

Baccalauréat général – Série S

Session septembre 2020 (Métropole)

Épreuve de Physique-Chimie

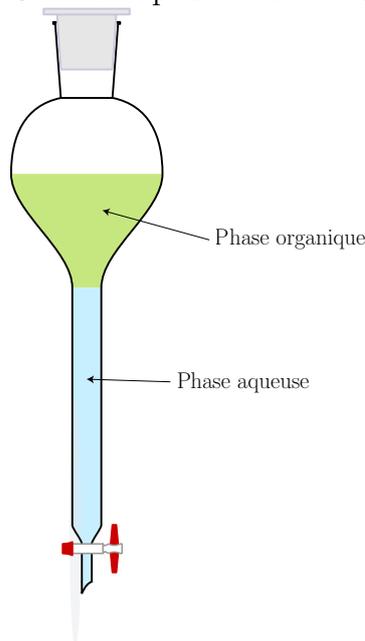
Sujet obligatoire – proposition de corrigé

Ce corrigé est composé de 8 pages.

Exercice I — De la citronnelle des indes à l'époxycitral

1. Obtention du citral à partir des feuilles de citronnelle des Indes

1.1. On a l'ampoule à décanter contenant deux phases, une aqueuse et l'autre organique :



La phase aqueuse, plus dense car contenant essentiellement de l'eau de densité 1, se trouvera donc en-dessous, et la phase organique contenant du citral et du myrcène de densités 0,89 et 0,79 sera au-dessus.

1.2. On a les éléments du montage :

- 1 : support élévateur ;
- 2 : chauffe-ballon ;
- 3 : thermomètre ;
- 4 : réfrigérant à eau (ou réfrigérant de Liebig).

1.3. L'élément 1, à savoir le support élévateur, permet de placer le chauffe-ballon à la bonne hauteur, ainsi que de le retirer pour arrêter instantanément le chauffage si besoin, par exemple en cas d'emballement de la réaction.

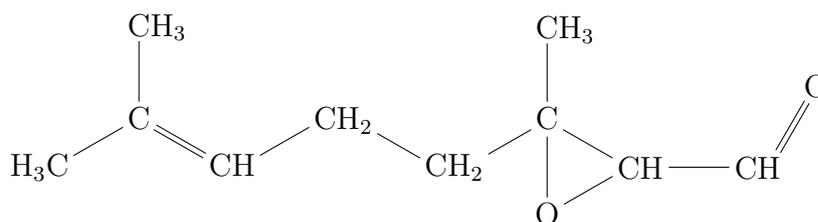
L'élément 4, quant à lui, permet de condenser les vapeurs obtenues lors du chauffage pour les récupérer à l'état liquide dans l'erlenmeyer.

1.4. Le ballon contient la phase organique, *i.e.* un mélange de citral et de myrcène. Aussi, l'espèce récupérée en premier sera celle dont la température d'ébullition sera la plus faible. D'où, l'espèce chimique recueillie en premier dans l'erlenmeyer sera le myrcène, de température d'ébullition $T_{eb,myr} = 167^\circ\text{C}$.

2. Synthèse de l'époxycitral

2.1. L'époxydation du citral se fait par réaction avec HO_2^- . Or, cette espèce n'existe qu'en milieu basique ($\text{pK}_a = 11,7$). D'où l'importance de se placer en milieu très basique.

2.2. On donne la formule semi-développée de l'époxycitral :

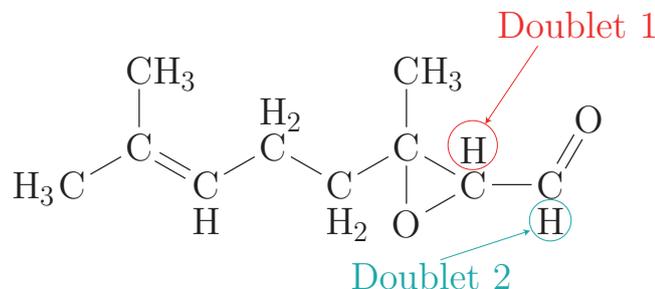


2.3. On peut alors attribuer les doublets observés en RMN ^1H .

Tout d'abord, on a le doublet n° 1, intégrant pour un hydrogène, à $\delta \approx 3,5$ ppm, correspondant, d'après les tables, à un H sur un époxyde. Information permettant d'identifier le proton correspondant sur la figure ci-dessous, ayant bien un unique voisin.

Ensuite, le doublet n° 2 intègre également pour un seul hydrogène, et est très déblindé, donc correspond nécessairement à un H aldéhydique, *i.e.* celui porté par le carbone de l'aldéhyde.

On peut donc attribuer les protons aux doublets :



2.4. On cherche à calculer le rendement de la synthèse. On va alors commencer par chercher la quantité de matière d'époxy citral théoriquement obtenue par la réaction étudiée.

On commence par un tableau d'avancement :

mol	Citral	+	HO_2^-	\longrightarrow	Époxy citral	+	HO^-
état initial	n_c		excès		0		/
état final	0		excès		$n_{e,th} = n_c$		/

D'où, on a $n_{e,th} = n_c$ quantité de matière d'époxyde obtenue théoriquement par la réaction. Or, on a

$$n_c = \frac{m_c}{M_c}$$

et

$$m_c = V_c \rho_c$$

Alors

$$n_c = \frac{V_c \rho_c}{M_c}$$

Et, de plus, on a obtenu expérimentalement une quantité

$$n_{e,exp} = \frac{m_e}{M_e}$$

Or, le rendement de la réaction est donné par

$$\eta = \frac{n_{e,exp}}{n_{e,th}}$$

Donc finalement, on a

$$\eta = \frac{m_e M_c}{V_c \rho_c M_e}$$

D'où, $\eta = \frac{0,95 \times 152}{1 \times 0,89 \times 168} = \underline{97\%}$. Ce qui est un très bon rendement au vu de la réaction.

Exercice II — Mesurer la profondeur de l'eau

1. Sondage à main

Dans toute la suite, pour clarifier les calculs, on place l'origine spatiale au niveau du sol et le vecteur unitaire \vec{u}_z vertical ascendant.

1.1. Étude du système en dehors de l'eau

1.1.1. Sur le lest ne s'exercent que deux forces : son poids $m\vec{g} = -mg\vec{u}_z$ et la tension de la corde $\vec{T} = +T\vec{u}_z$.

1.1.2. On peut alors, sachant que la masse est à l'équilibre et connaissant les forces extérieures agissant sur le système, utiliser la deuxième loi de Newton (*i.e.* la loi de quantité de mouvement, également appelée principe fondamental de la dynamique) au lest de masse m dans le référentiel du laboratoire supposé galiléen. On obtient alors :

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

Alors en projetant sur l'axe vertical, on a :

$$ma_z = -mg + T$$

Or, le système étant à l'équilibre, on a $a_z = 0$. Et finalement, il vient :

$$\boxed{T = mg}$$

D'où, $T = 100 \times 10^{-3} \times 9,81 = 981 \text{ mN} \approx 985 \text{ mN}$. La valeur calculée est donc cohérente avec la valeur de T mesurée expérimentalement.

1.1.3. Le moment où le lest touche la surface de l'eau est celui où la tension de la corde commence à varier. Et par lecture de la *figure 2*, on trouve $L \approx 53,3 \text{ cm}$ longueur de la corde telle que la masse touche l'eau.

1.2. Étude du système dans l'eau

1.2.1. Lorsque le lest est entièrement dans l'eau, il est également soumis à la poussée d'Archimède \vec{F}_A .

1.2.2. • On cherche d'abord la valeur de la poussée d'Archimède. On va alors considérer le lest entièrement immergé, dans une situation d'équilibre, étudiée dans le référentiel du laboratoire supposé galiléen. On a alors la loi de quantité de mouvement :

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{T} + \vec{F}_A$$

Or, la poussée d'Archimède étant verticale et dirigée vers le haut, on a $\vec{F}_A = +F_A\vec{u}_z$. D'où, en projetant sur l'axe vertical, en prenant $a_z = 0$ (équilibre), on obtient :

$$0 = -mg + T + F_A$$

Et finalement,

$$\boxed{F_A = mg - T}$$

• Désormais, on cherche le volume V_l du lest. Or, on sait que $F_A = \rho_{\text{eau}} \times V_l \times g$. D'où, en injectant dans l'expression précédente, on a

$$\rho_{\text{eau}} V_l g = mg - T \implies \boxed{V_l = \frac{mg - T}{\rho_{\text{eau}} g} = \frac{m}{\rho_{\text{eau}}} - \frac{T}{\rho_{\text{eau}} g}}$$

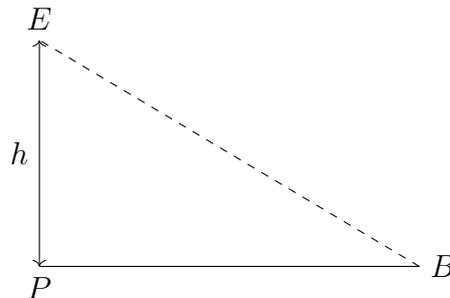
D'où, en prenant un point de la *figure 2* tel que le lest soit entièrement immergé, on a $V_l = \frac{100 \times 10^{-3}}{10^3} - \frac{856 \times 10^{-3}}{10^3 \times 9,81} = 1,27 \times 10^{-5} \text{ m}^3$.

• Finalement, si le lest était uniquement fait de plomb, on aurait $m_l = \rho_{\text{plomb}} \times V_l = 1,14 \times 10^4 \times 1,27 \times 10^{-5} = 0,1448 \text{ kg}$! Donc le lest n'est pas fait que de plomb.

- 1.2.3.** La situation représentée par le point P est celle où la tension de la corde s'annule, donc le moment où le lest touche le fond du récipient d'eau.
- 1.2.4.** On peut alors calculer la profondeur h de l'eau comme étant la différence de longueur de corde entre le moment où le lest touche l'eau et celui où il touche le fond.
Alors finalement, on a $h = 64,2 - 53,3 = \underline{10,9 \text{ cm}}$.

2. Sondage avec un sonar

- 2.1.** On cherche à associer chaque simulation à un point. Tout d'abord, on sait que le point B est à égale distance des récepteurs R_1 et R_2 . Donc l'écho en provenance de ce point sera perçu au même moment par les deux récepteurs, ce qui correspond à la simulation 1.
Ensuite, le point A est plus proche de R_1 que de R_2 , ce qui implique que R_1 recevra l'écho provenant de A avant R_2 , ce qui correspond à la simulation 2.
Enfin, le point C , étant plus proche de R_2 que de R_1 , correspond bien à la simulation 3.
- 2.2.** On cherche la profondeur h du fond marin. Pour cela, en prenant comme indiqué $EB = R_1B = R_2B$, on se place dans le triangle EPB rectangle en P :



Or, on sait qu'une durée $\Delta t_S = 27,7 \text{ ms}$ sépare l'émission et la réception du signal sonore, correspondant à une distance égale à $2EB$. D'où, on a dans un premier temps

$$2EB = v\Delta t_S$$

Or, le triangle EPH étant rectangle, on a

$$\sin \alpha = \frac{h}{EB} = \frac{2h}{v\Delta t_S}$$

Alors finalement, il vient :

$$\boxed{h = (v\Delta t_S \sin \alpha) \div 2}$$

D'où, $h = (1,53 \times 10^3 \times 27,7 \times 10^{-3} \times 0,5) \div 2 = \underline{10,6 \text{ m}}$.

3. Sondage avec LIDAR

3.1. Étude des ondes électromagnétiques employées

- 3.1.1.** Les ondes utilisées ont une longueur d'onde de l'ordre du micromètre, et correspondent donc à un rayonnement infrarouge ($\lambda > 800 \text{ nm}$).
- 3.1.2.** Par lecture graphique, on remarque que $\lambda = 1 \mu\text{m}$ correspond à un minimum local d'absorption par cm d'eau. Ce qui permettra donc à l'onde d'atteindre le fond et de s'y réfléchir.

- 3.1.3.** Cependant, il serait judicieux de considérer une autre longueur d'onde, pour se rapprocher du minimum global visible sur la *figure 5*. On cherche alors s'il vaut mieux doubler ou tripler la fréquence.

On a

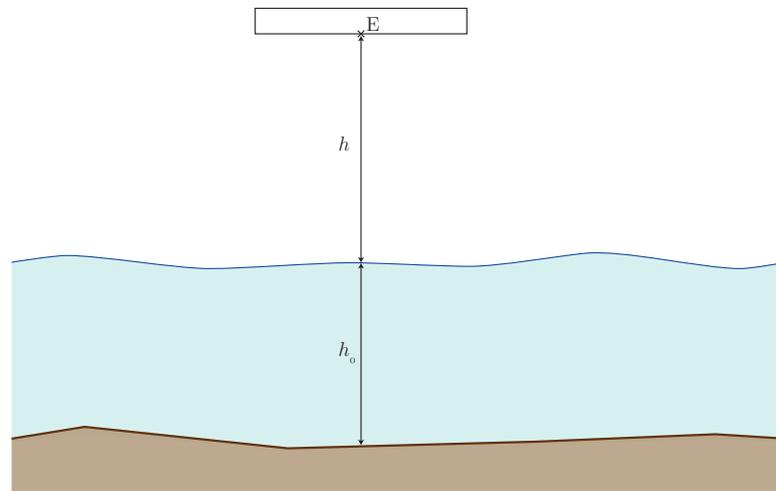
$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

en notant ν la fréquence de l'onde.

Alors si on double la fréquence, on aura $\lambda' = \frac{c}{2\nu} = 0,5\lambda = 0,5 \times 1,064 = 0,53 \mu\text{m}$, tandis que si on triple la fréquence, on aura $\lambda'' = \frac{\lambda}{3} = 0,35 \mu\text{m}$.

Or, le minimum global de l'absorption par cm d'eau est atteint pour $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$. Il est donc plus intéressant de doubler la fréquence du rayonnement LASER pour pouvoir détecter le fond marin.

- 3.2.** On cherche à calculer la hauteur de vol h de l'avion et la profondeur h_0 du fond marin. On commence par schématiser la situation :



- On sait alors qu'une fois émis, le premier signal reçu sera celui ayant parcouru la plus petite distance, à savoir celui ayant été réfléchi à la surface de l'eau et ne s'étant propagé que dans l'air assimilé à du vide.

Cette onde aura mis Δt_1 à faire l'aller-retour, donc $\frac{\Delta t_1}{2}$ à faire l'aller simple. D'où, on a une altitude

$$\boxed{h = \frac{c\Delta t_1}{2}} = \frac{3,0 \times 10^8 \times 2,67 \times 10^{-6}}{2} = \underline{400 \text{ m}}$$

- Il ne reste ensuite plus qu'à déterminer la profondeur h_0 du fond marin à l'endroit de la mesure. Pour cela, on va devoir décomposer le trajet de l'onde électromagnétique. En effet, en Δt_2 , elle parcourt deux fois la distance avion \rightarrow fond marin, sachant qu'elle a une vitesse de propagation différente dans l'eau.

Cependant, on sait que pour parcourir deux fois la distance surface \rightarrow avion, il faut Δt_1 . D'où, il faut un temps $\Delta t_2 - \Delta t_1$ à l'onde pour faire l'aller retour de la surface au fond marin à la vitesse c_e .

Alors finalement,

$$\boxed{h_0 = \frac{c_e(\Delta t_2 - \Delta t_1)}{2}} = \frac{2,26 \times 10^8 \times (3,04 - 2,67) \times 10^{-6}}{2} = \underline{41.81 \text{ m}}$$

Exercice III — Dosage de l'ammoniac dans un produit ménager

1. Extraction de l'ammoniac du liquide d'entretien des canalisations

- 1.1. On apprend, dans les données, que la solubilité de l'ammoniac dans l'eau diminue lorsque la température augmente. Aussi, on chauffe le ballon lors de l'extraction afin de diminuer la solubilité de l'ammoniac qui va donc repasser en phase gazeuse et pourra être récupéré dans la solution S .
- 1.2. On sait que l'ammoniac en solution aqueuse est basique. Autrement dit, si l'ammoniac a été correctement extrait de la solution de liquide d'entretien, elle sera acide donc de couleur jaune après ajout du bleu de thymol.

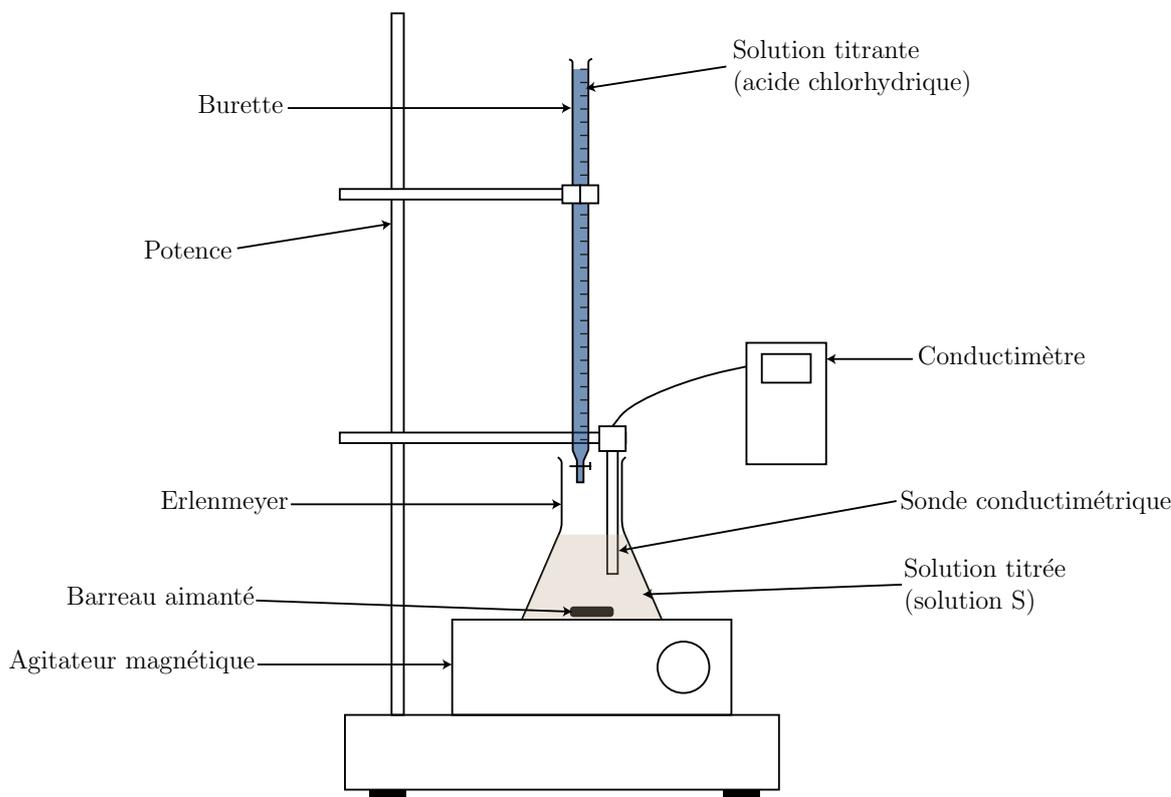
2. Détermination de la masse volumique du liquide d'entretien de canalisation

On cherche la masse volumique du liquide d'entretien. Or, on connaît la masse de 200,0 mL de solution. D'où, on a :

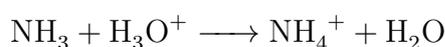
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{220,4}{200,0 \times 10^{-3}} = 1,10 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

3. Titrage de l'ammoniac

3.1. Pour faire ce titrage conductimétrique, on utilise le montage suivant :



3.2. La réaction support du titrage est la suivante :



Il s'agit bien d'une réaction acide-base, car elle ne consiste qu'en un échange de proton entre NH_3 et H_3O^+ .

3.3. Avant l'équivalence, on ajoute des cations ayant une forte conductivité molaire ionique, qui sont instantanément consommés pour former des cations ayant une conductivité molaire moindre. La conductivité augmente alors modérément.

Mais une fois l'équivalence passée, l'intégralité des ions oxonium ne seront pas consommés, donc on observera une hausse significative de la conductivité.

L'équivalence se situe donc à l'intersection des deux droites.

3.4. On cherche le pourcentage massique d'ammoniac dans la bouteille de liquide d'entretien. On va alors commencer par calculer la concentration molaire d'ammoniac dans la solution, en supposant que la quantité d'ammoniac n'étant pas passé dans la solution S est négligeable.

• À l'équivalence, on peut écrire la relation :

$$\frac{n_{\text{NH}_3}}{1} = \frac{n_{\text{H}_3\text{O}^+}}{1}$$

Ou, avec les concentrations,

$$C_S V_S = C V_{eq}$$

Ou encore,

$$C_S = \frac{C V_{eq}}{V_S} = \frac{1,0 \times 10^{-1} \times 19}{100} = 1,9 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Or, pour passer dans la solution S , on a dilué l'équivalent de 10 fois la solution initiale de liquide d'entretien. D'où, $C_0 = 10C_S = 1,9 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

• On va alors passer en concentration massique. Comme on a $m = nM$, il vient :

$$C_m = C_S M(\text{NH}_3) = 1,9 \times 10^{-1} \times 17 = 3,23 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

• Connaissant la masse volumique du liquide d'entretien et la concentration massique en ammoniac, on peut finalement calculer le pourcentage massique en ammoniac. On a

$$\%_m(\text{NH}_3) = \frac{C_m}{\rho}$$

$$\text{D'où, } \%_m(\text{NH}_3) = \frac{3,23}{1,10 \times 10^3} = \underline{0,29\%}.$$

* *
*

Ce corrigé, de peu d'utilité car précédant la réforme du programme de terminale, a été écrit symboliquement et est dédié à la mémoire du bac S (1995-2020).