

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Série : Sciences et Technologies de Laboratoire

**Spécialité : Sciences Physiques et Chimiques en
Laboratoire**

SESSION 2014

**Sous-épreuve écrite de sciences physiques et
chimiques en laboratoire**

MARDI 17 JUIN 2014

Coefficient de la sous-épreuve : 4

Ce sujet est prévu pour être traité en deux heures.

**Les sujets de CBSV et de sciences physiques et chimiques en
laboratoire seront traités sur des copies séparées.**

L'usage de la calculatrice est autorisé

Ce sujet comporte **10** pages.

La page **10** est à rendre avec la copie.

**Bioéthanol :
Procédé industriel de fabrication
et exemples d'utilisation**

Le sujet comporte trois parties indépendantes que le candidat peut traiter dans l'ordre de son choix.

PARTIE 1 : Étude de la colonne de distillation

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

PARTIE 2 : Mesure du niveau de liquide dans la cuve de stockage

PARTIE 3 : Deux utilisations du bioéthanol

- A. Synthèse d'un arôme
- B. Constituant d'un carburant

Les documents sont réunis en fin d'énoncé

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.

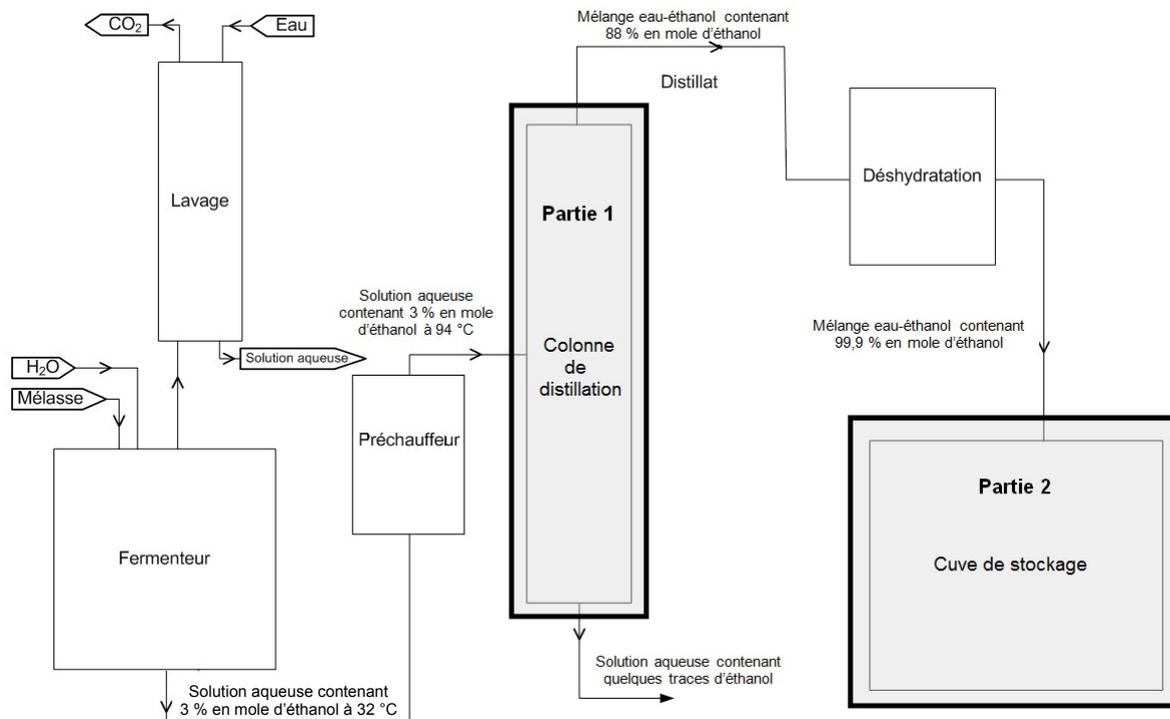


Figure 1 : Descriptif de l'installation

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.

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**.

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

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

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.

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 $P_c = -2,2 \cdot 10^5 \text{ W}$ (**document 1**). Interpréter le signe de ce résultat.

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

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 $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

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

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.

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.

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 $G = \bar{g} \pm U_g$.

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

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.

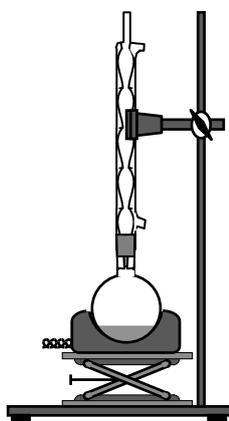
La réaction admet pour équation : $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} = \text{C}_6\text{H}_5\text{COOCH}_2\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

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.

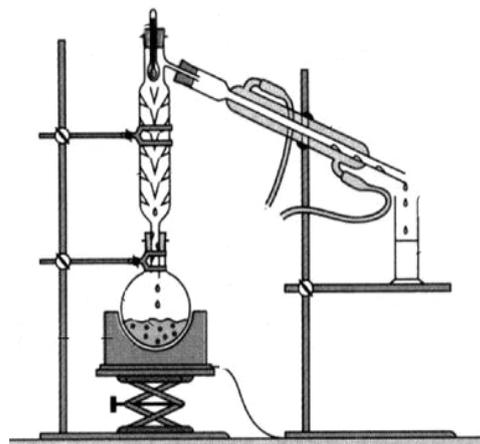
Données :

- Masses molaires :
 - de l'éthanol $M_{et} = 46 \text{ g.mol}^{-1}$
 - 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 : $\mu = 0,805 \text{ g.mL}^{-1}$
- Températures d'ébullition : $T_{eb}(\text{éthanol}) = 78^\circ\text{C}$; $T_{eb}(\text{benzoate d'éthyle}) = 212^\circ\text{C}$

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



Montage 1



Montage 2

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.

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

3.4. Calculer le rendement de la réaction.

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**.

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.

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**.

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

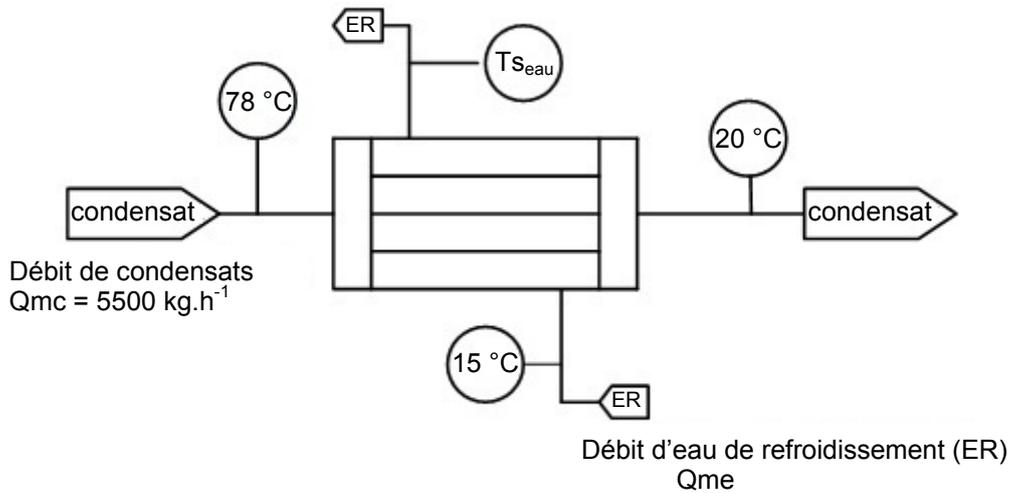
B. Constituant d'un carburant

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.

Document 1 : Schéma du réfrigérant



Données : Chaleur massique des condensats : $C_{p_c} = 2,51\text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.
Chaleur massique de l'eau : $C_{p_e} = 4,18\text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Document 2 : Principe de la mesure de niveau

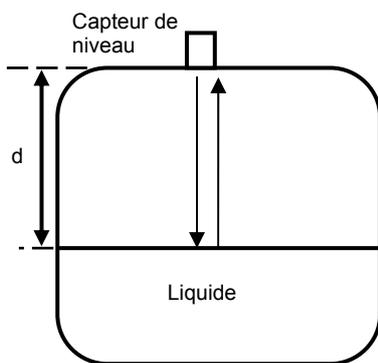


Schéma de l'installation de la cuve de stockage



Le VEGASON 63 est un capteur ultrasonique destiné à la mesure de niveau continue de liquide. Le capteur est un transducteur piézoélectrique fonctionnant successivement en émetteur et en récepteur.

Les applications classiques sont les mesures de niveau de liquides sur des cuves de stockage ou sur des bassins ouverts.

Le processus de mesure sans contact est indépendant des caractéristiques du produit et permet une mise en service même sans produit.

Fonction :

Le capteur émet vers le liquide de courtes salves ultrasoniques de durée $\tau = 3\text{ ms}$ et séparées d'une durée Δt . Les salves sont constituées d'impulsions de fréquence 40 kHz . Elles sont réfléchies par la surface du liquide et reçues par le capteur.

Caractéristiques techniques :

Plage de mesure dans les liquides : de $0,5\text{ m}$ à 15 m
Écart de mesure : $< 0,2\%$

Document 3 : Test du capteur de niveau

Valeurs de la distance D pour 10 mesures :

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D(m)	2,993	2,997	3,000	3,003	3,002	2,998	2,993	2,996	3,006	3,000

Valeur moyenne et incertitude.

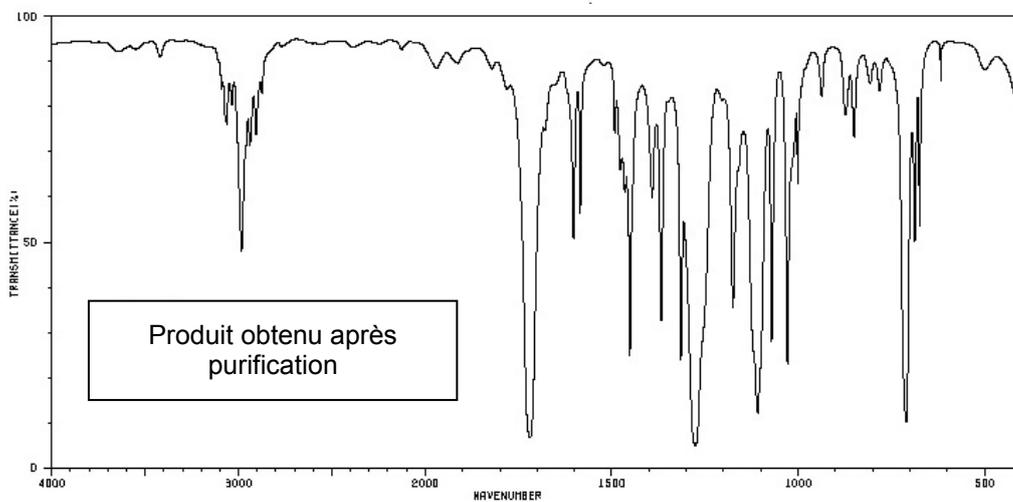
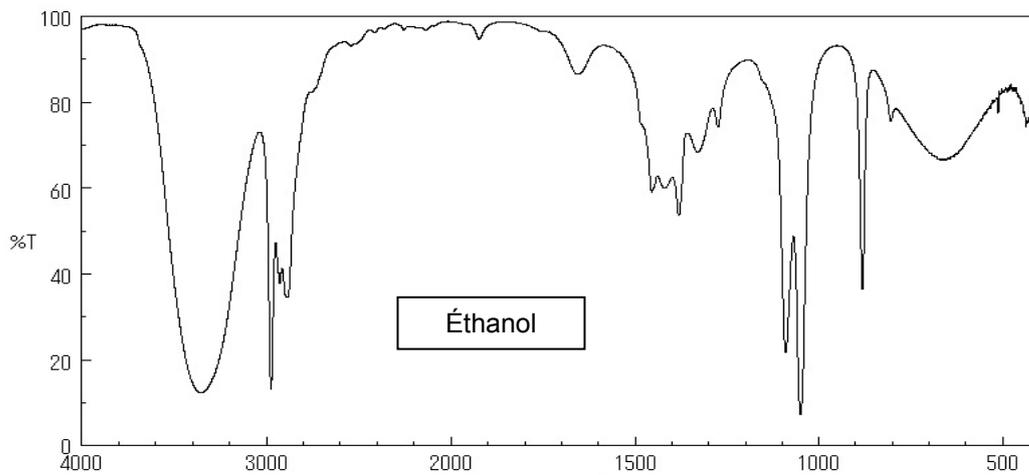
Résultat pour une grandeur G : $G = \bar{g} \pm U_g$

Calcul de l'incertitude U_g : $U_g = t_{\%} \cdot \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$

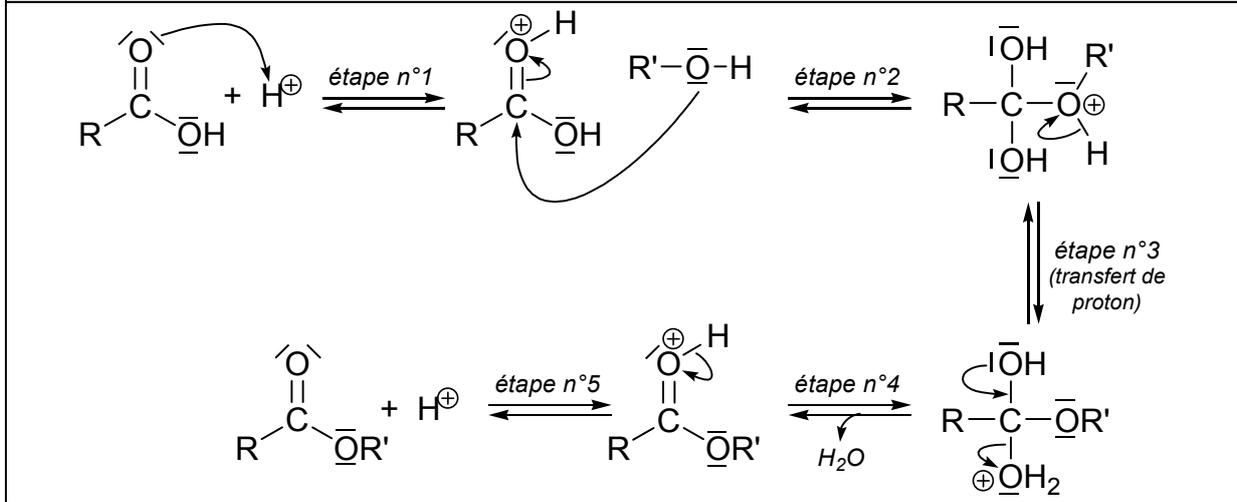
Avec : $t_{\%}$: coefficient de Student $\sigma_{n-1} = 4,3 \cdot 10^{-3}$ m
 n : nombre de mesures \bar{g} : valeur moyenne de G

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{95\%}$	12,7	4,3	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,31	2,26
$t_{99\%}$	63,7	9,93	5,84	4,60	4,03	3,71	3,50	3,36	3,25

Document 4 : Spectres IR

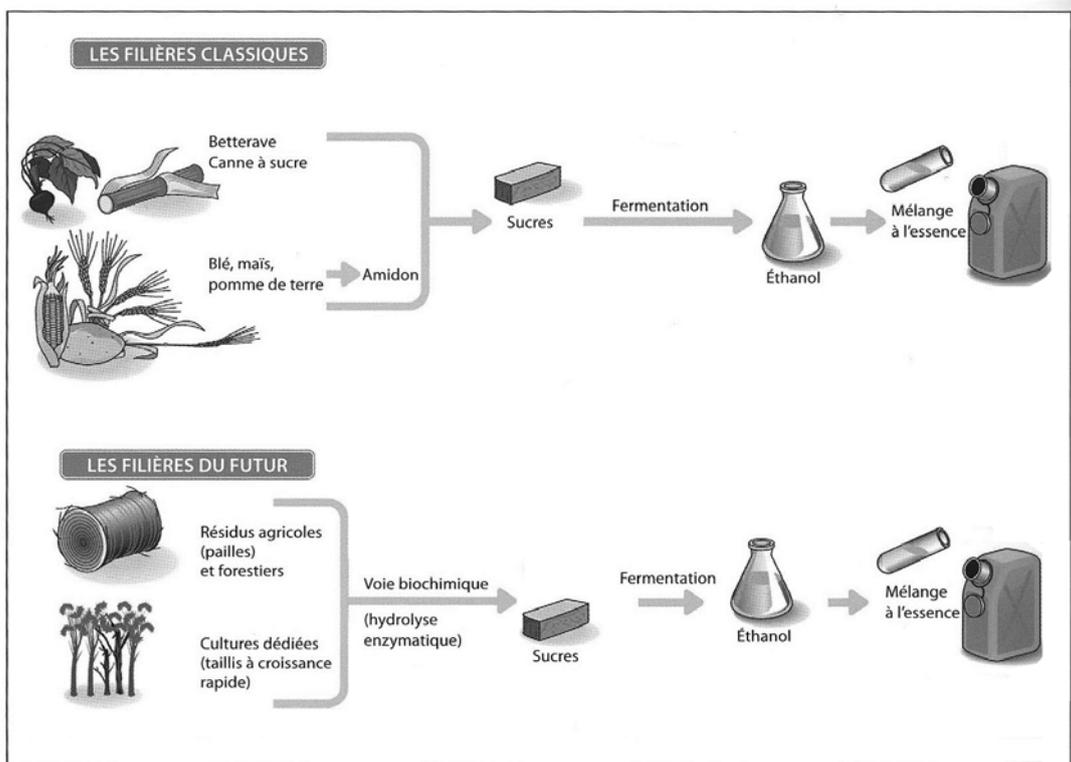


Document 5 : Mécanisme de la réaction d'estérification



Document 6 : Comparaison des filières classiques (première génération) et des filières du futur (deuxième génération)

Les végétaux peuvent remplacer le pétrole dans la majorité des processus de l'industrie chimique. Ils ont l'avantage d'être renouvelables et biodégradables.

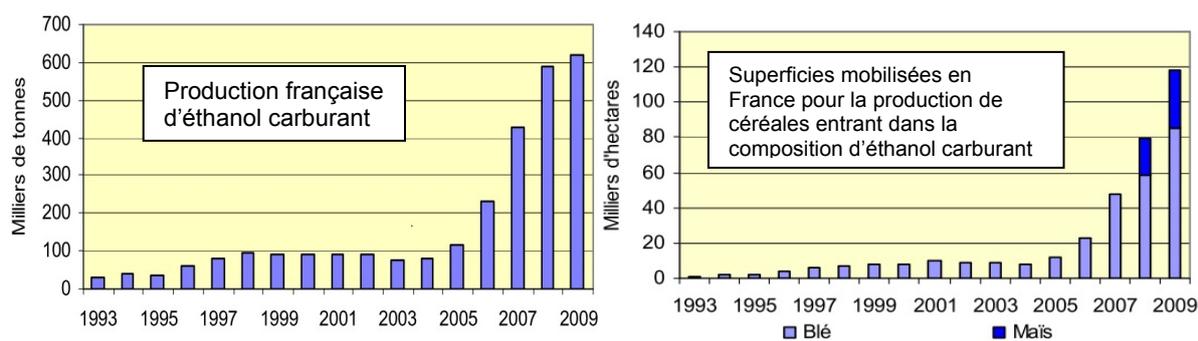


Extrait de chimie et enjeux énergétiques, edp sciences

Document 7 : Monopolisation des ressources en terres agricoles

La chimie du végétal doit rester vigilante. Les cultures déjà mises en place pour le bioéthanol à partir de cultures sucrières (betteraves, cannes à sucre) ou céréalière (maïs) sont sujettes à de vives critiques : des études récentes dénoncent la menace qu'elles font peser sur les forêts et écosystèmes naturels (...).

La culture intensive de céréales nécessite de grandes quantités d'engrais, qui induisent des rejets de N_2O . Ce gaz est trois cent fois plus nocif en termes d'effet de serre que le CO_2 .



Extrait d'un document de l'ADEME

Document 8 : Émission de gaz à effet de serre pour des carburants d'origine différente

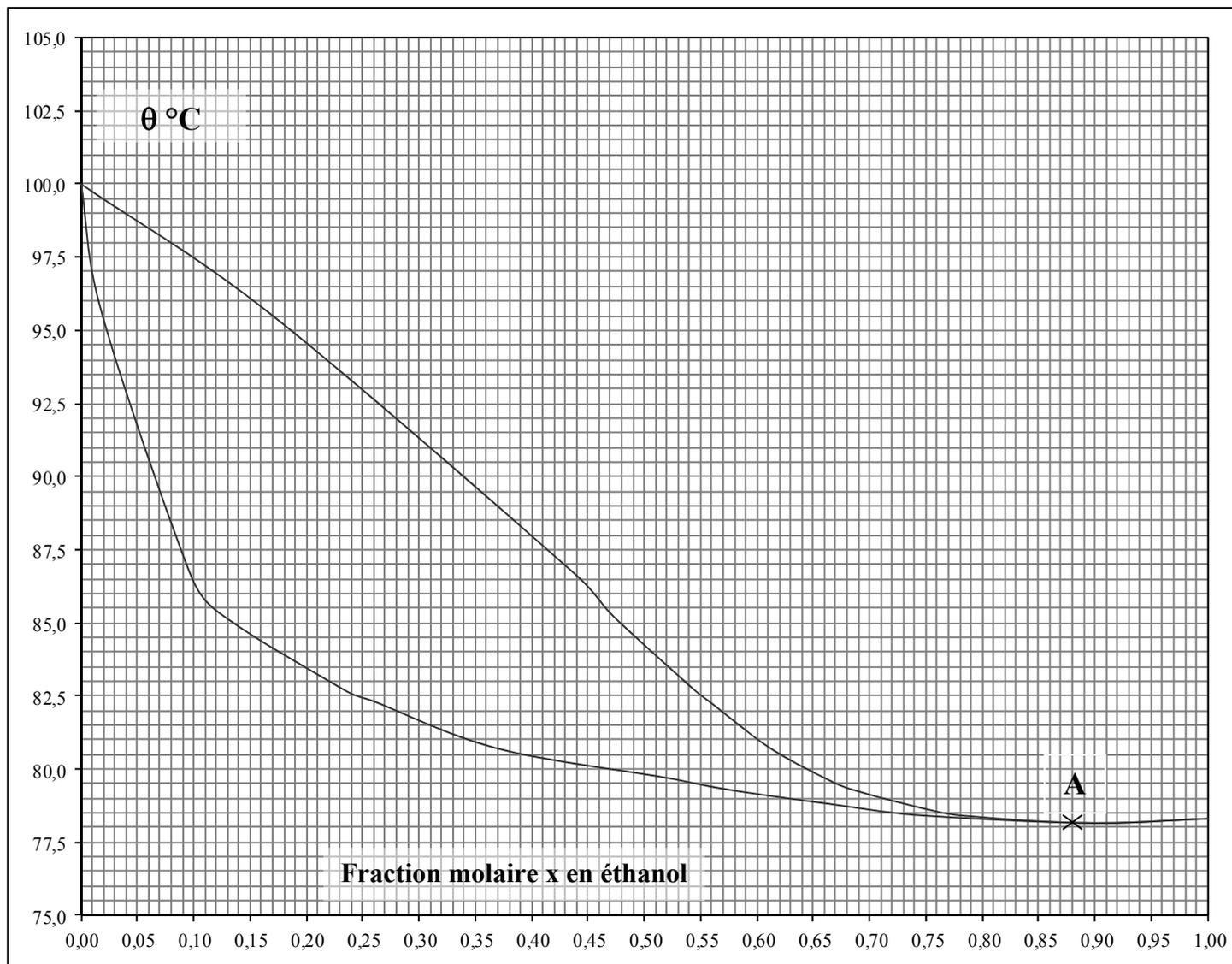
Origine	fossile	blé	betterave	paille de blé	résidus forestiers
Emission de gaz à effet de serre (en g CO_{2eq}/MJ)	87,8	69,4	40,3	9,2	22,8

*well-to-wheels⁽¹⁾ analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context
JRC technical reports 2013*

⁽¹⁾ du puits à la roue, c'est-à-dire de la production de la matière première jusqu'à son utilisation sous forme de carburant.

ANNEXE à rendre avec la copie

Document réponse : PARTIE 1-A
DIAGRAMME ISOBARE D'ÉQUILIBRE LIQUIDE-VAPEUR
DU SYSTÈME EAU-ÉTHANOL
 P = 1,013 bar



Document réponse : PARTIE 3-A

Tableau d'avancement de la réaction d'estérification
 Dans ce tableau, x représente l'avancement de la réaction

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)	$x = 0$				
Quantité de matière dans l'état intermédiaire (mol)	x				
Quantité de matière dans l'état final théorique (mol)	$x = x_{\text{max}}$				