

Baccalauréat STL spécialité SPCL

Épreuve de spécialité

Session de juin 2014

En métropole

[Nom de l'auteur]

17/06/2014

<http://www.udppc.asso.fr>

Corrigé



La production de bioéthanol a connu ces dernières années un grand développement. En effet, le bioéthanol remplace l'éthanol dérivé du pétrole comme réactif de synthèse et est devenu une alternative aux carburants fossiles.

Le bioéthanol de première génération peut être obtenu à partir de mélasses issues de la canne à sucre, de la betterave ou des cultures céréalières. Le procédé de fabrication du bioéthanol à partir du sucre (saccharose $C_{12}H_{22}O_{11}$) de la betterave est schématisé, de façon simplifiée, sur la figure 1.

Le sujet traite de deux éléments encadrés du procédé de fabrication et aborde deux utilisations du bioéthanol.

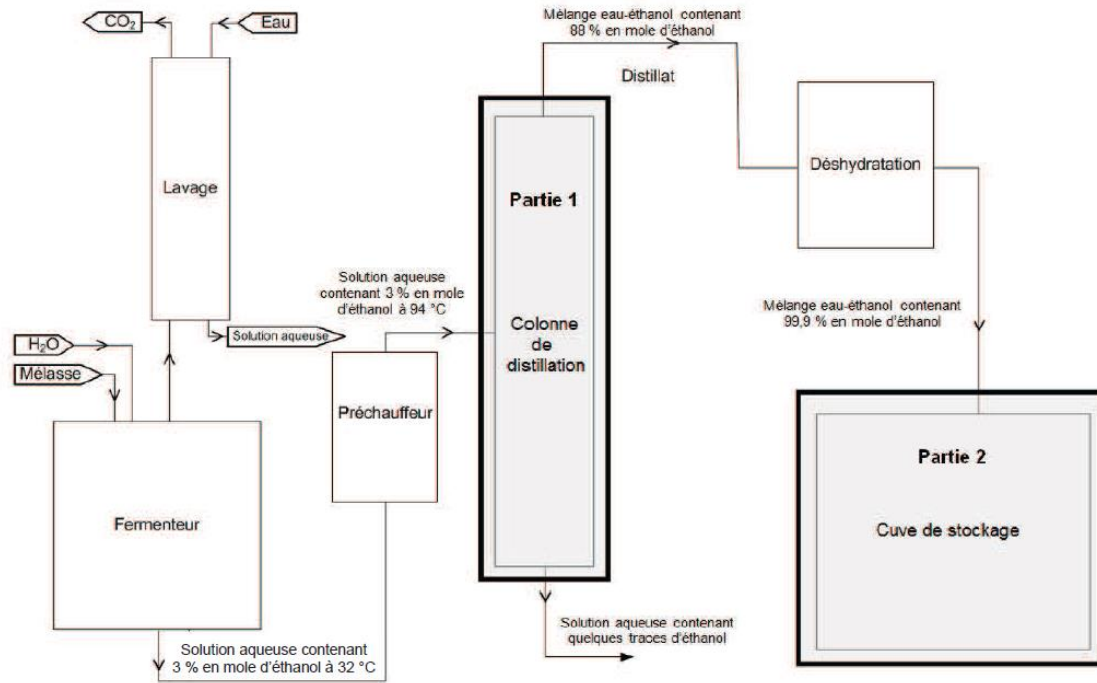


Figure 1 : Descriptif de l'installation

Partie 1 : Étude de la colonne de distillation — Document 1 et document réponse en annexe à rendre avec la copie

La solution d'éthanol est séparée par un procédé de distillation. Il permet de récupérer en tête de colonne un mélange très enrichi en éthanol.

A. Étude du diagramme d'équilibre du mélange eau-éthanol

On considère dans cette partie que l'on distille une solution constituée uniquement d'eau et d'éthanol. À l'entrée de la colonne de distillation, la solution a une fraction molaire en éthanol $x = 0,03$.

On obtient en sortie de tête de colonne une solution aqueuse de fraction molaire en éthanol $x = 0,88$.

1.1. Préciser, sur le diagramme isobare d'équilibre liquide-vapeur, **document réponse en annexe** à rendre avec la copie, où se situent la courbe de rosée et la courbe d'ébullition.

Voir ci-dessous.

1.2. Déterminer la température d'ébullition et la composition des vapeurs formées par le mélange à l'entrée de la colonne. Justifier graphiquement sur le **document réponse en annexe**.

Température d'ébullition : 94°C

Les vapeurs formées ont alors pour fraction molaire $y = 0,22$

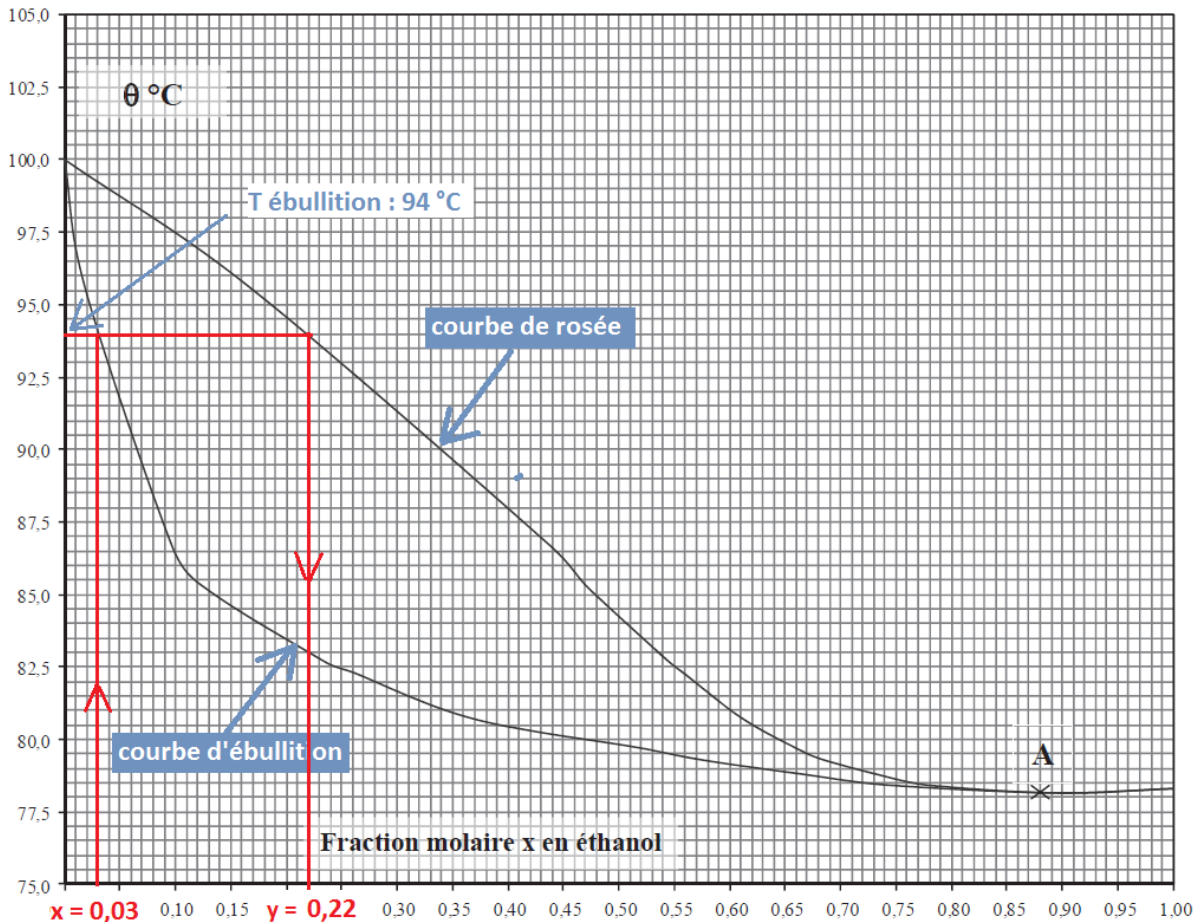
Voir ci-dessous (et cela correspond à l'indication du document d'introduction)

1.3. Quel est le nom donné au mélange correspondant au point A sur le **document réponse en annexe** ?

Il s'agit d'un azéotrope.

1.4. Déterminer la température des vapeurs en tête de colonne.

En tête de colonne, on récupère l'azéotrope dont la température d'ébullition est de 78°C .



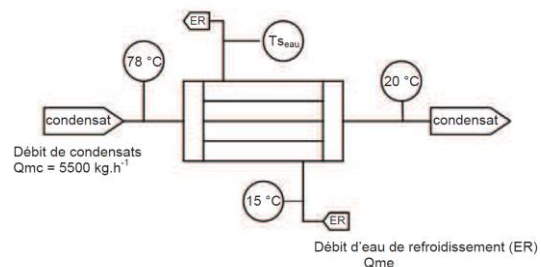
B. Étude du réfrigérant de distillat

À la sortie du condenseur le distillat est refroidi dans un échangeur à faisceau tubulaire.

1.5. À l'aide du schéma du **document 1**, expliquer le transfert thermique qui a lieu entre les fluides circulant à contre-courant dans l'échangeur.

Le condensat (source chaude) et l'eau de refroidissement (source froide) circulent ici à contre-courant.

Le condensat se refroidit et donne donc de l'énergie à l'eau qui se réchauffe de 15°C à une température inconnue, dépendant de son débit.



La puissance thermique perdue ou gagnée par un fluide est donnée par $P = Q_m \cdot C_p \cdot \Delta T$ où ΔT est la variation de température, Q_m le débit massique et C_p la chaleur massique du fluide.

1.6. À l'aide du **document 1**, vérifier que, pour le condensat, la puissance notée P a pour valeur $P_c = -2,2 \cdot 10^5$ W (**document 1**). Interpréter le signe de ce résultat.

$$P_c = Q_{mc} \cdot C_{p_c} \cdot \Delta T \text{ (l'unité S.I. de temps étant la seconde, il faut convertir } Q_{mc} \text{ en } \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \text{)}$$

$$\text{Avec : } Q_{mc} = 5500 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} = 1,528 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad C_{p_c} = 2,51 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \text{ et } \Delta T = (20 - 78) = -58 \text{ K}$$

$$P_c = 1,528 \times 2,51 \times (-58) = 2,2 \cdot 10^2 \text{ kW} = -2,2 \cdot 10^5 \text{ W}$$

Le signe négatif vient du fait que l'échange se fait du condensat vers l'eau : le condensat perd de l'énergie.

1.7. En régime permanent, la température maximale de l'eau en sortie notée $T_{s_{\text{eau}}}$ ne doit pas dépasser $T_{\text{max}} = 30$ °C pour des raisons de respect de l'environnement. Déterminer Q_{me} , le débit massique minimum d'eau, dans le circuit de refroidissement pour répondre à cette condition.

La puissance thermique perdue par le condensat est gagnée par l'eau :

$$P_c = -P_{\text{eau}} = Q_{me} \cdot C_{p_e} \cdot \Delta T$$

$$\text{Soit : } Q_{me} = \frac{-P_{\text{eau}}}{C_{p_e} \cdot \Delta T} = \frac{2,2 \cdot 10^5}{4180 \times (30 - 15)} = 3,5 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Partie 2 : Mesure de niveau de liquide dans la cuve de stockage — Documents 2 et 3

Une fois déshydraté, le bioéthanol pratiquement pur est versé dans une cuve de stockage.

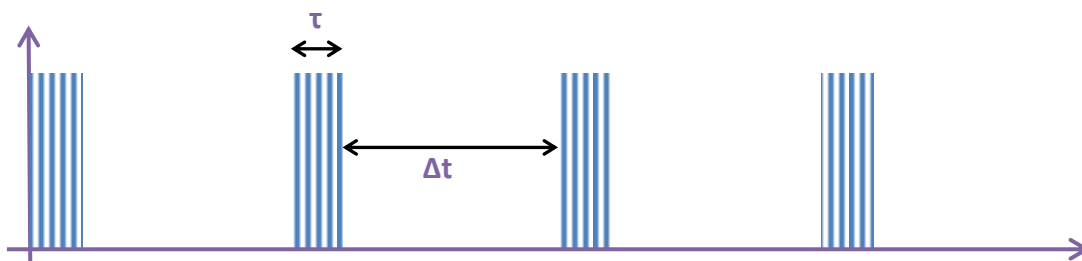
Le technicien a choisi un capteur de niveau à ultrasons, présenté dans le **document 2**, destiné à être placé au-dessus de la cuve de stockage.

Dans les conditions d'utilisation, les ultrasons se propagent à la célérité $v = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2.1. Les ondes ultrasonores sont des ondes mécaniques longitudinales. Que signifie l'expression « onde longitudinale » ?

Cela signifie que la déformation (ici le déplacement local des particules) est parallèle à la direction de propagation de l'onde.

2.2. Représenter, sans souci d'échelle, l'allure du signal émis par le capteur. Vous ferez apparaître la durée τ des salves et la durée Δt séparant deux salves.



2.3. À l'aide du **document 2**, exprimer la distance minimale du niveau du liquide d_{min} détectable par le capteur. Retrouver la valeur indiquée par le constructeur.

Au minimum, la fin de la salve doit correspondre à l'arrivée de l'écho. Donc τ correspond à la durée minimale d'un aller-retour de la salve.

La distance minimale parcourue par la salve est alors : $2 d_{\text{min}}$

$$d_{\min} = \frac{v \times \tau}{2} = \frac{340 \times 3.10^{-3}}{2} = 0,5 \text{ m} \quad (1 \text{ chiffre significatif puisque } \tau \text{ n'en a qu'un})$$

Cette valeur correspond à la donnée constructeur du document.

- 2.4. Compte tenu de la valeur maximale de la plage de mesure indiquée dans le **document 2**, quelle durée Δt doit séparer deux salves successives émises par le transducteur.

Δt correspond à la durée maximale d'un aller-retour de la salve.

$$\Delta t = \frac{2 \times d_{\max}}{v} = \frac{2 \times 15}{340} = 0,088 \text{ s} = 88 \text{ ms}$$

- 2.5. Pour vérifier la fiabilité du capteur, le technicien effectue une étude en laboratoire afin de déterminer la distance mesurée par le capteur pour une longueur de référence D.

Les résultats de ses mesures sont indiqués dans le **document 3**.

- 2.5.1. À partir de la série de mesures réalisées par le technicien reproduite dans le **document 3**, calculer la distance moyenne mesurée ainsi que son incertitude pour un intervalle de confiance de 95%. Écrire le résultat sous la forme $G = \bar{g} \pm U_g$.

D'après le document 3, on a :

$$\bar{D} = 2,9988 \text{ m et}$$

Pour 10 mesures avec un intervalle de confiance à 95% : $t_{\%} = 2,26$

$$U_D = t_{\%} \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} = 2,26 \frac{4,3 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{10}} = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Donc : $D = 2,999 \pm 0,003 \text{ m}$

- 2.5.2. Calculer l'incertitude relative correspondant à la mesure précédente et comparer avec les données du constructeur.

$$\frac{U_D}{\bar{D}} = \frac{0,003}{2,999} = 0,001 = 0,1\% \quad \text{ce qui est conforme à l'indication du constructeur qui annonce un écart inférieur à } 0,2 \text{ \%}.$$

Partie 3 : Deux utilisations du bioéthanol — Documents 4, 5, 6, 7 et 8

A. Synthèse d'un arôme

Une entreprise souhaite élargir sa gamme d'arômes en proposant un bonbon aromatisé à la groseille. Cet arôme artificiel est constitué d'un ester. Le benzoate d'éthyle, qui est préparé à partir d'éthanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ et d'acide benzoïque $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$.

Cette transformation est lente et limitée.

La réaction admet pour équation : $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} = \text{C}_6\text{H}_5\text{COOCH}_2\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

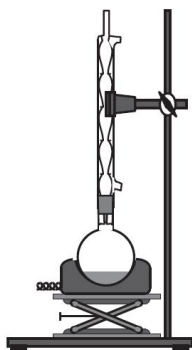
Pour tester la qualité du produit sur un échantillon, le technicien chargé de la synthèse, introduit dans un ballon un volume $V = 50 \text{ mL}$ d'éthanol. Une masse $m_a = 3,00 \text{ g}$ d'acide benzoïque et 1 mL d'acide sulfurique concentré commercial. On obtient, après transformation et purification, une masse $m_e = 2.25 \text{ g}$ d'ester.

Données :

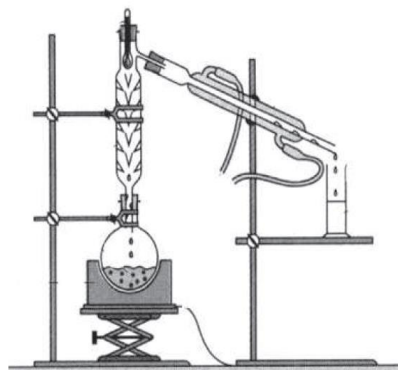
- Masses molaires :
 - de l'éthanol $M_{\text{ét}} = 46 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

- de l'acide benzoïque $M_{ab} = 122 \text{ g.mol}^{-1}$
- du benzoate d'éthyle $M_{be} = 150 \text{ g.mol}^{-1}$
- Masse volumique de l'éthanol : $\rho = 0,805 \text{ g.mL}^{-1}$
- Températures d'ébullition : $T_{éb}(\text{éthanol}) = 78^\circ\text{C}$; $T_{éb}(\text{benzoate d'éthyle}) = 212^\circ\text{C}$

3.1. Choisir parmi les deux montages présentés celui utilisé pour réaliser la synthèse. Préciser le rôle du chauffage.



Montage 1



Montage 2

Pour réaliser une synthèse, on utilise un montage à reflux (Montage 1).

Le chauffage permet d'accélérer la réaction.

3.2. Compléter le tableau d'avancement du document réponse en annexe à rendre avec la copie, de façon littérale. En déduire que l'éthanol a été introduit en excès.

Équation de la réaction		$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} = \text{C}_6\text{H}_5\text{COOCH}_2\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$			
Quantité de matière dans l'état initial (mol)	$x = 0$	$\frac{V \times \mu}{M_{\text{ét}}}$	$\frac{m_a}{M_{ab}}$	0	0
Quantité de matière dans l'état intermédiaire (mol)	x	$\frac{V \times \mu}{M_{\text{ét}}} - x$	$\frac{m_a}{M_{ab}} - x$	x	x
Quantité de matière dans l'état final théorique (mol)	$x = x_{\text{max}}$	$\frac{V \times \mu}{M_{\text{ét}}} - x_{\text{max}}$	$\frac{m_a}{M_{ab}} - x_{\text{max}}$	x_{max}	x_{max}

$$\text{Quantité d'éthanol introduite : } \frac{V \times \mu}{M_{\text{ét}}} = \frac{50 \times 0,805}{46} = 0,875 \text{ mol}$$

$$\text{Quantité d'acide benzoïque introduite : } n_a = \frac{m_a}{M_{ab}} = \frac{3,00}{122} = 2,46 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

La stœchiométrie de la réaction étant de 1 mole pour 1 mole, l'éthanol est bien en excès.

3.3. Quel est l'intérêt d'utiliser un excès d'alcool ?

L'excès d'un réactif permet de déplacer l'équilibre dans le sens de la formation du réactif voulu : on augmente le rendement de la synthèse.

3.4. Calculer le rendement de la réaction.

$$\text{On obtient } m_e = 2,25 \text{ g d'ester soit : } n_e = \frac{m_e}{M_{be}} = \frac{2,25}{150} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

Comme on a introduit $n_a = 2,46 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ d'acide benzoïque, on pourrait théoriquement obtenir,

au maximum, $n_{\text{emax}} = 2,46 \cdot 10^{-2}$ mol d'ester.

$$\eta = \frac{n_e}{n_{\text{emax}}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-2}}{2,46 \cdot 10^{-2}} = 0,61 = 61\%$$

Le produit obtenu est purifié et on vérifie sa composition par spectroscopie IR.

3.5. Donner l'unité de la grandeur portée en abscisse sur les spectres du **document 4**.

Il s'agit du nombre d'onde en cm^{-1} .

3.6. À l'aide du **document 4**, comment peut-on affirmer que l'on ne détecte plus d'éthanol dans le produit obtenu ? Justifier clairement la réponse.

La présence d'éthanol est détectée en spectroscopie IR par la présence de la bande large vers 3300 cm^{-1} due à la présence de la liaison OH.

Cette bande a totalement disparu dans le spectre du produit formé, il n'y a donc plus d'éthanol dans le produit obtenu.

Le mécanisme de la réaction est présenté dans le **document 5**.

3.7. Quel est le rôle des ions H^+ ? Justifier la réponse en utilisant le **document 5**.

Les ions H^+ sont des catalyseurs : ils sont consommés lors de l'étape n°1, mais sont régénéré lors de l'étape n°5. Ils n'apparaissent donc pas dans le bilan de la réaction.

3.8. Indiquer les types de réaction mises en jeu dans l'étape n°2 et l'étape n°4.

L'étape n°2 est une addition.

L'étape n°4 est une élimination.

B. Constituant d'un carburant

3.9. En s'aidant des **documents 6, 7 et 8**, répondre à la problématique suivante, en dix lignes maximum.

Par rapport à la filière de première génération, quels sont les progrès apportés par la production de bioéthanol de deuxième génération ?

La notation tiendra compte des arguments avancés et de la qualité de la rédaction.

Texte à mettre en forme à partir des informations données dans les documents :

Doc 6 :

La filière 1^{re} génération utilise des matières premières qui pourraient servir d'alimentation à l'homme ou au bétail. La filière 2^e génération utilise les déchets agricole ou forestier.

Doc 7 :

La culture des matières premières de la filière 1^{re} génération entraîne des menaces sur l'écosystème (engrais et production de gaz à effet de serre).

Doc 8 :

Par rapport à l'énergie fossile, les matières premières de la filière 1^{re} génération émettent moins de gaz à effet de serre. La baisse est encore plus importante avec l'utilisation de paille et de résidus forestiers.