

Exercice 1 : L'ANESTHÉSIE DES PRÉMICES À NOS JOURS

Partie A : Synthèse de l'éther diéthylique

I. Choix d'un protocole

Conditions opératoires	Température (°C)	Nom du produit obtenu	Catégorie de la réaction en chimie organique
1	300	Ethylène	Elimination
2	140	Ether diéthylique	Substitution

A température élevée, on favorise l'éthylène (C₂H₄) ce qui correspond aux conditions opératoires 1.

II. Analyse du protocole retenu

- Le distillat possède une température d'ébullition de 35°C. Il est donc volatile, c'est pourquoi il faut mettre l'erlenmeyer de récupération du distillat dans un bain de glace afin de maintenir une basse température.
- D'après la table des données, l'éthylène possède une température d'ébullition de -104°C. A température ambiante, il est gazeux (même après réfrigération). Il ne peut donc pas se trouver dans le distillat.
- On a introduit un volume V = 25 mL d'éthanol de masse volumique $\rho_{\text{éthanol}} = 0,81 \text{ g.mL}^{-1}$ et de masse molaire $M_{\text{éthanol}} = 46 \text{ g.mol}^{-1}$. On a donc :

$$M = \frac{m}{n} \text{ or } m = \rho \times V \text{ donc } n = \frac{m}{M} = \frac{\rho \times V}{M} \Rightarrow n_{\text{éthanol}} = \frac{\rho_{\text{éthanol}} \times V}{M_{\text{éthanol}}}$$

$$n_{\text{éthanol}} = \frac{0,81 \times 25}{46} = 0,44 \text{ mol}$$

On a donc obtenu 0,44 mol d'éthanol.

Si la réaction est totale, on utilise 2 moles d'éthanol pour former 1 mole d'éther diéthylique. La quantité de matière en éther diéthylique est donc la moitié de celle en éthanol.

$$M = \frac{m}{n} \Rightarrow m = n \times M \Rightarrow m_{\text{éther}} = \frac{n_{\text{éthanol}}}{2} \times M_{\text{éther}} \Rightarrow m_{\text{éther}} = \frac{0,44}{2} \times 74 \Rightarrow m_{\text{éther}} = 16 \text{ g}.$$

On attend donc une masse de 16,3 g d'éther diéthylique.

- L'ajout d'hydroxyde de sodium (base) permet la neutralisation du caractère acide.
- Dans une ampoule à décanter, les liquides non miscibles se répartissent de haut en bas par ordre de masse volumique croissante. L'éther diéthylique possède une masse volumique plus faible que celle de l'eau, on le retrouve donc dans la phase supérieure de l'ampoule à décanter.

III. Techniques d'analyse des espèces chimiques intervenant dans la réaction

- En spectroscopie IR, les alcools sont caractérisés par une bande d'absorption large et intense aux environs de 3200 cm⁻¹ contrairement aux éthers. En spectroscopie RMN du proton, la molécule d'éther diéthylique est symétrique. Elle présente donc seulement deux massifs de protons équivalents.

Nom des produits
0,5 pts

Catégorie
0,5pts

Analyse des documents et réponse cohérente
0,5 pts

Idem
0,25 pts

Démarche
0,5 pts

Résultat numérique
0,25 pts

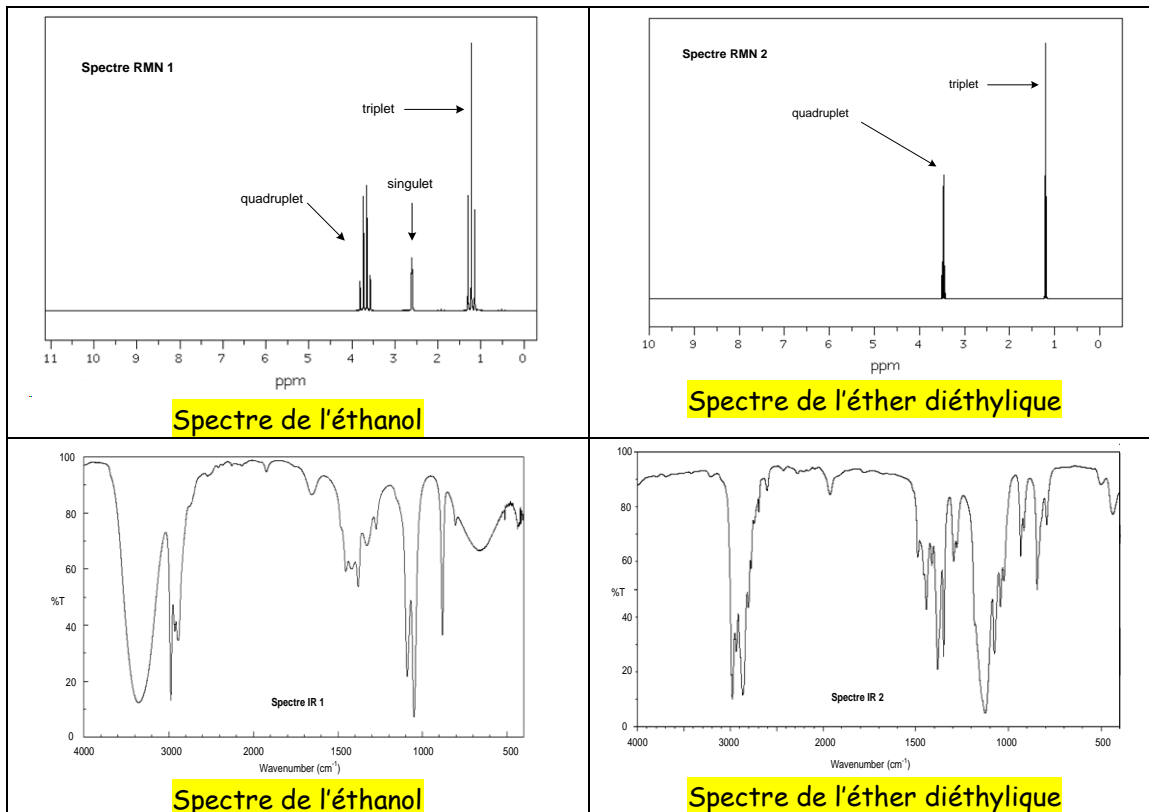
Choix d'une méthode permettant de répondre à la question
0,25 pts
Résultat numérique
0,25 pts

0,25 pts

Explication claire
0,5 pts

Méthode permettant de justifier les choix
0,5 pts

4,25 pts



Spectre de l'éthanol

Spectre de l'éther diéthylique

Spectre de l'éthanol

Spectre de l'éther diéthylique

2. La multiplicité (n+1) d'un signal est due au nombre d'atomes n d'hydrogène voisins.

Dans la molécule d'éthanol $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$:

Le groupe hydroxyle produit un singulet.

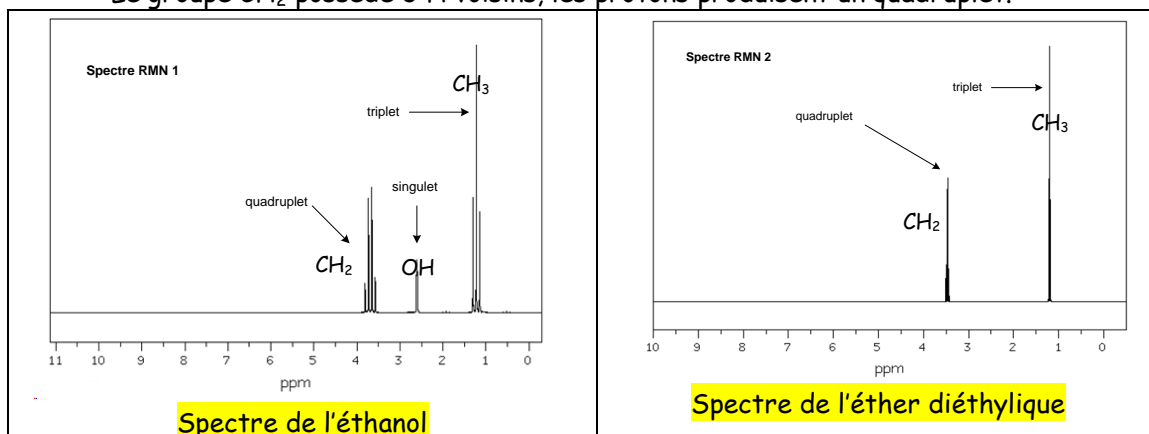
Le groupe CH_3 possède 2 H voisins, les protons produiront un triplet.

Le groupe CH_2 possède 3 H voisins, les protons produisent un quadruplet.

Dans la molécule d'éther diéthylique $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$.

Le groupe CH_3 possède 2 H voisins, les protons produiront un triplet.

Le groupe CH_2 possède 3 H voisins, les protons produisent un quadruplet.



Spectre de l'éthanol

Spectre de l'éther diéthylique

0,25 pts par
bonne réponse
(max 1 pt)

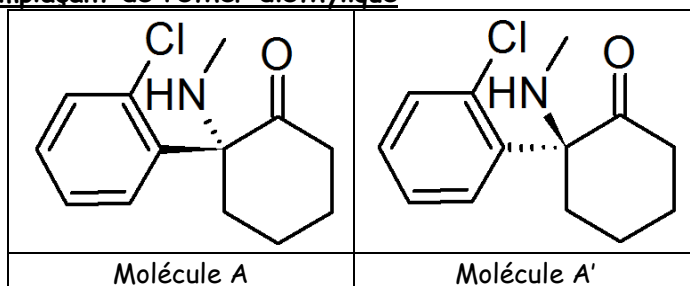
Définition de la
multiplicité d'un
signal
0,25 pts

Méthode
d'attribution
utilisée
0,5 pts

Attribution des
multiplets
0,25 pts par
bonne réponse
(max 1,25 pts)

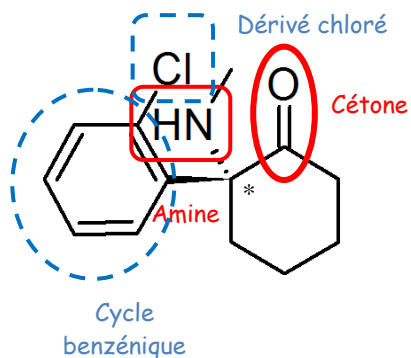
3 pts

Partie B : Un remplaçant de l'éther diéthylique



I. Etude des molécules de la kétamine

1. et 2.



3. Les molécules A et A' possèdent un carbone asymétrique C*. Ce carbone porte les mêmes « substituants » mais dans des configurations spatiales différentes (échange des deux directions des liaisons dans la représentation de Cram). A et A' sont des énantiomères.

II. Utilisation médicale de la kétamine

La demi-vie d'élimination correspond à la durée au bout de laquelle la moitié de la dose de kétamine administrée a été éliminée par le corps humain.

Molécule
correctement
représentée
0,25 pts

Mise en évidence
de la céto
0,25 pts
Mise en évidence
de l'amine
0,25 pts

Justification
correcte de
l'énantiomérisme
0,5 pts

Définition
correcte
0,5 pts

1,75 pts

Exercice 2 : LE MUON.

I. Le muon

1. La courbure des trajectoires dépend de la charge de la particule. On remarque que le proton et la particule α (positif) sont dirigés vers le bas alors que l'électron (négatif) est dirigé vers le haut. Le muon est dirigé vers le haut, il est donc négatif.

2.

Particule	Noyau Hélium	Proton
<i>Masse en kg</i>	$4 \times 1,67 \cdot 10^{-27} = 6,68 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$1 \times 1,67 \cdot 10^{-27} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
<i>Charge en C</i>	$2 \times 1,6 \cdot 10^{-19} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$1 \times 1,6 \cdot 10^{-19} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

On sait que le rayon de courbure se détermine par $R = \frac{m v_0}{|q| B}$. Ici v_0 et B sont

identiques pour toutes les particules. Le rayon dépend donc directement de m et de

$|q|$. On a donc : $R_{\text{He}} = \frac{m_{\text{He}}}{|q_{\text{He}}|} \times \frac{v_0}{B} = \frac{4 \times m_p}{2 \times |q_p|} \times \frac{v_0}{B} \Rightarrow R_{\text{He}} = 2 \times \frac{m_p}{|q_p|} \times \frac{v_0}{B} = 2 \times R_p$. Le rayon de

courbure du noyau d'hélium est donc 2 fois plus grand que celui du proton.

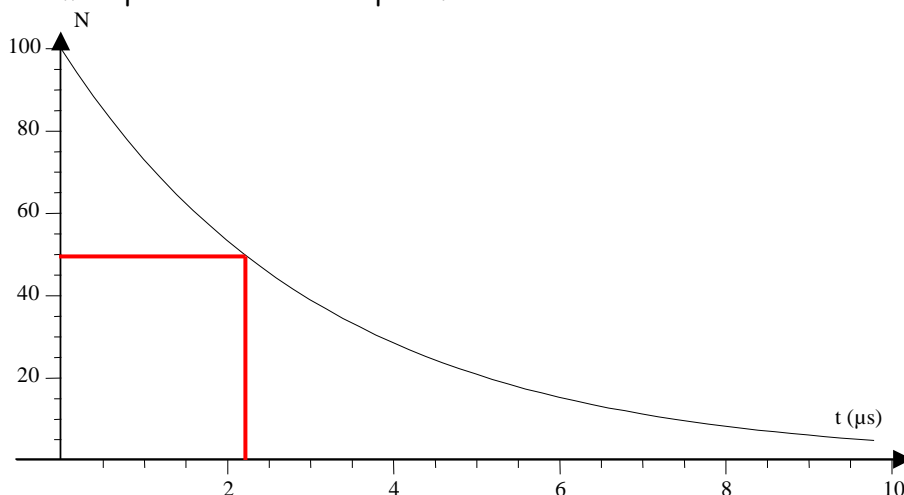
$$3. R = \frac{m v_0}{|q| B} \Rightarrow |q| = \frac{m v_0}{R B} \text{ donc on a } |q_{\mu}| = \frac{m_{\mu} v_0}{R_{\mu} B} = \frac{1,88 \cdot 10^{-28}}{59 \cdot 10^{-3}} \times \frac{1,0 \cdot 10^8}{1}$$

On a donc une charge expérimentale de $|q_{\text{exp}}| = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

4. La valeur théorique est identique à celle du noyau d'hélium. Les valeurs théoriques et expérimentales sont identiques.

II. Vie et mort d'un muon

1. Le temps de demi-vie correspond à la durée nécessaire pour que le nombre de muons initialement présents soit divisé par 2.



Graphiquement, on obtient $T = 2,2 \mu\text{s}$.

$$2. \text{ On détermine la durée de parcours par } \Delta t_{\text{dep}} = \frac{\Delta h}{c} \Rightarrow \Delta t_{\text{dep}} = \frac{1916 - 3}{3,00 \cdot 10^8} = 6,4 \mu\text{s}.$$

Analyse du document
0,5 pts
Muon négatif
0,25 pts

Calcul des grandeurs
4 x 0,125 pts
(max 0,5 pts)

Démarche construite permettant de répondre
0,5 pts

Utilisation de la formule fournie
0,25 pts
Valeur
0,25 pts

Comparaison des valeurs
0,25 pts

Détermination graphique (avec construction)
0,5 pts

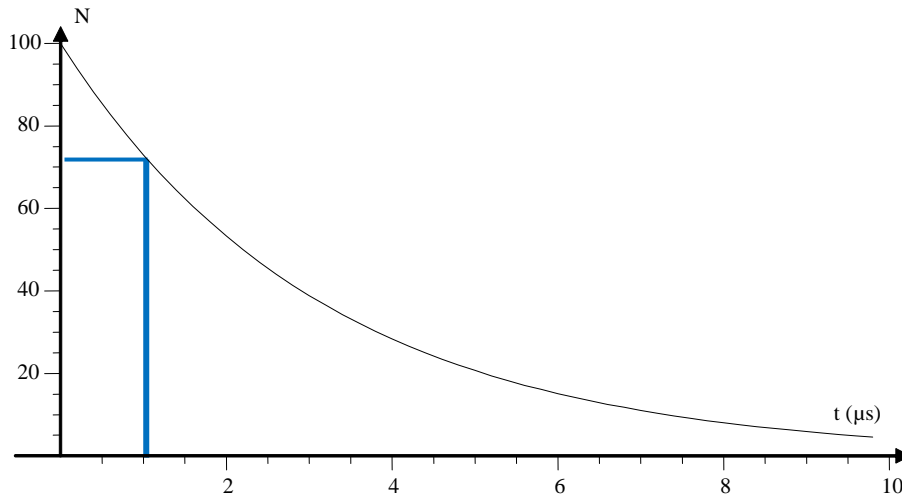
Calcul de Δt_{dep}
0,5 pts

3,5 pts

3. Si on applique la formule donnée dans l'énoncé, on a $N(t) = 100e^{-\frac{\ln(2)}{2,2} \times 6,4} = 13$. On a donc bien un nombre de muons mesuré à Cambridge qui ne représente que 13 % du nombre mesuré au mont Washington.

4. Le pourcentage de muons détectés à Cambridge par rapport à ceux détectés au mont Washington se détermine par $p = \frac{412}{568} \times 100 = 72,5\%$.

5. Graphiquement, on obtient une durée $\Delta t = 1\mu s$. Cette durée correspond à durée de vie propre des muons.



6. Si $T_0 = T \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, où T_0 et T sont respectivement les durées propres et mesurées d'un même évènement, on peut écrire que :

$$\Delta t = \Delta t_{\text{dep}} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow \frac{\Delta t}{\Delta t_{\text{dep}}} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_{\text{dep}}} \right)^2 = 1 - \frac{v^2}{c^2} \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} = 1 - \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_{\text{dep}}} \right)^2$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_{\text{dep}}} \right)^2 \Rightarrow v^2 = c^2 \left(1 - \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_{\text{dep}}} \right)^2 \right) \Rightarrow v = c \sqrt{1 - \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_{\text{dep}}} \right)^2}$$

$$v = c \times \sqrt{1 - \left(\frac{1,0}{6,4} \right)^2} = 0,988 \times c$$

7. On avait supposé que les muons se déplaçaient à la vitesse de la lumière dans le vide. On a montré que la vitesse réelle de ces muons était de $0,988c$. On peut donc considérer que l'hypothèse simplificatrice était valable (moins de 5% d'erreur).

Utilisation de la formule fournie
0,5 pts

Calcul d'un pourcentage
0,25 pts

Détermination graphique
0,25 pts

Notion de vie propre d'un évènement
0,5 pts

Identification des termes de l'équation et de l'exercice
0,25 pts

Modification de la formule fournie
0,25 pts

Valeur
0,25 pts

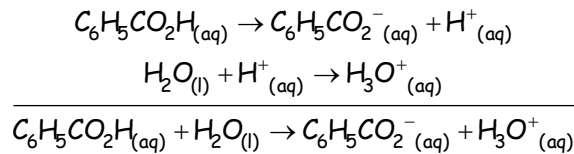
Analyse cohérente du résultat
0,25 pts

2,5 pts

Exercice 3 : UN CONSERVATEUR ALIMENTAIRE

1. Composition d'une solution saturée d'acide benzoïque

1.1. L'acide benzoïque est acide, donc l'eau agit comme une base. On utilise donc le couple $H_3O^+_{(aq)}/H_2O_{(l)}$.



1.2. On sait que la concentration massique d'une solution saturée en acide benzoïque est $C_m = 3,26 \text{ g.L}^{-1}$.

Or $C_m = \frac{m_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$ et $c = \frac{n_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$ d'où $\frac{C_m}{c} = \frac{m_{\text{soluté}}}{n_{\text{soluté}}} = M_{\text{soluté}}$ donc $c = \frac{C_m}{M_{\text{soluté}}}$.

$$c = \frac{C_m}{M} = \frac{3,6}{122} = 3,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

La solubilité d'une espèce chimique représente, à une température donnée, la quantité de matière maximale de cette espèce que l'on peut dissoudre par litre de solution donc la solubilité de l'acide benzoïque à 24°C est $s = 3,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

1.3. On détermine la quantité initiale d'acide benzoïque. $n = c \times V$ donc $n = 3,0 \cdot 10^{-2} \times 20,0 \cdot 10^{-3} = 60 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$.

Equation	$C_6H_5CO_2H_{(aq)} +$	$H_2O_{(l)} \rightarrow$	$C_6H_5CO_2^-_{(aq)} +$	$H_3O^+_{(aq)}$
EI	$60 \cdot 10^{-5}$	EXCES	0	0
EC	$60 \cdot 10^{-5} - x$		x	x
EC si $x = x_{\text{max}}$	0		$60 \cdot 10^{-5}$	$60 \cdot 10^{-5}$

Le seul réactif limitant est l'acide benzoïque donc $x_{\text{max}} = 60 \cdot 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$.

1.4. Si le pH de cette solution vaut 2,9 alors la concentration en ion $H_3O^+_{(aq)}$ vaut $[H_3O^+_{(aq)}] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2,9} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$. Dans l'échantillon de 20 mL, cela

correspond à $n_{H_3O^+} = x_f = [H_3O^+_{(aq)}] \times V = 1,3 \cdot 10^{-3} \times 20,0 \cdot 10^{-3} = 26 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$. On ne retrouve pas la valeur obtenue si la transformation était totale, la réaction n'est pas totale. Le taux d'avancement final se détermine par

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\text{max}}} = \frac{26 \cdot 10^{-6}}{60 \cdot 10^{-5}} = \frac{26 \cdot 10^{-6}}{600 \cdot 10^{-6}} = 0,043 \text{ soit } 4,3\% \text{ ce qui confirme le caractère non}$$

total de la transformation.

1.5.a Dans une solution saturée d'acide benzoïque à l'équilibre, la concentration en ion benzoate est sensiblement égale à la concentration en acide benzoïque. FAUX, elle ne représente que 4% de la concentration initiale donc la concentration en acide benzoïque est de 96% de la concentration initiale.

1.5.b dans une solution saturée d'acide benzoïque à l'équilibre, la concentration en acide benzoïque dans la solution à l'équilibre est sensiblement égale à la concentration apportée en acide benzoïque. VRAI, la concentration en acide benzoïque représente 96% de la concentration initiale, on peut donc considérer (moins de 5%) qu'il n'y a pratiquement pas de variation de concentration.

Identification et utilisation des couples
0,5 pts

Passage C_m à c
0,25 pts

Détermination de la solubilité
0,25 pts

Mise en place d'une démarche pour trouver x_{max}
0,5 pts

Calcul de x_f
0,25 pts

Caractère partiel de la transformation
0,25 pts

Analyse de la question et réponse cohérente
0,25 pts

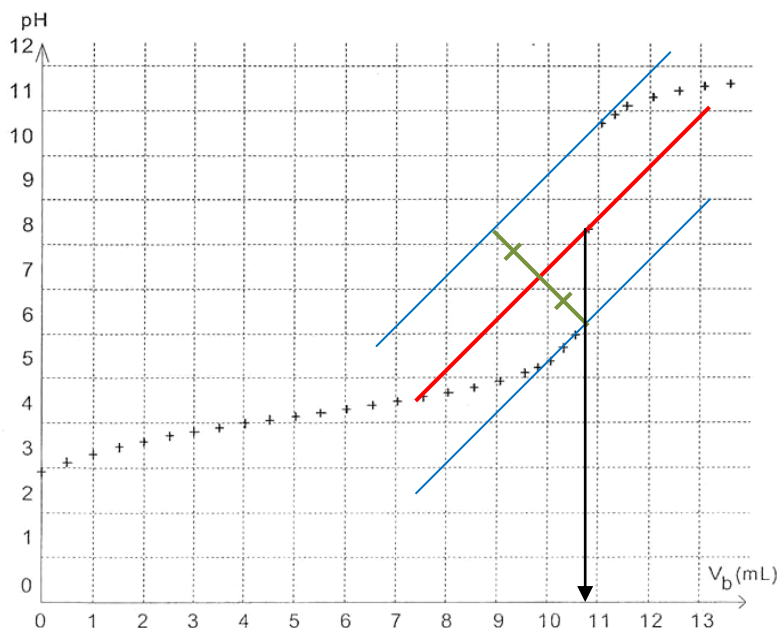
Analyse de la question et réponse cohérente
0,25 pts

2,5 pts

2. Titrage des solutions saturées d'acide benzoïque

2.1. L'équivalence du titrage est obtenue lorsque les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques.

2.2. On utilise la méthode des tangentes.



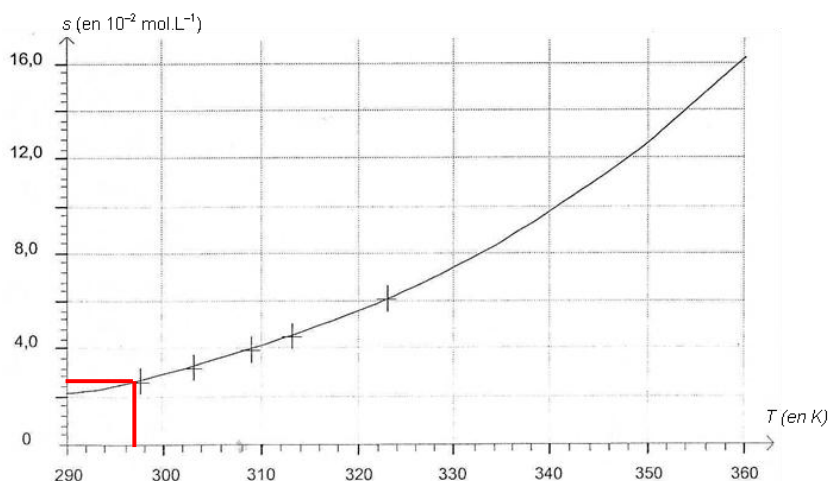
Le volume V_{bE} de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence est donc d'environ 10,8 mL.

2.3. On sait qu'on a $n_{AB} = n_{BE}$ sont

$$n_{AB} = c \times V_p = C_B \times V_{BE} \Rightarrow c = \frac{C_B \times V_{BE}}{V_p} = \frac{5,0 \cdot 10^{-2} \times 10,8}{20,0} = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

La solubilité de l'acide benzoïque à 24°C est donc $s = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

2.4. A 24°C, on est à une température de $T = 24 + 273 = 297 \text{ K}$.



Graphiquement, on retrouve la valeur de $s = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

3. Variation de la solubilité de l'acide benzoïque dans l'eau en fonction de la température

3.1. Si on analyse les expressions proposées :

(1) $s = a \cdot T + b$ est l'équation d'une droite donc non valable.

(2) $s = b \cdot e^{-a \cdot T}$ si T augmente, l'exponentielle diminue donc non valable.

(3) $s = b \cdot e^{-\frac{a}{T}}$ si T augmente, $1/T$ diminue et l'exponentielle augmente donc possible.

Définition de l'équivalence
0,25 pts

Détermination graphique du point d'équivalence
0,5 pts

Calcul de la solubilité
0,25 pts

Passage à la température absolue
0,25 pts

Comparaison des résultats
0,25 pts

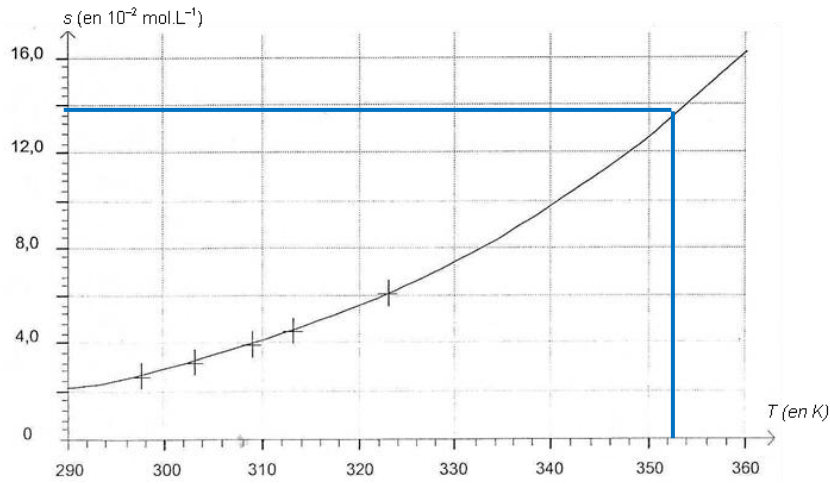
Analyse des expressions mathématiques
0,25 pts

1,75 pts

(4) $s = \frac{a}{T} + b$ si T augmente, $1/T$ diminue et s diminue donc non valable.

La seule expression valable est la (3).

3.2. A la température de 80°C soit 353K , on a une solubilité de $s = 13,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.



Choix justifié de l'expression mathématique
0,25 pts

Détermination graphique de la solubilité à 80°C
0,5pts

0,75 pts