

Séquence 3

CH5 Synthèses et environnement

Fiche liée à cette séquence :

- Fiche de synthèse Séquence 3
- Fiche extraction liquide-liquide

Activité 5 : Peut-on synthétiser efficacement un ester à température ambiante ?

L'industrie chimique est l'un des secteurs industriels les plus consommateurs d'énergie. Une part importante de cette énergie est utilisée pour chauffer les milieux réactionnels afin d'accélérer les transformations chimiques.

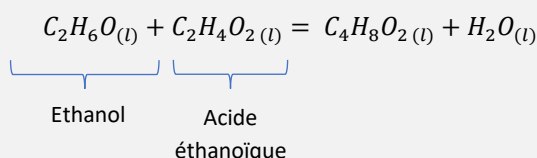
Dans le cadre de sa politique de développement durable, une entreprise spécialisée dans la fabrication d'arômes alimentaires souhaite réduire sa consommation énergétique sans dégrader sa production. Les ingénieurs du laboratoire ont testé trois protocoles permettant de synthétiser l'acétate d'éthyle, un ester utilisé comme solvant et comme composé odorant dans certaines formulations.

Le service « Développement durable » doit maintenant déterminer quel procédé présente le meilleur compromis entre efficacité de synthèse et consommation d'énergie.

DOCUMENT 1 : La réaction d'estérification

L'acétate d'éthyle peut être obtenu par réaction entre l'éthanol et l'acide éthanóïque.

L'équation de réaction est la suivante :



Données physico-chimiques :

Ethanol : $M = 46,1 \text{ g.mol}^{-1}$; $\rho = 0,79 \text{ g.mL}^{-1}$; prix : 1,20 €.L⁻¹

Acide éthanóïque : $M = 60,1 \text{ g.mol}^{-1}$; $\rho = 1,05 \text{ g.mL}^{-1}$; prix : 2,50 €.L⁻¹

Acétate d'éthyle : $M = 88,1 \text{ g.mol}^{-1}$

DOCUMENT 2 : Protocoles et résultats expérimentaux

PROTOCOLE A

Conditions expérimentales :

- 10,0 mL d'éthanol
- 9,8 mL d'acide éthanóïque
- 5 gouttes d'acide sulfurique concentré

Les réactifs sont placés dans un ballon et mis sous agitation magnétique à une température de 20 °C pendant 45 min.

A l'issue de la réaction :

Le milieu réactionnel est versé dans une ampoule à décanter contenant 20 mL de solution saturée en chlorure de sodium. Après agitation lente de l'ampoule, la phase aqueuse est éliminée. La phase organique est séchée sur sulfate de magnésium anhydre et isolée. La masse d'ester récupérée est alors de 1,8 g.

PROTOCOLE B

Conditions expérimentales :

- 10,0 mL d'éthanol
- 9,8 mL d'acide éthanóïque
- 5 gouttes d'acide sulfurique concentré

Le réactifs sont placés dans un ballon équipé d'un réfrigérant et mis sous agitation magnétique au reflux pendant 45 min. Après refroidissement, les mêmes opérations de purification sont réalisées. La masse d'ester récupérée est de 4,9 g.

PROTOCOLE C

Conditions expérimentales :

- 10,0 mL d'éthanol
- 19,0 mL d'acide éthanóïque
- 5 gouttes d'acide sulfurique concentré

Le réactifs sont placés dans un ballon équipé d'un réfrigérant et mis sous agitation magnétique au reflux pendant 45 min. Après refroidissement, Le milieu réactionnel est versé dans une ampoule à décanter contenant 20 mL de solution saturée en chlorure de sodium. Après agitation lente de l'ampoule, la phase aqueuse est éliminée. Plusieurs lavages avec une solution d'hydrogénocarbonate de sodium sont ensuite effectués. La phase organique est ensuite séchée puis isolée. La masse d'ester récupérée est de 6,2g

DOCUMENT 3 : consommation énergétique

Le protocole A a consommé 0,01 kWh et les protocoles B et C 0,70 kWh. L'entreprise réalise 50 000 synthèses par an et paye son électricité 0,18 €/kWh

1. Identifier les paramètres expérimentaux communs aux trois protocoles ainsi que ceux qui diffèrent.

Paramètres expérimentaux en commun : l'éthanol est introduit en même quantité, l'acide sulfurique est utilisé comme catalyseur, le temps de réaction est de 45 min, les produits sont purifiés par extraction, séchage et filtration.

Différences : le protocole A est réalisé à une température de 20 °C. Le protocole B a la même composition que le protocole A mais utilise un chauffage à reflux. Le protocole C indique un chauffage à reflux et le volume d'acide éthanóïque est doublé. Un lavage supplémentaire est nécessaire pour éliminer l'acide en excès.

2. Déterminer la masse maximale théorique d'acétate d'éthyle pouvant être obtenue.

$n(\text{éthanol}) = 0,171 \text{ mol}$, $n(\text{acide A et B}) = 0,171 \text{ mol}$, $m(\text{max acétate d'éthyle}) = 15,1 \text{ g}$. Dans le protocole C, l'éthanol est réactif limitant mais sa quantité de matière est de 0,171 mol, donc la masse d'acétate d'éthyle maximale est de 15,1 g.

3. Calculer le rendement pour chaque protocole.

rendement protocole A : $1,8/15,1 = 12 \%$

rendement protocole B : $4,9/15,1 = 33\%$

Rendement protocole C : l'éthanol est réactif limitant mais m(max acetate d'éthyle) reste identique $\rightarrow 6,2/15,1 = 41\%$

4. Le responsable de production affirme que le protocole C est le meilleur car il permet d'obtenir la plus grande quantité d'ester. Etes-vous d'accord avec cette affirmation ? Rédiger une réponse argumentée.

On détermine le coût énergétique pour chaque protocole :

Protocole A : $E = 0,01 \times 50\,000 = 500 \text{ kWh}$ soit $500 \times 0,18 = 90 \text{ €}$

Protocole B et C : 6300 €

Coût matières premières protocoles A et B

Ethanol : $0,01 \times 1,20 = 0,012 \text{ €}$

Acide : $0,0098 \times 2,50 = 0,0245 \text{ €}$

Total : 0,0365 € soit environ 0,037 €

Coût annuel : $0,037 \times 50\,000 = 1850 \text{ €}$

Coût protocole C :

Acide : $0,019 \times 2,50 = 0,0475 \text{ €}$

Ethanol : 0,012 €

Total : 0,0595 €

Coût annuel : 2975 €

Coût Total annuel

A : $1850 + 90 = 1940 \text{ €}$

B : $1850 + 6300 = 8150 \text{ €}$

C : $2975 + 6300 = 9275 \text{ €}$

Le protocole C permet d'obtenir la plus grande quantité d'acétate d'éthyle, mais c'est également le procédé le plus coûteux. Par rapport au protocole B, il nécessite environ 1125 € de matières premières supplémentaires par an, sans réduire la consommation énergétique.

Le protocole A est le moins coûteux (1940 € par an), mais son rendement est trop faible pour être retenu dans une production industrielle.

Le protocole B apparaît comme le meilleur compromis. Il permet d'obtenir un rendement nettement supérieur au protocole A tout en limitant la consommation de matières premières par rapport au protocole C. Son coût total annuel est inférieur d'environ 1125 € à celui du protocole C, tout en présentant une consommation énergétique identique.