

**Partie 1 – Chauffage de l’eau**

**Q1- Identifier le mode de transfert thermique qui intervient :**

**a) au niveau du panneau solaire thermique.**

Transfert par rayonnement

**b) entre le fluide caloporteur chaud et l'eau sanitaire du cumulus.**

Transfert par conduction

**c) dans le cumulus entre l'eau chaude en bas et l'eau froide en haut.**

Transfert par convection

Afin de limiter les pertes thermiques, le panneau solaire contient un isolant intercalé entre le fluide caloporteur, chauffé par le Soleil, et la structure basse du panneau (figure 2). Cette couche isolante est composée soit d’une résine de mélamine, soit d’une mousse de polyuréthane rigide.

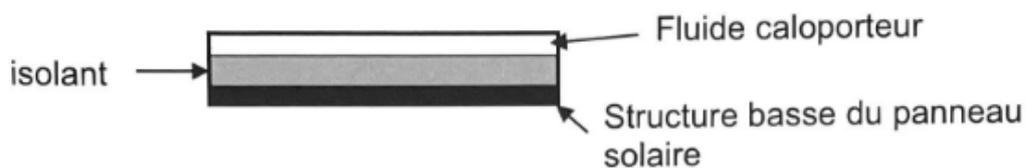


Figure 2 : Schéma de la structure du panneau solaire

**Données :**

- Conductivités thermiques  $\lambda$  de matériaux, en  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$  :

Résine de mélamine	Mousse de polyuréthane rigide
0,033	0,025

- La résistance thermique de l'isolant a pour expression  $R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$  où  $e$  est l'épaisseur de l'isolant en m,  $S$  est sa surface en  $m^2$  et  $\lambda$  est sa conductivité thermique en  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ .
- Le flux thermique à travers l'isolant a pour expression  $\phi = \frac{\Delta\theta}{R_{th}}$  où  $\Delta\theta$  est la différence de température entre les parties supérieure et inférieure de l'isolant (figure 2).

**Q2- Calculer la valeur de la résistance thermique  $R_{th}$  d'un isolant en résine de mélamine d'épaisseur  $e = 5,0$  cm pour un panneau solaire de surface  $S = 5.0$   $m^2$ .**

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$$

$$R_{th} = \frac{5,0 \times 10^{-2} \text{ m}}{0,033 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 5,0 \text{ m}^2} = 0,30 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\frac{0.05}{0.033 \times 5} = 3.03030303E-1$$

**Q3- Sachant que la structure basse du panneau a une température  $\theta_p = 20$  °C et que le fluide caloporteur a une température  $\theta_c = 45$  °C, déterminer la valeur du flux thermique  $\phi$  traversant l'isolant en résine de mélamine.**

$$\phi = \frac{\Delta\theta}{R_{th}}$$

$$\phi = \frac{45 - 20}{0,30} = 83 \text{ W}$$

$$(45 - 20) / 3.03030303E-1 = 8.250000001E1$$

**Q4- Indiquer, en justifiant, le sens du transfert thermique entre la structure basse du panneau et le fluide caloporteur.**

Le transfert thermique a lieu du corps chaud (le fluide caloporteur) vers le corps froid (structure basse du panneau).

**Q5- Comparer, en justifiant sans calcul, la valeur du flux thermique calculée précédemment et celle du flux thermique qui traverserait le même dispositif pour un isolant en mousse de polyuréthane rigide. Commenter le choix de l'isolant.**

$$\phi = \frac{\Delta\theta}{R_{th}} \text{ et } R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S} \text{ donc } \phi = \frac{\Delta\theta}{\frac{e}{\lambda \times S}} \text{ finalement } \phi = \frac{\Delta\theta \cdot \lambda \cdot S}{e}$$

$\Delta\theta$ ,  $S$  et  $e$  sont identiques pour les deux isolants, ainsi seule la conductivité thermique est à l'origine de la différence de flux.

$\lambda(\text{résine}) > \lambda(\text{polyuréthane})$  donc le flux est plus grand avec la résine.

Il est préférable d'utiliser la mousse de polyuréthane car ainsi le fluide caloporteur cède moins sa chaleur à la structure basse du panneau.

Le cumulus de volume  $V = 150 \text{ L}$  est le siège d'un transfert thermique  $Q$  qui permet de chauffer l'eau stockée. L'eau contenue dans le cumulus est considérée comme un système immobile, incompressible et parfaitement isolé thermiquement.

**Données :**

- Capacité thermique massique de l'eau :  $C_{\text{eau}} = 4\,180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$
- Masse volumique de l'eau :  $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$
- Relation entre puissance thermique  $P_{th}$  (en W), transfert thermique  $Q$  (en J) et durée du transfert thermique  $\Delta t$  (en s) :  $Q = P_{th} \times \Delta t$
- Expression du rendement  $r$  d'un convertisseur :  $r = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{reçue}}}$

**Q6- Donner l'expression de la variation d'énergie interne  $\Delta U$  de l'eau contenue dans le cumulus en fonction de la capacité thermique massique  $C_{\text{eau}}$ , du volume  $V$ , de la masse volumique  $\rho_{\text{eau}}$ , des températures initiale  $\theta_i$  et finale  $\theta_f$  de l'eau.**

$$\Delta U = m_{\text{eau}} \cdot C_{\text{eau}} \cdot (\theta_f - \theta_i)$$

$$\Delta U = \rho_{\text{eau}} \cdot V \cdot C_{\text{eau}} \cdot (\theta_f - \theta_i)$$

**Q7- En déduire l'expression du transfert thermique  $Q$  en appliquant le premier principe de la thermodynamique.**

D'après le premier principe  $\Delta U = W + Q$

En considérant que l'eau est immobile dans le cumulus, alors  $W = 0$ .

et donc  $\Delta U = Q = \rho_{\text{eau}} \cdot V \cdot C_{\text{eau}} \cdot (\theta_f - \theta_i)$

Le panneau solaire thermique de surface  $S = 5,0 \text{ m}^2$  reçoit une puissance radiative surfacique  $p_R = 600 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Le rendement du chauffe-eau solaire installé est de 77 %.

**Q8- Calculer la valeur de la puissance thermique  $P_{th}$  fournie par le chauffe-eau solaire.**

$$P_{\text{reçue}} = P_R \cdot S$$

$$P_{\text{reçue}} = 600 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \times 5,0 \text{ m}^2$$

$$P_{\text{reçue}} = 3,0 \times 10^3 \text{ W} = 3,0 \text{ kW}$$

$$\text{Rendement } r = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{reçue}}} = \frac{P_{th}}{P_{\text{reçue}}}$$

$$\begin{array}{r} 600 * 5 \\ \hline \text{Reçue} * 0.77 \end{array} \quad \begin{array}{r} \\ \\ \\ \hline 2.31 \text{E}3 \end{array}$$

$$P_{th} = r \cdot P_{\text{reçue}}$$

$$P_{th} = 0,77 \times 3,0 \times 10^3 = 2,3 \times 10^3 \text{ W} = 2,3 \text{ kW}$$

**Q9- Déterminer la valeur de la durée  $\Delta t$ , en heures, nécessaire pour que l'eau du cumulus passe d'une température initiale  $\theta_i = 10^\circ\text{C}$  à une température finale  $\theta_f = 50^\circ\text{C}$ .**

**Commenter.**

**Pour répondre à cette question, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.**

$$Q = P_{th} \times \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{Q}{P_{th}} = \frac{\rho_{eau} \cdot V \cdot C_{eau} \cdot (\theta_f - \theta_i)}{P_{th}}$$

$$\Delta t = \frac{1,00 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1} \times 150 \text{ L} \times 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1} (50 - 10)}{2,31 \times 10^3} = 1,1 \times 10^4 \text{ s} = 3,0 \text{ h}$$

$\frac{150 \times 4180 \times 40}{2310}$	$1.085714286\text{E}4$
Rep/3600	$3.015873016\text{E}0$

Cette durée semble raisonnable. Il suffit de 3h d'ensoleillement par jour pour avoir 150 L d'eau chaude.

## Partie 2 – Surpresseur

### Données :

- Intensité de la pesanteur :  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
- Masse volumique de l'eau :  $\rho_{eau} = 1,00 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Conversion :  $1,0 \text{ bar} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$
- Expression du débit volumique :  $D = v \times S$  où  $v$  est la vitesse d'écoulement de l'eau (en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) et  $S$  est la section du tube d'écoulement (en  $\text{m}^2$ ).
- On considère que la relation de Bernoulli peut s'appliquer le long d'une ligne de courant d'un fluide incompressible en écoulement permanent indépendant du temps. Elle s'écrit :  $\frac{1}{2} \cdot \rho_{eau} \cdot v^2 + \rho_{eau} \cdot g \cdot z + P = \text{constante}$ .

Le tableau suivant définit  $z$  et  $P$  et donne les caractéristiques du logement.

Caractéristiques de l'installation sanitaire du logement	Entrée du cumulus	Robinet à l'étage
Altitude $z$ (en m)	0,0	5,0
Section $S$ (en $\text{m}^2$ )	$2,0 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-4}$
Pression $P$ (en Pa)	$3,0 \times 10^5$	$P_2$
Vitesse d'écoulement $v$ (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	1,0	$v_2$

L'eau est considérée comme un fluide incompressible en écoulement permanent indépendant du temps.

**Q10- Indiquer, en justifiant, la relation entre les débits volumiques  $D_1$  à l'entrée du cumulus et  $D_2$  au robinet à l'étage.**

Le débit volumique est constant, chaque seconde il y a autant d'eau qui sort du cumulus que d'eau qui sort du robinet.

**Q11- En déduire que la vitesse de l'eau au robinet à l'étage a pour valeur  $v_2 = 1,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .**

$$D = v \times S = \text{Cte}$$

$$v_1 \times S_1 = v_2 \times S_2$$

$$v_2 = \frac{v_1 \times S_1}{S_2}$$

$$v_2 = \frac{1,0 \times 2,0 \times 10^{-4}}{1,1 \times 10^{-4}} = 1,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

**Q12- Déterminer la valeur de la pression de l'eau  $P_2$  à la sortie du robinet à l'étage en appliquant la relation de Bernoulli.**

Relation de Bernoulli

$$\frac{1}{2} \cdot \rho_{eau} \cdot v_1^2 + \rho_{eau} \cdot g \cdot z_1 + P_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho_{eau} \cdot v_2^2 + \rho_{eau} \cdot g \cdot z_2 + P_2$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho_{eau} \cdot v_1^2 + \rho_{eau} \cdot g \cdot z_1 + P_1 - \frac{1}{2} \cdot \rho_{eau} \cdot v_2^2 - \rho_{eau} \cdot g \cdot z_2$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho_{eau} \cdot v_1^2 - \frac{1}{2} \cdot \rho_{eau} \cdot v_2^2 + \rho_{eau} \cdot g \cdot z_1 - \rho_{eau} \cdot g \cdot z_2 + P_1$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho_{eau} \cdot (v_1^2 - v_2^2) + \rho_{eau} \cdot g \cdot (z_1 - z_2) + P_1$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \times 1,00 \times 10^3 \times (1,0^2 - 1,8^2) + 1,00 \times 10^3 \times 9,81 \times (0,0 - 5,0) + 3,0 \times 10^5$$

$$P_2 = - 5,017 \times 10^4 + 3,0 \times 10^5$$

$$P_2 = - 0,5 \times 10^5 + 3,0 \times 10^5 = 2,5 \times 10^5 \text{ Pa} = 2,5 \text{ bar}$$

**Q13- Indiquer si un surpresseur est nécessaire à l'entrée de l'installation sanitaire du logement nouvellement acheté par le couple.**

La pression d'eau est supérieure à la valeur de 2,0 bar indiqué dans le sujet, ainsi il n'est pas nécessaire d'utiliser un surpresseur.

Merci de nous signaler la présence d'éventuelles erreurs : [labolycee@labolycee.org](mailto:labolycee@labolycee.org)

**Q1- Définir un acide selon Brønsted.**

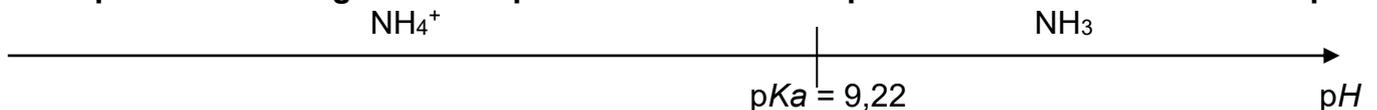
Selon Brønsted, un acide est une espèce chimique capable de céder un proton  $H^+$ .

**Q2- Établir le schéma de Lewis de l'ammoniac.**

$Z(N) = 7$  donc l'atome d'azote possède 7 protons et 7 électrons.

Sa structure électronique est  $(1s)^2 (2s)^2 (2p)^3$ , il possède 5 électrons sur sa couche 2, donc 5 électrons de valence.

$Z(H) = 1$  donc l'atome d'hydrogène possède un seul électron de valence.

**Q3- Représenter le diagramme de prédominance du couple ion ammonium / ammoniaque.****Q4- Identifier, en justifiant, l'espèce ammoniacale prédominante dans l'échantillon prélevé.**

$pH = 7,2 < pKa$  donc l'acide  $NH_4^+$  prédomine sur la base  $NH_3$ .

On réalise un titrage par suivi conductimétrique d'un volume  $V = 200,0$  mL de l'échantillon prélevé.

Pour le titrage, on prépare  $50,0$  mL d'une solution titrante  $S$  de concentration en quantité de matière  $c_1 = 3,50 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$  en hydroxyde de sodium ( $Na^+(aq)$ ,  $HO^-(aq)$ ) en diluant dix fois une solution mère  $S_0$  disponible au laboratoire.

**Q5- Choisir, en justifiant, la verrerie utilisée pour mettre en œuvre la dilution de la solution  $S_0$  parmi la liste de matériel à disposition :**

- un bécher
- un erlenmeyer de  $50$  mL
- une fiole jaugée de  $50,0$  mL
- des pipettes jaugées :  $5,0$  mL ;  $10,0$  mL ;  $50,0$  mL
- des éprouvettes graduées de  $5$  mL et  $10$  mL

On procède à une dilution, déterminons le volume de solution mère à prélever.

Solution mère  $S_0$

$V_0$  à prélever

$C_0$

Solution fille  $S$

$V = 50,0$  mL

$C_1 = C_0/10$

Au cours d'une dilution, la quantité de matière de soluté se conserve.

$$C_0 \cdot V_0 = C_1 \cdot V_1$$

$$V_0 = \frac{C_1 \cdot V_1}{C_0}$$

$$V_0 = \frac{C_0}{10} \cdot V_1 \quad \text{ainsi } V_0 = V_0 = \frac{V_1}{10}$$

$V_0 = 5,00$  mL à prélever avec une pipette jaugée de  $5,0$  mL

Il faudra aussi utiliser un bécher contenant la solution mère, et une fiole jaugée  $50,0$  mL pour effectuer la dilution.

Après chaque ajout de solution titrante S, on mesure la conductivité  $\sigma$  de la solution. La figure 1 ci-après donne l'évolution de la conductivité  $\sigma$  en fonction du volume  $V_1$  de solution titrante S.

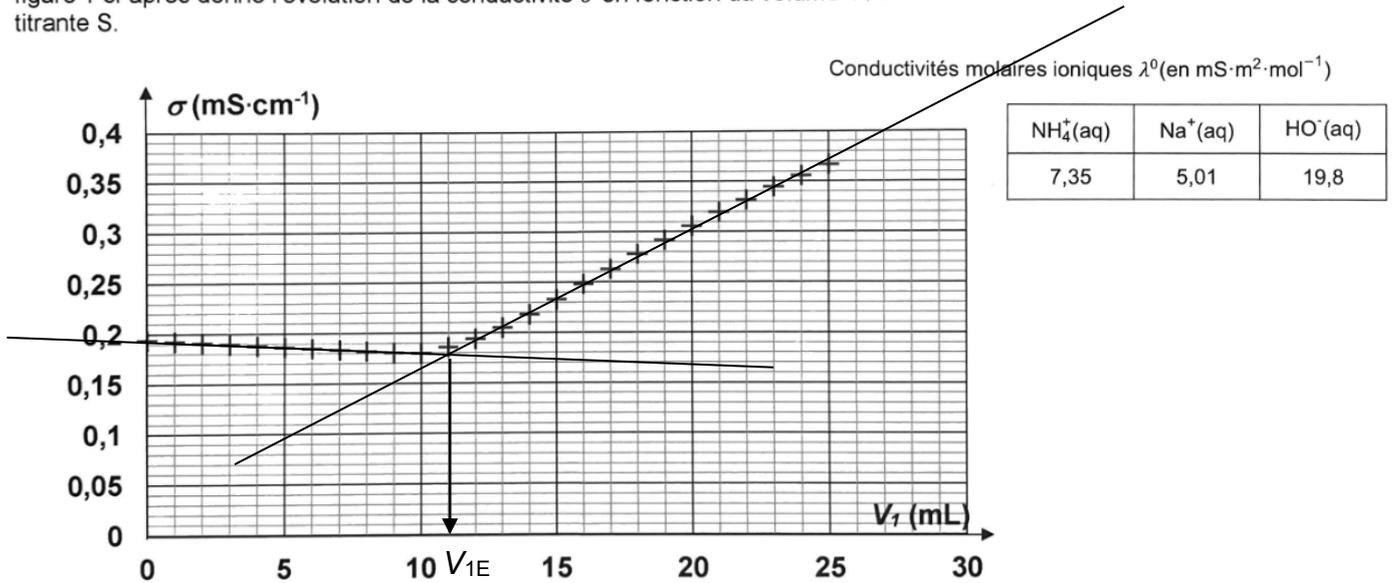
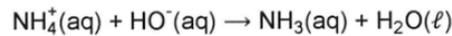


Figure 1 : Courbe expérimentale du titrage conductimétrique de l'échantillon d'eau

L'équation de la réaction support du titrage est la suivante :



**Q6- Justifier sans calcul l'évolution de la courbe de la figure 1 avant et après l'équivalence.**

La conductivité de la solution dépend de la concentration des ions et de leur conductivité molaire ionique, suivant la loi de Kohlrausch  $\sigma = \sum_i \lambda_i \cdot [X_i]$ .

Concentration	Avant l'équivalence	Après l'équivalence
$\text{NH}_4^+$	diminue	nulle
$\text{Na}^+$	augmente	augmente
$\text{HO}^-$	nulle	augmente

Avant l'équivalence, les ions  $\text{Na}^+$  remplacent au fur et à mesure les ions  $\text{NH}_4^+$ , or  $\lambda(\text{Na}^+) < \lambda(\text{NH}_4^+)$ , donc la conductivité diminue.

Après l'équivalence, la concentration en ions augmente donc la conductivité augmente.

**Q7- Déterminer la valeur du volume  $V_{1E}$  d'hydroxyde de sodium verse à l'équivalence en explicitant la méthode utilisée.**

Le volume équivalent est égal à l'abscisse du point d'intersection des deux demi-droites modélisant l'évolution de la conductivité.

On lit  $V_{1E} = 11,0 \text{ mL}$ .

**Q8- Indiquer si l'échantillon d'eau de rivière est pollué par l'azote ammoniacal.**

*Pour répondre à cette question, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.*

Il faut déterminer la concentration en masse d'azote ammoniacal. Pour cela, on utilise le titrage.

À l'équivalence, on a versé les réactifs dans les proportions stœchiométriques  $n_{\text{NH}_4^+} = n_{\text{HO}^-}$ ,

$$C \cdot V = C_1 \cdot V_{1E}$$

$$C = \frac{C_1 \cdot V_{1E}}{V}$$

$$C = \frac{3,50 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 11,0 \text{ mL}}{200 \text{ mL}} = 1,93 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\frac{3.5E-4 * 11}{200}$$

$$1.925E-5$$

$$C_m = C \cdot M(\text{NH}_4^+)$$

$$C_m = 1,925 \times 10^{-5} \times (14,0 + 4 \times 1,0) = 3,5 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} = 0,35 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Cette concentration est supérieure à celle annoncée de  $0,10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  donc l'eau de la rivière est polluée.

1.925E-5\*18

3.465E-4

Merci de nous signaler la présence d'éventuelles erreurs : [labolycee@labolycee.org](mailto:labolycee@labolycee.org)

## Exercice 3 – Arôme de poire (4 points)

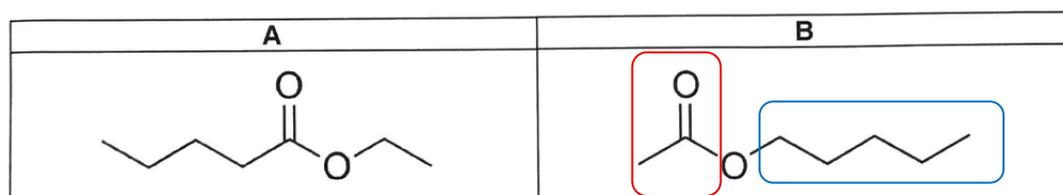
**Partie 1 – l'éthanoate de pentyle**

L'éthanoate de pentyle, de formule brute  $C_7H_{14}O_2$ , est un ester qui possède plusieurs isomères de constitution.

**Q1- Définir un isomère de constitution.**

Des isomères de constitution possèdent la même formule brute mais des formules (semi-)développées différentes.

Parmi les deux isomères A et B ci-dessous se trouve la molécule d'éthanoate de pentyle.

**Q2- Identifier, en justifiant, l'isomère dont la formule correspond à celle de l'éthanoate de pentyle.**

A se nomme pentanoate d'éthyle.

B se nomme **éthanoate** de **pentyle**, avec une **partie avec 2 atomes de C** et l'autre avec **5 atomes C**.

C'est donc l'isomère B.

**Q3- Justifier que le spectre infrarouge présenté sur la figure 1 ci-après peut correspondre aux deux isomères A et B.**

Le spectre IR montre une bande de forte intensité entre  $1730$  et  $1750\text{ cm}^{-1}$  qui correspond à la liaison  $C=O$  des esters.

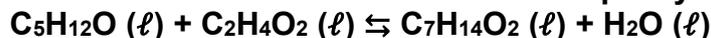
Les liaisons  $C-H$  sont également identifiables entre  $2900$  et  $3100\text{ cm}^{-1}$ .

**Partie 2 – Synthèse organique****Q4- Citer deux avantages que présente un montage de chauffage à reflux.**

Le chauffage à reflux permet d'augmenter la température qui est un facteur cinétique, cela augmente la vitesse de réaction.

Lors du chauffage certaines espèces peuvent se vaporiser, le réfrigérant à boules permet de récupérer ces espèces sous forme liquide dans le ballon.

L'équation de la réaction modélisant la transformation chimique ayant lieu s'écrit :



La constante  $K$  de cet équilibre, qui dépend peu de la température, a pour valeur  $K = 4$ .

**Q5- Exprimer puis calculer le quotient réactionnel initial  $Q_{r,0}$ .**

$$Q_{r,0} = \frac{[C_7H_{14}O_2]_{ini} \cdot [H_2O]_{ini}}{[C_2H_4O_2]_{ini} \cdot [C_5H_{12}O]_{ini}}$$

Initialement il n'y a pas encore de produits formés donc  $[C_7H_{14}O_2] = [H_2O] = 0$ .

Ainsi  $Q_{r,0} = 0$ .

*Remarque : nous recevons de nombreux emails citant chat GPT... sur cette question ; il n'y a pas d'erreur ! L'eau n'est pas le solvant (pas de (aq) dans l'équation) sa concentration doit apparaître. Et ce n'est pas parce que les espèces sont liquides qu'on doit remplacer leur concentration par 1, non !*

**Q6- En déduire le sens d'évolution spontanée de la transformation.**

Le quotient de réaction est nul et donc inférieur à  $K = 4$ . Ainsi la transformation évolue spontanément dans le sens direct.

**Q7- Déterminer la valeur de l'avancement maximal  $x_{\max}$  de la réaction.**

Il faut déterminer qui est le réactif limitant. Pour cela, calculons la quantité de matière de pentan-1-ol.

$$n_1 = \frac{m_1}{M_{\text{pentanol}}} = \frac{\rho \cdot V_1}{M_{\text{pentanol}}} = \frac{d_{\text{pentanol}} \cdot \rho_{\text{eau}} \cdot V_1}{M_{\text{pentanol}}}$$
$$n_1 = \frac{0,814 \times 1,00 \text{ g} \times \text{mL}^{-1} \times 54,0 \text{ mL}}{88,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0,500 \text{ mol}$$

$\frac{0.814 * 54}{88}$
$4.995E-1$

Pour l'autre réactif, on a aussi introduit 0,500 mol.

Ainsi les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques.

Les coefficients stœchiométriques étant égaux à 1, on en déduit que  $x_{\max} = n_1 = n_2 = 0,50 \text{ mol}$ .

**Q8- Calculer la valeur du rendement  $r$  de la réaction en utilisant le graphique de la figure 2.**

$$\text{Rendement} = r = \frac{n_{\text{ester expérimental}}}{n_{\text{ester max}}}$$

Graphiquement, sur la figure 2, on détermine la quantité de matière d'ester obtenue expérimentalement :  $n_{\text{ester expérimental}} = 0,33 \text{ mol}$

$$r = \frac{0,33}{0,50} = 0,66 = 66\%$$

**Q9- Choisir, en justifiant, une (des) proposition(s) pour améliorer le rendement de la réaction parmi les propositions suivantes :****a) Augmenter la température du mélange réactionnel.**

Non demandé : cela permet simplement d'atteindre plus rapidement l'état final d'équilibre sans modifier le rendement.

**b) Éliminer l'eau au fur et à mesure de sa formation.**

$$Q_r = \frac{[\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2] \cdot [\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}]}, \text{ si on élimine l'eau alors } [\text{H}_2\text{O}] = 0 \text{ donc } Q_r = 0 < K.$$

La transformation évolue en sens direct jusqu'à la consommation totale du réactif limitant. Cela permet d'augmenter le rendement.

En éliminant l'eau, on empêche la réaction en sens inverse. Ce qui explique aussi que le rendement augmente ainsi.

Il faudrait modifier le protocole expérimental afin de remplacer le chauffage à reflux par un Dean-Stark.

**c) Augmenter la quantité de matière d'acide éthanoïque.**

Le mélange initial était stœchiométrique, en augmentant la quantité de matière d'acide éthanoïque on a alors un réactif en excès. Cela permet d'augmenter le rendement.

**d) Augmenter la quantité d'acide sulfurique.**

Non demandé : l'acide sulfurique est le catalyseur, toujours utilisé en petite quantité. Augmenter sa quantité ne modifie rien.

Merci de nous signaler la présence d'éventuelles erreurs à [labolycee@labolycee.org](mailto:labolycee@labolycee.org)