Baccalauréat général – Série S

Session 2019 (Métropole)

Épreuve de Physique-Chimie

Sujet obligatoire – proposition de corrigé

Ce corrigé est composé de 7 pages.

Exercice I – De la noix de muscade à la cosmétique

1. Extraction de la trimyristine à partir de la noix de muscade

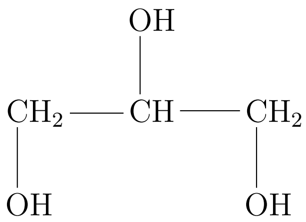
1.1. Deux arguments permettent de justifier le choix de solvant : premièrement, la trimyristine est plus soluble dans le dichlorométhane que dans l'éthanol. Ensuite, la température d'ébullition de l'éthanol est bien plus élevée que celle du dichlorométhane. Il faudra donc moins chauffer que si on avait pris l'éthanol pour éventuellement faire évaporer le solvant.

1.2. Dans l'étape 3, on observe apparition de solide lorsqu'on passe dans un bain de glace. Ceci s'explique par le fait que le produit de la réaction soit soluble uniquement à chaud dans la propanone. En passant à froid, on aura donc cristallisation du produit.

1.3. On a obtenu $m_{\text{trimyristine}} = 4,75\,\text{g}$ d'un échantillon de masse $m = 20\,\text{g}$ de noix de muscade. Or, $\frac{4,75}{20} = 24\%$. On a donc, dans la poudre de noix de muscade, 24% de trimyristine. Ce qui correspond bien aux données ($20 < 24 < 25$).

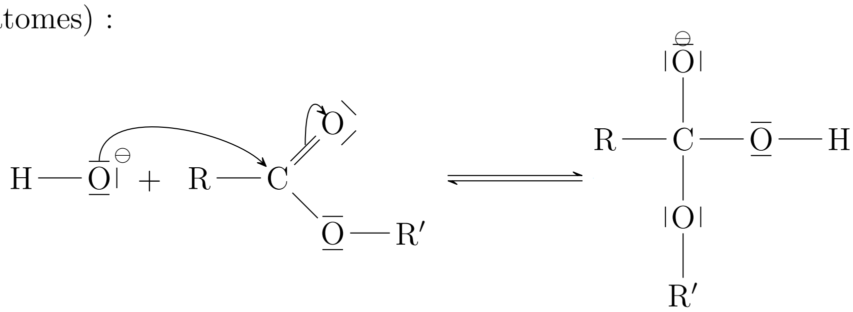
2. Obtention de l'acide myristique

2.1. On donne la formule semi-développée du glycérol :



2.2. On sait (données) que l'acide myristique (acide conjugué de l'ion $\text{R}{-}\text{COO}^-$) a pour formule brute $C_{14}H_{28}O_2$. Or, on a déjà, dans le groupe COOH, 2 oxygènes, 1 carbone et 1 hydrogène. On en déduit alors que $\underline{\text{R} = C_{13}H_{27}}$.

2.3. On donne le mécanisme de cette première étape, qui est une <u>addition</u> (on ajoute un groupe d'atomes) :



2.4. On se place à pH $= 1 <$ pKa. La forme prédominante est donc la forme acide.

2.5. On a obtenu $m = 3,36\,\text{g}$ de produit, et on suppose que ce dernier est pur.

2.5.1. On a

$$\text{trimyristine} + 3\,\text{HO}^- \longrightarrow 3\,\text{R}{-}\text{COO}^- + C_3H_8O_3$$

Aussi, si on introduit n_{tr} de trimyristine et que l'on suppose la soude en excès, on obtiendra (en effectuant un bilan de matière et trouvant $x_{max} = n_{tr}$) que $n(\text{R}{-}\text{COO}^-) = 3n_{tr}$. De plus, il est évident que $n(\text{R}{-}\text{COO}^-) = n(\text{R}{-}\text{COOH})$. Alors $n(ceR - COOH) = 3n_{tr} = 3\frac{m_{tr}}{M(tr)}$. D'où,

$$\boxed{n(\text{R}{-}\text{COOH}) = 3\frac{m_{tr}}{M(tr)}} = 3 \times \frac{4,75}{723} = 1,97.10^{-2}\,\text{mol}$$

On pourrait donc obtenir, à l'issue de la synthèse, une quantité de matière maximale $\underline{n(\text{R}{-}\text{COOH}) = 1,97.10^{-2}\,\text{mol}}$ d'acide myristique.

2.5.2. En réalité, on a obtenu $n_{prod} = \frac{3,36}{228} = 1,47.10^{-2}$ mol d'acide. On a alors

$$\boxed{\eta = \frac{n_{prod}}{n(\text{R}-\text{COOH})}} = \frac{1,47}{1,97} \underline{= 75\%}$$

Le rendement de la synthèse est donc de 75%, ce qui est correct pour une synthèse organique (NB : en réalité le rendement aurait été plus faible, car le produit est ici supposé pur alors qu'en réalité une purification de ce dernier aurait été nécessaire, ayant un impact sur le rendement).

3. Détermination par titrage de la pureté de l'acide myristique obtenu

Pour simplifier l'écriture, on écrira MrH l'acide myristique et Mr^- sa base conjuguée.

3.1. On titre l'acide myristique par une solution de soude. La réaction support du titrage est alors la suivante :

$$\text{MrH} + \text{HO}^- = \text{Mr}^- + \text{H}_2\text{O}$$

3.2. Pour préparer S_1, on a dissous $m_{\text{éch}} = 1,14\,\text{g}$ d'acide dans $V_0 = 100\,\text{mL}$ de solvant. On a alors :

$$\boxed{C_m = \frac{m_{\text{éch}}}{V_0}} = \frac{1,14}{100.10^{-3}} = 11,4\,\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$$

La concentration massique d'acide myristique dans la solution titrée vaut donc $\underline{C_m = 11,4\,\text{g}\cdot\text{L}^{-1}}$.

3.3. On cherche à déterminer la masse d'acide myristique réellement obtenue. Pour cela, on va se servir des résultats du titrage.

À l'équivalence, on a :

$$C_1V_1 = C_2V_E \implies C_1 = \frac{C_2V_E}{V_1} \tag{1}$$

Or, on sait également que

$$C_1 = \frac{n_{\text{exp}}}{V_0} \tag{2}$$

et on a aussi la relation

$$n_{\text{exp}} = \frac{m_{\text{exp}}}{M(\text{MrH})} \tag{3}$$

Alors, en injectant (3) dans (2) puis dans (1) et en isolant m_{exp}, on obtient finalement :

$$\boxed{m_{\text{exp}} = \frac{C_2V_EM(\text{MrH})V_0}{V_1}} = \frac{5.10^{-2} \times 9,6.10^{-3} \times 228 \times 100.10^{-3}}{10.10^{-3}} = 1,1\,\text{g}$$

La masse réellement obtenue vaut donc $\underline{m_{\text{exp}} = 1,1\,\text{g}}$.

3.4. En utilisant la relation qui est donnée, on trouve $U(m_{\text{exp}}) = 0,008\,\text{g}$. On aura alors $\underline{m_{\text{exp}} = 1,10 \pm 0,008\,\text{g}}$, ce qui est cohérent, même si les masses (obtenue et donnée), incertitudes comprises, n'ont pas d'intersection. L'acide ainsi obtenu n'est donc pas pur.

3.5. On a alors

$$d = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{éch}}} = \frac{1,1}{1,14} \underline{= 96\%}$$

Exercice II – Décollage de la fusée Ariane

Dans tout l'exercice, on repère la fusée par son centre de masse G, et on place le vecteur unitaire $\overrightarrow{u_y}$ vertical ascendant. On notera $\mathscr{D}_m(v)$ (resp. $\mathscr{D}_m(b)$) le débit massique d'éjection de gaz du moteur Vulcain (resp. d'un booster).

1. Estimation de la poussée

1.1. On cherche la masse m_g de gaz éjectée durant l'étude. Cette dernière correspond à la masse de gaz éjectée par le moteur vulcain et chacun des deux boosters. Alors :

$$\mathscr{D}_m(tot) = \mathscr{D}_m(v) + 2\mathscr{D}_m(b)$$

Or, $m_g = \mathscr{D}_m \Delta t$. D'où,

$$\boxed{m_g = (\mathscr{D}_m(v) + 2\mathscr{D}_m(b))\Delta t} = (270 + 2 \times 1,8.10^3) \times 2,40 = 9288\,\text{kg}$$

La masse de gaz éjectée lors du décollage est donc de $\underline{m_g = 9,29\,\text{t}}$, ce qui correspond à environ 1,2% de la masse de la fusée au décollage.

1.2. Pour estimer la valeur de y_5, on repère sur la chronophotographie les positions y_4 et y_7 : on sait qu'entre ces deux valeurs, il y a exactement 16 mètres. On peut alors subdiviser l'échelle en ordonnée en 16 graduations d'un mètre, ce qui permet de repérer la position y_5. On trouve alors $\underline{y_5 \approx 41,5\,\text{m}}$.

1.3. On nous donne le graphe $v_y = f(t)$.

1.3.1. On a, par définition de la vitesse moyenne sur un temps $\Delta t_{1\to 2}$,

$$\boxed{v_2 = \frac{y_2 - y_1}{\Delta t_{1\to 2}}} = \frac{31,5 - 30,1}{0,4} = 3,5\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

. D'où, on a $\underline{v_2 = 3,5\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$. Ce qui est cohérent avec le graphe de la figure 4 (qui indique une valeur un peu inférieure à 4).

1.3.2. On cherche la valeur de l'accélération a_y. Pour cela, on dispose de deux méthodes :

— par le calcul : on calcule, pour i de 2 à 7, le quotient $\frac{y_i - y_{i-1}}{\Delta t_{i-1\to i}}$ et on trouve bien une valeur constante égale à $\underline{a_y = 7\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}}$;

— par lecture graphique : on trace la droite $v_y = f(t)$ et on calcule son coefficient directeur (qui est bien égal à $\underline{a_y = 7\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}}$).

1.3.3. On remarque que la fusée décolle. Alors nécessairement, le vecteur accélération est selon $+\overrightarrow{u_y}$ (donc vertical ascendant).

1.4. Physiquement, le poids est nécessairement orienté vers le bas. Donc on peut exclure immédiatement le schéma 2. De plus, la fusée décolle effectivement, ce qui signifie que la poussée compense le poids, et lui est même supérieure en norme. Alors finalement, le schéma compatible avec le décollage est le <u>schéma 1</u>.

1.5. On cherche à calculer la norme F de la force de poussée. Pour cela on va appliquer le principe fondamental de la dynamique à la fusée supposée ponctuelle de masse M, dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Ce qui nous donne :

$$M\vec{a} = M\vec{g} + \vec{F}$$

En projetant selon $\overrightarrow{u_y}$, on obtient :

$$Ma_y = -Mg + F \implies \boxed{F = M(a+g)} = 765.10^3 \times (7 + 9,81) = 1,29.10^7\,\text{N}$$

. La force de poussée vaut donc $\underline{F = 1,29.10^7\,\text{N}}$.

2. Estimation de la poussée totale développée par la fusée Ariane 5 au début du décollage

On veut estimer la puissance moyenne fournie à la fusée par l'ensemble moteur + boosters.

On a :

$$\mathcal{P} = \vec{F} \cdot \vec{v} = Fv$$

Or, $v = 7t + v_0 = 7t$ (on suppose $v_0 = 0$). D'où,

$$\boxed{\mathcal{P} = 7Ft}$$

On fait alors la moyenne $\frac{\mathcal{P}(t=0,2)+\mathcal{P}(t=2,2)}{2} = 1,08.10^8\,\text{W}$. La puissance moyenne fournie à la fusée par les réacteurs est donc $\underline{\mathcal{P}_m = 1,08.10^8\,\text{W} = 105\,\text{MW}}$, ce qui est cohérent avec les données (10 MW soit 10% du total pour le moteur Vulcain et 90% pour les boosters, on retombe bien sur le même ordre de grandeur).

Autre méthode : on sait que $\mathcal{P}_m = \frac{W}{\Delta t}$ avec W le travail de la force F. Alors il suffit de calculer le travail de F sur le chemin suivi (c'est-à-dire rectiligne de longueur $\ell = y_6 - y_1$), donc $W = F\ell$. On retombe alors sur le même résultat.

Exercice III – On vous donne le « La »

1. Caractéristique du son produit par le diapason

1.1. On remarque que le son obtenu n'est pas une « vraie » sinusoïde : on observe des oscillations plus petites en plus de l'oscillation principale. Le son n'est donc pas pur.

1.2. On cherche à calculer la fréquence du son enregistré. On va alors lire graphiquement sa période T.

Sur l'enregistrement, on compte $4T \approx 10\,\text{ms}$. D'où, $T = \frac{9}{4} = 2,3\,\text{ms}$. Alors :

$$\boxed{f = \frac{1}{T}} = 440\,\text{Hz}$$

Le diapason produit alors bien un son de fréquence $\underline{f = 440\,\text{Hz}}$, c'est-à-dire un La3.

2. Numérisation d'un signal analogique

2.1. On cherche à identifier le spectre correspondant au son enregistré. On en cherche alors un qui présente un fondamental aux alentours de 440 Hz. Aussi, le spectre c ne peut pas correspondre.

De plus, le spectre b ne montre qu'un seul pic. Or, le son étudié n'est pas pur donc ne peut pas présenter un unique pic. Le spectre correspondant au signal enregistré est donc le <u>spectre a</u> : on a bien le fondamental à 436 Hz, et un harmonique à 2620 Hz.

2.2. Un signal analogique est continu au cours du temps. Au contraire, un signal numérique, comme succession de valeurs discrètes (bits), ne l'est pas (il est échantillonné).

2.3. On cherche à savoir si le fichier obtenu remplira la condition sur la taille du fichier. On sait que la durée de l'enregistrement est $\Delta t = 2,0\,\text{s}$, durée que l'on découpe en morceaux de $\frac{1}{f_e} = 2,3.10^{-5}\,\text{s}$. On aura donc $n = \frac{2,0}{2,3.10^{-5}} = 8,8.10^4$ morceaux.

Or, chaque morceau (donc chaque valeur relevée) est codé sur $N = 32\,\text{bits}$. On aura donc un fichier dont la taille totale vaudra $t = nN = 8,8.10^4 \times 32 = 2,82.10^6\,\text{bits}$. De plus, un octet est composé de 8 bits. On aura donc $t = \frac{2,82.10^6}{8} = 352.10^3\,\text{o}$.

Le fichier ainsi obtenu aura donc une taille $\underline{t = 352\,\text{ko} < 500\,\text{ko}}$. La condition sur la taille du fichier est donc respectée.

2.4. Augmenter la valeur de f_e permettra de gagner en précision dans l'acquisition en augmentant le nombre de mesures dans un même intervalle de temps, mais ce gain en qualité aura pour conséquence une augmentation de la taille du fichier.

3. Émission du son produit par un diapason à 440 Hz

3.1. On cherche une relation entre I_{B1} et I_{B2}. Or, on connaît des valeurs pour L_{B1} et L_{B2}, et on sait que pour un son d'intensité I, on a

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \implies \boxed{I = 10^{L/10} I_0}$$

On aura donc $I_{B1} = 10^{L_{B1}/10} I_0$ et $I_{B2} = 10^{L_{B2}/10} I_0$, et donc

$$\boxed{\frac{I_{B1}}{I_{B2}} = \frac{10^{L_{B1}/10}}{10^{L_{B2}/10}}} = \frac{10^{59/10}}{10^{42/10}} \approx 50$$

On a alors bien, approximativement, $\boxed{I_{B2} = \frac{I_{B1}}{50}}$.

3.2. On remarque que le niveau d'intensité sonore maximale est bien atteint en $\theta = 0$, et vaut $L_{\max} = L_{B1} = 59\,\text{dB}$ (atténuation nulle). De plus, en $\theta = 90$, au point B_2, on a une atténuation qui vaut $L_{B2} - L_{B1} = 42 - 59 = -17$. Cette valeur est cohérente avec la figure 4b, donc les deux mesures sont bien cohérentes avec la courbe qui est donnée.

* *
*