Baccalauréat général – Série S

Session 2018 (Métropole)

Épreuve de Physique-Chimie

Sujet obligatoire – proposition de corrigé

Ce corrigé est composé de 9 pages.

Exercice I – Vitamine C

1. Synthèse industrielle de l'acide ascorbique

1.1. Étape 1 de la synthèse

1.1.1. Le passage du D-glucose au D-Sorbitol correspond à une modification de groupe caractéristique : l'aldéhyde C=O est transformé en alcool C−OH.

1.1.2. Cette réaction est une réaction d'addition : la double liaison C=O a disparu.

1.2. Étape 3 de la synthèse

1.2.1. Le composé (E) a pour formule brute $C_6H_{10}O_7$.

1.2.2. On remarque que l'acide ascorbique a pour formule brute $C_6H_8O_6$. Il manque donc 2 hydrogènes et 1 oxygène pour équilibrer la réaction. Ainsi, le composé Y est de l'eau H_2O.

1.3. On désire attribuer les spectres IR A et B au D-sorbitol et à l'acide ascorbique. On va alors chercher à identifier les liaisons qui permettront d'identifier les composés mis en jeu.

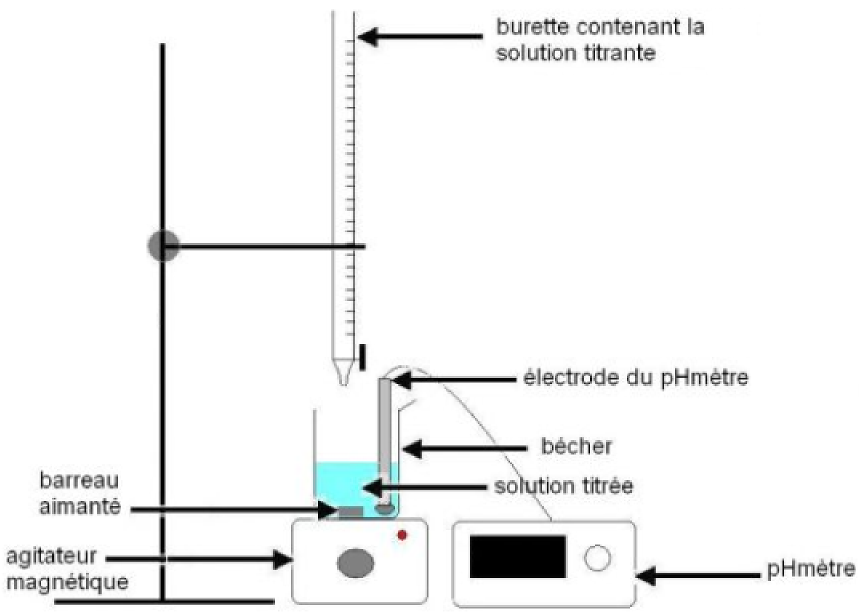
On remarque d'abord, sur le spectre A, une bande forte à $3200 - 3700\,\text{cm}^{-1}$. Ce qui est caractéristique de la liaison −OH alcool.

Ensuite, sur le spectre B, on observe des bandes fortes à $2500 - 3200$ et $1650 - 1740\,\text{cm}^{-1}$, caractéristiques respectivement des liaisons −OH acide, et C=O.

Ainsi, le spectre A correspond au D-sorbitol, tandis que le spectre B est celui de l'acide ascorbique.

2. Titrage de l'acide ascorbique contenu dans un comprimé de vitamine C500

2.1. Pour réaliser un titrage pH-métrique, on va utiliser le dispositif suivant :



2.2. La réaction support du titrage est la suivante :

$$C_6H_8O_6(aq) + HO^-(aq) \longrightarrow C_6H_7O^-(aq) + H_2O(\ell)$$

On remarque alors qu'il y a uniquement un échange de proton entre l'acide ascorbique et les ions hydroxyde. Il s'agit donc bien d'une réaction acido-basique.

2.3. On note respectivement n_a et n_b les quantités de matière en acide ascorbique et en ions hydroxyde (on notera de même les concentrations molaires associées C_a et C_b). On alors, à l'équivalence : $n_a = n_b$. C'est à dire : $C_aV_a = C_bV_{eq}$. On isole alors la concentration molaire en acide ascorbique :

$$\boxed{C_a = \frac{C_bV_{eq}}{V_a}}$$

Graphiquement, on lit $V_{eq} = 14\,\text{mL}$. On calcule alors :
$C_a = \frac{2{,}00.10^{-2} \times 14.10^{-3}}{10{,}0.10^{-3}} = 2,8.10^{-2}\,\text{mol.L}^{-1}$.
D'où, $\underline{C_a = 2,8.10^{-2}\,\text{mol.L}^{-1}}$.

2.4. On cherche la masse m de vitamine C dans un comprimé. On va alors commencer par chercher la quantité de matière de vitamine C dans un comprimé.
On sait que dans un litre de solution, on a $n = 2,8.10^{-2}$ mol de vitamine C. On aura donc, dans la solution S de volume $100,0$ mL, dans laquelle on a dissous un comprimé, $n = 0,1 \times 2,8.10^{-2} = 2,8.10^{-3}\,\text{mol}$ de vitamine C.
Or, on a :

$$\boxed{m = n \times M}$$

D'où, $m = 2,8.10^{-3} \times 176 = 0,49\,\text{g}$.
On a alors, dans un comprimé, une masse $\underline{m = 0,49\,\text{g}}$ de vitamine C.

On remarque alors que la masse trouvée expérimentalement est inférieure à la masse annoncée par le fabriquant. Cet écart, qui reste assez faible, peut être dû entre autres à l'incertitude sur la lecture graphique, ainsi qu'à l'incertitude sur les différentes mesures au cours du titrage.

Exercice II – Service et réception au volley-ball

1. Mesure de la vitesse initiale du ballon

1.1. La fréquence des ondes envoyées par le radar est de $f = 3,47.10^{10}\,\text{Hz}$. On a alors :

$$\boxed{\lambda = \frac{c}{f}}$$

D'où, $\lambda = \frac{3{,}0.10^8}{3{,}47.10^{10}} \underline{= 8,65.10^{-3}\,\text{m}}$.
D'après les données, les ondes émises par le radar appartiennent au domaine des <u>micro-ondes</u>.

1.2. Le phénomène à l'origine de la différence de fréquence entre les ondes émises et les ondes reçues par le radar est <u>l'effet Doppler</u>.

1.3. Lorsque le ballon se rapproche du radar, la fréquence des ondes reçues sera plus élevée que celle des ondes émises, du fait de compressions successives liées au déplacement de l'objet dans la même direction que l'origine des ondes.

1.4. On cherche à calculer la vitesse du ballon en fonction du décalage en fréquence. On a :

$$\mid \Delta f \mid = \frac{2v_0 \times f_{\text{émise}}}{c}$$

On isole alors v_0:

$$\boxed{v_0 = \frac{\mid \Delta f \mid \times c}{2 f_{\text{émise}}}}$$

D'où, $v_0 = \frac{3{,}0.10^8 \times 4{,}86.10^3}{2 \times 3{,}47.10^{10}} = 21,0\,\mathrm{m.s^{-1}}$.

Le ballon va donc à $\underline{v_0 = 21,0\,\mathrm{m.s^{-1}} = 75,6\,\mathrm{km.h^{-1}}}$. Cette vitesse est très proche de celle affichée sur l'écran du radar de la figure 2.

2. Validité du service On nomme $\vec{u_x}$ et $\vec{u_y}$ les vecteurs unitaires de la base cartésienne (Oxy).

2.1. On cherche à exprimer l'accélération du ballon. On applique donc le PFD :

Référentiel : terrestre galiléen

Système : ballon de masse m

Forces :

- Poids $m\vec{g} = -mg\vec{u_y}$
- On néglige les frottements

On a alors, d'après la seconde loi de Newton :

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a}$$

C'est à dire :

$$m\vec{g} = m\vec{a}$$

On simplifie par la masse :

$$\vec{a} = \vec{g}$$

On projette sur les axes (Ox, Oy) :

$$\begin{cases} a_x(t) = 0 \\ a_y(t) = -g \end{cases}$$

Les coordonnées du vecteur accélération du centre du ballon après la frappe sont donc bien $\boxed{a_x(t) = 0 \,\text{et}\, a_y(t) = -g}$.

2.2. On a obtenu, à la question précédente :

$$\begin{cases} a_x(t) = 0 \\ a_y(t) = -g \end{cases}$$

On intègre :

$$\begin{cases} v_x(t) = v_x(0) = v_0 \\ v_y(t) = -gt + v_y(0) = -gt \end{cases}$$

On intègre encore une fois :

$$\begin{cases} x(t) = v_0 t & (1) \\ y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + h & (2) \end{cases}$$

On isole alors t dans (1) :

$$t = \frac{x(t)}{v_0}$$

On trouve alors bien, en remplaçant t dans (2) :

$$\boxed{y(x) = -\frac{g}{2v_0^2}x^2 + h}$$

2.3. On cherche à savoir si le ballon va toucher le sol avant la ligne de fond. Or, lorsque le ballon touche le sol, on a $y(x) = 0$. On va donc chercher x tel que $y(x) = 0$.

$$\begin{aligned} y(x) = 0 &\Leftrightarrow -\frac{g}{2v_0}x^2 + h = 0 \\ &\Leftrightarrow x^2 = \frac{2hv_0^2}{g} \\ &\Leftrightarrow \boxed{x = \sqrt{\frac{2hv_0^2}{g}}} (\text{car x} > 0) \end{aligned}$$

On a donc $x = \sqrt{\frac{2\times3{,}5\times21{,}0^2}{9{,}81}} = 17,7\,\text{m}$.

Or, $17,7 < L = 18$. Le ballon touchera donc le sol avant la ligne de fond.

2.4. Étude énergétique

2.4.1. On a, en tout point de la trajectoire :

$$\begin{cases} E_c(t) = \frac{1}{2}mv(t)^2 \\ E_{pp}(t) = mgy(t) \\ E_m(t) = E_c(t) + E_{pp}(t) = \frac{1}{2}mv(t)^2 + mgy(t) \end{cases}$$

2.4.2. On cherche à attribuer chaque courbe à l'énergie correspondante.
Tout d'abord, on remarque que la courbe 1 correspond à une énergie qui diminue au cours du temps. Or, la seule grandeur qui diminue au cours du temps est la hauteur $y(t)$ du ballon, et donc son énergie potentielle E_{pp}.
Ensuite, la courbe 2 correspond à une énergie qui croît au cours du temps. Ici, seule la vitesse $v(t)$ du ballon augmente, et donc son énergie cinétique E_c.
Enfin, la courbe 3 est constante, ce qui correspond bien à la conservation de l'énergie mécanique en l'absence de frottements.
On attribue donc les courbes :

- Courbe 1 : Énergie potentielle de pesanteur E_{pp}
- Courbe 2 : Énergie cinétique E_c
- Courbe 3 : Énergie mécanique E_m

2.4.3. On cherche la vitesse du ballon au moment où il touche le sol. On va alors exploiter la conservation de l'énergie mécanique.
À $t = 0$:

$$E_m = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh = \frac{1}{2} \times 260.10^{-3} \times 21,0^2 + 260.10^{-3} \times 9,81 \times 3,5$$

$$E_m = 66,3\,\text{J}$$

Or, au moment où le ballon touche le sol, on a :

$$E_m = E_c = \frac{1}{2}mv_{sol}^2$$

C'est à dire :

$$\boxed{v_{sol} = \sqrt{\frac{2E_m}{m}}} \,(\text{car v} > 0)$$

On a donc $v_{sol} = \sqrt{\frac{2\times 66{,}3}{360.10^{-3}}} = 22,3\,\text{m.s}^{-1}$.

Au moment de toucher le sol, le ballon aura donc une vitesse $\underline{v_{sol} = 22,3\,\text{m.s}^{-1}}$.

2.5. En réalité, le ballon aura une vitesse plus faible que celle que l'on vient de calculer. Cet écart est majoritairement dû aux frottements de l'air que l'on a négligés dans notre étude énergétique. Or, ces derniers opposent une force dans le sens opposé à la vitesse du ballon, entraînant une non-conservation de l'énergie mécanique.

3. Réception du ballon par un joueur de l'équipe adverse

On cherche à calculer la vitesse à laquelle le joueur adverse devrait courir pour réussir à réceptionner le ballon, à 80 cm au-dessus du sol.

- On va alors tout d'abord chercher x tel que $y(x) = 80\,\text{cm} = 80.10^{-2}$ m.

$$\begin{aligned} y(x) = 80.10^{-2} &\Leftrightarrow -\frac{gx^2}{2v_0^2} + h = 80.10^{-2} \\ &\Leftrightarrow x^2 = -\frac{2v_0^2(80.10^{-2} - h)}{g} \\ &\Leftrightarrow \boxed{x = \sqrt{\frac{2v_0^2(h - 80.10^{-2})}{g}}} \,(\text{car x} > 0) \end{aligned}$$

  On a alors $x = \sqrt{\frac{2\times 21^2\times(3{,}5-80.10^{-2})}{9{,}81}} = 15,58\,\text{m}$.

  Le joueur adverse devra donc parcourir une distance de $18,0 - 15,58 = 2,42\,\text{m}$.

- On cherche maintenant le temps que le ballon mettra pour arriver jusqu'au point d'impact, c'est à dire le temps qu'aura le joueur pour parcourir la distance qui le séparera du ballon.

  On cherche alors t tel que $y(t) = 80.10^{-2}$.

$$\begin{aligned} y(t) = 80.10^{-2} &\Leftrightarrow -\frac{1}{2}gt^2 + h = 80.10^{-2} \\ &\Leftrightarrow t^2 = -\frac{2(80.10^{-2} - h)}{g} \\ &\Leftrightarrow \boxed{t = \sqrt{\frac{2(h - 80.10^{-2})}{g}}} \,(\text{car t} > 0) \end{aligned}$$

  D'où $t = \sqrt{\frac{2(3{,}5-80.10^{-2})}{9{,}81}} = 0,74\,\text{s}$.

  Ainsi, le joueur devra parcourir la distance qui le sépare du point d'impact en $0,74$ secondes.

- On peut alors calculer la vitesse à laquelle devra courir le joueur, pour parcourir $2,42$ mètres en $0,74$ secondes.

  On a :

$$\boxed{v = \frac{d}{t}}$$

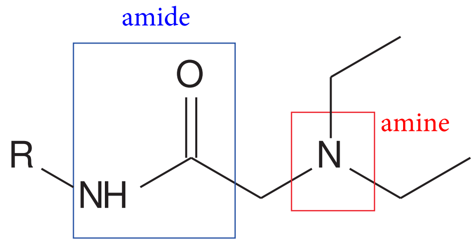
D'où, $v = \frac{2{,}42}{0{,}74} = 3,27\,\text{m.s}^{-1}$.

Le joueur devra donc aller à la vitesse $\underline{v = 3,27\,\text{m.s}^{-1} = 11,8\,\text{km.h}^{-1}}$ pour pouvoir réceptionner la balle. Cette vitesse semble tout à fait réaliste, surtout sur des temps aussi courts.

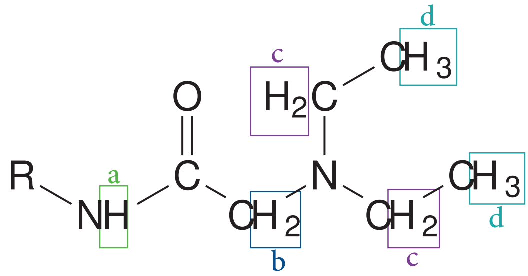
Exercice III – Crème anesthésiante

1. Étude de la molécule de lidocaïne

1.1. On repère les groupes caractéristiques de la molécule de lidocaïne :



1.2. On cherche à attribuer les signaux RMN ^{1}H aux hydrogènes de la molécule. On représente alors sa formule semi-développée, et on repère les protons équivalents :



On peut alors attribuer chaque massif aux hydrogènes correspondants :

- On remarque que les hydrogènes *c* ont trois voisins. Ils sortiront donc sous forme d'un quadruplet $(3 + 1 = 4)$. Ils correspondent donc au massif à <u>2,7 ppm</u>.
- Enfin, les hydrogènes *d* ont, quant à eux, deux voisins. Et comme $2 + 1 = 3$, ils sortiront sous forme de triplet. Ils correspondront donc au massif situé à <u>1,1 ppm</u>.

2. Synthèse de la lidocaïne

2.1. Mise en œuvre du protocole expérimental

2.1.1. Dans l'étape 1, on chauffe à reflux. Cela permettra de diminuer le temps de réaction, en jouant sur l'activation des groupes entrant en jeu dans le mécanisme réactionnel. De plus, le reflux permet de ne pas perdre les réactifs et produits par évaporation.

2.1.2. On cherche à déterminer le réactif limitant, à partir de l'équation de la synthèse. Ainsi, pour réagir avec 1 mole de A, il faut 2 moles de diéthylamine. Alors pour réagir avec $n = 3,0.10^{-2}$ mol de A, il faudrait $n' = 2 \times n = 6,0.10^{-2}$ mol de diéthylamine. Or, $6,0.10^{-2} < 1,5.10^{-1}$. A est donc le réactif limitant.

2.1.3. On cherche à calculer le rendement de la synthèse. On a :

$$\eta = \frac{n_{exp}}{n_{th}} = \frac{n_L}{n_{th}}$$

On va alors exprimer le rendement en fonction de la masse de lidocaïne obtenue, de sa masse molaire, et de la quantité de matière initiale de A (car A réactif limitant, et 1 mole de A donne 1 mole de lidocaïne). On a donc :

$$\eta = \frac{n_L}{n_{th}} = \frac{\frac{m}{M_L}}{n_A}$$
$$= \frac{m}{M_L n_A}$$

D'où,

$$\boxed{\eta = \frac{m}{M_L n_A}}$$

On a alors $\eta = \frac{5{,}6}{234{,}3 \times 3{,}0.10^{-2}} = 0,796$.
Le rendement est donc de $\underline{\eta = 80\%} > 70\%$. Le rendement calculé est alors légèrement supérieur au rendement théorique, ce qui paraît cohérent.

2.2. Mécanisme réactionnel de la synthèse

2.2.1. Chaque flèche courbe figurant sur la première étape du mécanisme correspond au déplacement d'un doublet d'électrons.

2.2.2. Si on s'intéresse à la flèche (1), le site donneur est l'atome d'azote N, possédant un doublet non liant, et le site accepteur est le carbone en α du chlore, qui sera d'ailleurs un très bon accepteur du fait du caractère polarisé de la liaison C$-$Cl.

3. Étude d'une crème anesthésiante

3.1. On cherche à exprimer la quantité de matière de lidocaïne par centimètre cube de crème.
On a, pour la crème,

$$\rho_c = \frac{m_c}{V}$$

Or, on sait que la crème étudiée contient 2,5% en masse de crème. C'est à dire que $m_L = 0,025 m_C$. On en déduit alors :

$$\boxed{\rho_L = 0,025\rho_C}$$

D'où, $\rho_L = 0,025 \times 1 = 0,025\,\text{g.cm}^{-3}$.
On cherche alors à exprimer la concentration molaire en lidocaïne. On sait que :

$$C_L = \frac{n_L}{V}$$

On exprime alors la quantité de matière en fonction de m_L et M_L :

$$C_L = \frac{m_L}{M_L V}$$

On en déduit alors :

$$\boxed{C_L = \frac{\rho_L}{M_L}}$$

D'où, $C_L = \frac{0{,}025}{234{,}3} = 1,1.10^{-4}\,\text{mol.cm}^{-3}$.
Dans la crème étudiée, il y a donc bien $\underline{n_L = 1,1.10^{-4}\,\text{mol}}$ de lidocaïne par centimètre cube.

3.2. Pour une surface de $1\,\mathrm{cm}^2$ et une épaisseur de $0,1\,\mathrm{mm}$, on a $V = 1 \times 0,01 = 0,01\,\mathrm{cm}^{-3}$.

On calcule donc la quantité de matière de lidocaïne dans ce volume là :

$$\boxed{n_L = C_L \times V}$$

D'où, $n_L = 1,1.10^{-4} \times 0,01 = 1,1.10^{-6}\,\mathrm{mol}$.

Or, $\underline{1,1.10^{-6} > 10^{-7}}$. Cette épaisseur de crème suffit donc à anesthésier une zone de peau de $1\,\mathrm{cm}^2$.

*   *
*