Baccalauréat général – Série S

Session 2017 (Métropole)

Épreuve de Physique-Chimie

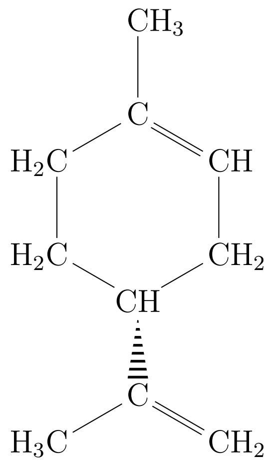
Sujet obligatoire – proposition de corrigé

Ce corrigé est composé de 8 pages.

Exercice I – Synthèse de la Carvone à partir du Limonène

1. Extraction du limonène

1.1. On représente la formule semi-développée du R-limonène, à partir de sa formule topologique :



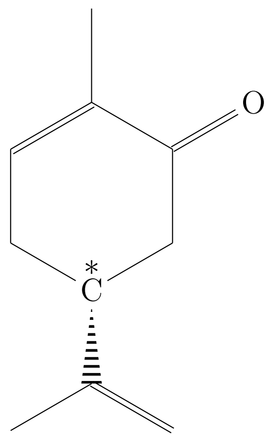
1.2. Sur le spectre IR de l'huile essentielle recueillie, on remarque une bande large à $2700 - 3200\,\text{cm}^{-1}$, caractéristique de la liaison C−H. De plus, on remarque la bande fine entre 1640 et $1660\,\text{cm}^{-1}$, caractéristique de la liaison C=C.

Mais surtout, on remarque l'absence des bandes caractéristiques des liaisons C=O et O−H.

Le spectre IR est donc compatible avec la structure du R-limonène.

2. Synthèse de la R-carvone

2.1. En observant la formule topologique de la R-carvone, on remarque un carbone asymétrique :



La molécule est donc chirale.

2.2. Lors de la première étape de la synthèse, on remarque qu'on ajoute des atomes à la molécule, en brisant une double liaison. Il s'agit donc d'une <u>addition</u>.

2.3. On cherche à savoir où se situe la phase organique dans l'ampoule à décanter. La phase organique étant composée majoritairement de R-carvone, on va supposer que sa masse volumique est celle de la R-carvone. On a donc $\rho_{\text{carvone}} = 0,96\,\text{g.mL}^{-1}$.

On remarque donc que $\rho_{carvone} < \rho_{eau}$. La phase organique se trouve donc <u>au-dessus</u>, il s'agit donc de la <u>phase 1</u>.

3. Des oranges à la carvone

NB : Pour alléger l'écriture, on associe l'indice C à la carvone, et l'indice L au limonène. Par exemple, on notera $M(\text{limonène}) = M_L$.

3.1. On cherche la quantité de matière de limonène nécessaire à la synthèse de 13 g de carvone.

On sait que le rendement de la synthèse est de 30%. Avec 1 mole de limonène, on synthétise donc 0,3 mole de carvone.

On a alors :

$$n_{C,f} = 0,3 n_{L,i}$$
$$\frac{m_{C,f}}{M_C} = 0,3 n_{L,i}$$

D'où,

$$\boxed{n_{L,i} = \frac{m_{C,f}}{0,3 M_C}}$$

On trouve donc $n_{L,i} = \frac{13}{0{,}3\times 150{,}0} = \frac{13}{45{,}0} = 0,29\,\text{mol}$.

La quantité de matière de R-limonène nécessaire pour la synthèse de 13 g de R-carvone est donc bien $\underline{n_{L,i} = 0,29\,\text{mol}}$.

3.2. On cherche désormais le nombre d'oranges nécessaires pour synthétiser 13 g de R-carvone, c'est à dire le nombre d'oranges nécessaires pour extraire 0,29 mol de limonène.

On sait tout d'abord que pour 6 oranges, on recueille 3,0 mL d'huile essentielle, supposée comme étant constituée uniquement de R-limonène. On en déduit alors que 1 orange permet d'extraire $\frac{3{,}0}{6} = 0,5\,\text{mL}$ d'huile essentielle.

Cherchons d'abord la quantité de matière de limonène contenue dans 0,5 mL d'huile essentielle :

$$\rho_L = \frac{m_L}{V} = \frac{n_L M_L}{V}$$

On a alors :

$$\boxed{n_L = \frac{\rho V}{M_L}}$$

D'où, $n_L = \frac{0{,}84\times 0{,}5}{136{,}0} = \frac{0{,}42}{136{,}0} = 3,1.10^{-3}\,\text{mol}$.

La distillation de l'écorce d'une orange donne donc $\underline{n_L = 3,1.10^{-3}\,\text{mol}}$ de R-limonène.

Or, on veut obtenir $n_{L,i} = 0,29\,\text{mol}$ de limonène. On a alors :

$$N = \frac{n_{L,i}}{n_L} = \frac{0,29}{3,1.10^{-3}} = 93,6$$

Il faut donc l'écorce de <u>94 oranges</u> pour obtenir 13 g de R-carvone.

Exercice II – Son et lumière

1. Tout en couleur

1.1. Les deux processus d'émission de la lumière mentionnés dans le texte sont "l'incandescence" et "l'émission atomique". Le spectre d'émission de la première est un spectre continu, car émis par des particules incandescentes. Le second, l'émission atomique, émettra un spectre de raies, correspondant aux atomes excités.

1.2. On veut déterminer la couleur perçue lors de l'émission du photon 3. On va donc chercher la longueur d'onde émise.

On écrit la relation de Planck-Einstein pour le photon 3 :

$$E_3 = h\nu_3 \tag{1}$$

avec E l'énergie en Joules, h la constante de Planck, et ν_3 la fréquence du photon en Hertz.

Or, on a également :

$$\nu_3 = \frac{c}{\lambda_3} \tag{2}$$

avec c la célérité de la lumière dans le vide, en m.s^{-1}, et λ_3 la longueur d'onde en mètres.

On en déduit alors, en remplaçant (2) dans (1) :

$$\boxed{\lambda_3 = \frac{hc}{E_3}}$$

D'où, $\lambda_3 = \frac{6{,}63.10^{-34}\times 3{,}0.10^{8}}{1{,}825\times 1{,}60.10^{-19}} = 6,81.10^{-7}\,\text{m} \underline{= 681\,\text{nm}}$. (*NB : il faut bien penser à convertir l'énergie, qui est donnée en eV, en Joules*)

La lumière émise par le photon 3 est donc de couleur rouge (entre 625 et 780 nm).

1.3. On remarque que les trois photons émis ont des énergies proches. On peut donc en déduire qu'ils auront des longueurs d'onde proches, et donc une couleur dans le rouge. Ce qui explique la couleur du "Crackling R100".

2. Étude des trajectoires des pièces pyrotechniques

2.1. On écrit les coordonnées du vecteur $\overrightarrow{v_0}$ sur la base cartésienne :

$$\boxed{\overrightarrow{v_0}\begin{pmatrix} v_0\cos\alpha \\ v_0\sin\alpha \end{pmatrix}}$$

2.2. On applique le PFD au point $M(m)$:

Référentiel : terrestre galiléen

Système : le projectile, matérialisé par le point M, de masse m.

Forces :

- Le poids $\overrightarrow{P} = m\vec{g}$
- On néglige les frottements

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

$$\Sigma\vec{F} = m\overrightarrow{a_M}$$

$$m\vec{g} = m\overrightarrow{a_M}$$

On simplifie par m :

$$\boxed{\overrightarrow{a_M} = \vec{g}}$$

Le vecteur accélération est donc bien égal au vecteur champ de pesanteur dès que le projectile est lancé.

2.3. On a :

$$\overrightarrow{a_M} = \vec{g}$$

On décompose sur la base (Ox, Oy) :

$$\begin{cases} a_{M,x}(t) = 0 \\ a_{M,y}(t) = -g \end{cases}$$

On intègre :

$$\begin{cases} v_{M,x}(t) = v_0 \cos\alpha \\ v_{M,y}(t) = -gt + v_0 \sin\alpha \end{cases}$$

On intègre une dernière fois (en sachant que les constantes sont nulles en t=0) :

$$\begin{cases} x_M(t) = v_0 \cos(\alpha) t \\ y_M(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin(\alpha) t \end{cases}$$

On passe à l'application numérique, en faisant bien attention à convertir la vitesse en mètres par seconde :

$$\begin{cases} x_M(t) = 69,4 \cos(80) t \\ y_M(t) = -\frac{1}{2} \times 9,8t^2 + 69,4 \sin(80) t \end{cases}$$

D'où,

$$\boxed{\begin{cases} x_M(t) = 12,1t \\ y_M(t) = -4,91t^2 + 68,4t \end{cases}}$$

2.4. On veut calculer la hauteur que devrait atteindre le projectile à $t = 3,2\,\text{s}$. On remplace donc t par la valeur qui nous intéresse dans l'expression de $y_M(t)$, et on trouve alors : $\underline{y_M(t = 3,2\,\text{s}) = 168,6\,\text{m}}$.

2.5. On a trouvé une hauteur maximale de 168,6 mètres, alors que le constructeur annonce une hauteur maximale de 120 mètres. Cet écart peut être dû à des phénomènes tels que les frottements de l'air, qu'on a négligés dans notre étude, ou au fait que l'explosion se produise pendant la montée. En effet, l'explosion va entraîner une modification de la trajectoire, en exerçant des forces sur le système étudié (ici la fusée).

3. Le "marron d'air"

3.1. On cherche à exprimer la hauteur maximale h atteinte par la pièce pyrotechnique. On prend l'origine des temps à l'instant où la fusée est lancée.

Sachant que l'énergie mécanique se conserve, on peut écrire :

$$Em_i = Em_f$$

C'est à dire :

$$Ec_i + Ep_i = Ec_f + Ep_f$$

Or, $Ep_i = mgz_0 = 0$ et $Ec_f = \frac{1}{2}mv_f^2 = 0$ (car au sommet de sa trajectoire, la fusée a une vitesse nulle).

On a donc :

$$\frac{1}{2}mv_i^2 = mgh$$

On simplifie par m :

$$\frac{1}{2}v_i^2 = gh$$

D'où,

$$\boxed{h = \frac{v_i^2}{2g}}$$

3.2. On remplace alors chaque terme par sa valeur (en faisant attention à bien avoir une vitesse en m.s^{-1}), et on trouve $\underline{h = 157,6\,\mathrm{m}}$.

(*NB : on trouve ici une valeur très inférieure à la valeur réelle, car on a négligé tout phénomène de frottement*)

3.3. On cherche la distance d entre l'artificier et le point d'éclatement. On applique alors le théorème de Pythagore dans le triangle ATE, rectangle en T :

$$AT^2 + TE^2 = AE^2$$

On remplace par les notations de l'énoncé :

$$\ell^2 + H^2 = d^2$$

On a alors :

$$\boxed{d = \sqrt{\ell^2 + H^2}}$$

D'où, $d = \sqrt{95^2 + 70^2} \underline{= 118\,\mathrm{m}}$.

On calcule alors l'intensité sonore à cette distance :

$$L_2 = L_1 + 20\log(\frac{d_1}{d})$$

On a alors $L_2 = 120 + 20\log(\frac{15}{118}) = 120 - 17,9 \underline{= 102,1\,\mathrm{dB}}$.

Le niveau d'intensité sonore à cette distance est alors "difficilement supportable", l'artificier a donc tout intérêt à porter un dispositif de protection auditive.

Exercice III – Éliminer le tartre

1. Détermination de la concentration en acide chlorhydrique d'un détartrant commercial

1.1. On cherche la concentration en acide chlorhydrique dans le détartrant commercial. On va donc commencer par chercher la masse m_a d'acide dans 1L de détartrant :

$$m_a = \frac{9}{100} m_d \,\text{(produit en croix)}$$

On a donc $m_a = \frac{9}{100} \times 1,04.10^3 = 93,6\,\text{g}$ d'acide chlorhydrique dans 1 litre de détartrant.

On exprime alors la quantité de matière n_a d'acide :

$$n_a = \frac{m_a}{M(\text{HCl})}$$

D'où, $n_a = \frac{93,6}{36,5} = 2,6\,\text{mol.L}^{-1}$.

On a donc bien la concentration molaire $\underline{C_a = 2,6\,\text{mol.L}^{-1}}$ d'acide chlorhydrique dans la solution commerciale.

1.2. La réaction support du titrage est $H_3O^+(aq) + HO^-(aq) \longrightarrow 2\,H_2O(\ell)$.

Les couples acide/base mis en jeu sont donc les deux couples de l'eau : H_3O^+/H_2O et H_2O/HO^-.

1.3. À l'équivalence, on a :

$$n_{HO^-} = n_{H_3O^+}$$

C'est à dire :

$$C_a V_i = C_b V_E$$

On a alors :

$$\boxed{V_E = \frac{C_a V_i}{C_b}}$$

D'où, $V_E = \frac{2,6 \times 10.10^{-3}}{1,0.10^{-1}} = 0,26\,\text{L} = 260\,\text{mL}$.

On a donc bien $\underline{V_E = 260\,\text{mL} > 25\,\text{mL}}$. La burette de 25 mL ne convient donc pas.

1.4. Les élèves ont résolu le problème soulevé à la question précédente en <u>diluant 20 fois</u> la solution de détartrant commercial.

1.5. Sur la courbe de titrage, on peut lire $V_E = 12\,\text{mL}$. On cherche alors la concentration C_S en acide dans la solution diluée :

$$C_S V_S = C_b V_E$$

Ce qui donne :

$$\boxed{C_S = \frac{C_b V_E}{V_S}}$$

D'où, $C_S = \frac{1,0.10^{-1} \times 12.10^{-3}}{10.10^{-3}} = 0,12\,\text{mol.L}^{-1}$. La solution commerciale ayant été diluée 20 fois, on en déduit la concentration C dans la solution de détartrant :

$$C = 20 C_S$$

D'où, $C = 20 \times 0,12 \underline{= 2,4\,\text{mol.L}^{-1}}$, ce qui est compatible avec la valeur indiquée sur l'étiquette du détartrant.

2. Utilisation domestique du détartrant commercial

2.1. On cherche à estimer le volume total de tartre sur la surface extérieure du tambour. On commence donc par exprimer l'aire de la surface extérieure :

$$\mathcal{A} = 2\pi R^2 + 2\pi Rh$$

On note e l'épaisseur de la couche de tartre. On exprime alors son volume :

$$V = e\mathcal{A}$$

C'est à dire :

$$\boxed{V = e(2\pi R^2 + 2\pi Rh)}$$

D'où, $V = 10.10^{-6} \times (2\pi \times 0,4^2 + 2\pi \times 0,4 \times 0,4) = 2,01.10^{-5}\,\text{m}^3$.
Le volume de tartre est donc de $\underline{V = 2,01.10^{-5}\,\text{m}^3}$.

2.2. On cherche si le flacon de 750 mL est suffisant pour détartrer totalement le tambour. On commence par exprimer la quantité de matière en tartre :

$$\boxed{n(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaCO}_3)} = \frac{\rho V}{M(\text{CaCO}_3)}}$$

On a donc $\underline{n(\text{CaCO}_3) = 0,53\,\text{mol}}$.
Cherchons maintenant la quantité de matière en H_3O^+ dans le flacon :

$$\boxed{n(\text{H}_3\text{O}^+) = CV_{\text{flacon}}}$$

On trouve alors $n(\text{H}_3\text{O}^+) = 0,75 \times 2,4 \underline{= 1,8\,\text{mol}}$.
Enfin, si on se réfère à l'équation bilan de la réaction, on remarque que 2 moles d'acide font disparaître 1 mole de tartre. On en déduit donc que 1,8 mole de H_3O^+ peut réagir avec $\frac{1,8}{2} = 0,9$ mole de tartre.
Or, $0,9 > 0,53 = n(\text{CaCO}_3)$. <u>Le flacon permet donc de détartrer totalement le tambour</u>.

* *
*