud, est alors posé quelques secondes sur la face inférieure du sabot, ce qui est sans douleur pour l'animal, mais brûle la corne en laissant une trace. Cela permet au maréchal-ferrant de juger si la forme est satisfaisante. Si c'est le cas, il refroidit rapidement le fer en le trempant dans l'eau puis le fixe définitivement sur le sabot à l'aide de clous.

2.1. Refroidissement à l'air libre

On considère que les transferts thermiques entre le fer à cheval et le milieu extérieur suivent la loi de Newton. Le système étudié est le fer à cheval.

Q4. Le maréchal-ferrant martèle le fer à cheval dans l'air. Appliquer le premier principe de la thermodynamique pour le système étudié entre les instants t et $t + \Delta t$; la durée Δt étant supposée faible devant une durée caractéristique d'évolution de la température et la température variant de $\theta(t)$ à $\theta(t + \Delta t)$.

En déduire que l'équation différentielle régissant l'évolution de la température du fer à cheval peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{d\theta}{dt} + \frac{\theta}{\tau} = \frac{\theta_{\text{Ext}}}{\tau} \quad \text{avec} \quad \tau = \frac{m_{\text{Fer}} \cdot c_{\text{Fer}}}{h_{\text{air}} \cdot S}$$

Dans ces conditions $\tau = 880$ s.

L'équation différentielle précédente admet pour solution la fonction :

$$\theta(t) = (\theta_0 - \theta_{\text{Ext}}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_{\text{Ext}}$$

Q5. Vérifier que la fonction proposée $\theta(t)$ est bien solution de l'équation différentielle précédente.

Q6. Calculer la valeur de la température du fer au moment où le maréchal-ferrant le pose sur la face inférieure du sabot du cheval. Commenter.

2.2. Refroidissement dans l'eau avant la pose.

Pour accélérer le refroidissement du fer afin de le poser rapidement sur le sabot, le maréchal-ferrant plonge le fer encore chaud à la température de 600 °C dans un récipient contenant de l'eau à température ambiante de 15 °C que l'on considère comme constante.

Q7. En adaptant la solution obtenue dans le cadre du modèle précédent, estimer la valeur de la durée nécessaire pour que le fer soit refroidi à une température $\theta_{\text{finale}} = 40$ °C à laquelle l'artisan pourra poser le fer à l'aide de clous sur le sabot du cheval.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

Q8. Dans la réalité, 20 secondes suffisent pour refroidir le fer dans de l'eau à 15 °C. Commenter.