

BTS CHIMISTE
BTS blanc
2005/06 ENCPB
GÉNIE CHIMIQUE

Durée : 3 h

Coefficient : 3

Calculatrice autorisée

FABRICATION EN CONTINU DU PROPANOL-2 (ISOPROPANOL)
PROCEDE DEUTSCHE TEXACO

1 - PRINCIPE

L'isopropanol est obtenu par réaction entre l'eau et le propène en présence de catalyseur constitué d'une résine échangeuse d'ions acide, suivant la réaction:



L'opération a lieu à une température comprise entre 130 et 150 °C et sous une pression de 100 bars. Dans ces conditions le mélange est dans un état supercritique.

Pour éviter les réactions parasites de polymérisation on travaille avec un très gros excès d'eau. Le taux de conversion du propène est alors de 75 %.

On utilise du propène à 95 % de pureté, le reste étant du propane.

On doit utiliser de l'eau de procédé déminéralisée.

Les produits gazeux (propane et propène) sont séparés des produits condensables (eau et isopropanol) par refroidissement et détente dans des chambres de flash.

Les gaz sont traités pour récupérer le propène en vue de son recyclage.

La phase liquide est neutralisée par une solution aqueuse de soude diluée avant d'être envoyée vers une série de colonnes de distillation permettant:

- d'éliminer les impuretés légères
- d'éliminer l'eau pour la déminéraliser et la recycler dans le procédé
- récupérer l'isopropanol pur.

2 - DESCRIPTION DU PROCEDE

2 -1 - Alimentation en réactifs

Le propène liquide sous 10 bars est envoyé à débit constant dans le réacteur **K** après préchauffage dans l'échangeur à faisceau tubulaire **E₁**. Ceci permet de récupérer la chaleur en refroidissant le mélange eau-isopropanol sortant du séparateur **S₁**.

*L'échangeur **E₁** est dimensionné de façon à ce que le propène sorte à environ 130 °C.*

L'eau déminéralisée, disponible sous pression ordinaire, est envoyée à débit constant dans le réacteur **K** après avoir été préchauffée d'abord dans l'échangeur à plaques **E₂**, puis à 130 °C dans un échangeur à faisceau tubulaire **E₃** chauffé à la vapeur d'eau sous pression.

L'échangeur **E₂** permet de récupérer de la chaleur tout en refroidissant encore plus le mélange eau-isopropanol sortant de **E₁**.

2 - 2 - Réaction

Le réacteur **K** est un cylindre vertical contenant 4 couches de résine échangeuse d'ions supportées par des grilles et séparées par des zones de pulvérisation d'eau froide.

Les réactifs entrent à 130 °C par le haut du réacteur. La réaction exothermique entraînant une augmentation de la température, on pulvérise de l'eau déminéralisée froide entre chaque couche de catalyseur pour ramener la température à 130 °C avant passage dans la couche suivante. *Il y a donc 3 injections d'eau froide.*

Le réacteur fonctionne sous 100 bars. La régulation de pression se fait sur la sortie des gaz vers le cyclone **S₁**.

2 - 3 - Séparation des phases liquide et gazeuse

Les gaz sortant du réacteur **K** sont envoyés dans le cyclone **S₁** fonctionnant sous 20 bars de façon à y être flashés à 140 °C. On obtient ainsi une phase liquide essentiellement constituée d'eau et d'isopropanol et une phase gazeuse essentiellement constituée de propène et de propane.

La sortie de la phase gazeuse permet de réguler la pression à 10 bars dans **S₁**. Les gaz évacués sont repris par un compresseur centrifuge **C** pour être envoyés à un traitement de séparation des différents constituants.

Le mélange eau-isopropanol sortant de **S₁** est d'abord refroidi dans l'échangeur à faisceau tubulaire **E₁** servant à préchauffer le propène, puis refroidi à 50 °C dans l'échangeur à plaques **E₂** servant à préchauffer l'eau déminéralisée. Il est ensuite envoyé dans un cyclone **S₂** fonctionnant sous 4 bars de façon à y être flashé une deuxième fois à 50 °C.

La phase gazeuse constituée de propane et de propène (qui était dissous dans le liquide) est également envoyée au compresseur **C** de façon à maintenir la pression à 4 bars dans la chambre de flash.

La phase liquide sortant de **S₂** est refroidie à 25 °C dans un échangeur à plaques **E₄** refroidi à l'eau puis envoyée dans un bac tampon **R**.

3 - SCHEMA

A l'aide de la **schémathèque 2004** et du descriptif précédent (partie 2 en entier), représenter sur papier quadrillé 5x5 le schéma de cette fabrication.

On inclura tous les éléments de sécurité, robinetterie, accessoires et régulations nécessaires à son fonctionnement correct.

4 - ETUDE THEORIQUE DU PROCEDE

4 - 1 - Etude qualitative

4 - 1 - 1 - Quel est l'intérêt de travailler sous pression pour cette réaction équilibrée?

4 - 1 - 2 - Cette réaction exothermique étant favorisée par une basse température, comment justifiez vous cette température assez élevée

4 - 1 - 3 - Pourquoi utilise-t-on un fort excès d'eau?

4 - 1 - 4 - Pourquoi l'eau et l'isopropanol se retrouvent-ils essentiellement sous forme liquide dans les chambres de flash?

4 - 1 - 5 - Comment et dans quelles conditions pourrait-on séparer le propane et le propène?

Données: Températures d'ébullition en °C sous différentes pressions

	Propène	Propane	Isopropanol	Eau
P = 1 bar	- 47,7	- 42	82,5	100
P = 5 bars	- 4,8	+ 1,4	130	152,4
P = 10 bars	19,8	26,9	156	180
P = 20 bars	49,5	85	186	213

4 - 2 - Etude du pompage de l'eau déminéralisée

L'eau déminéralisée ($\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$) est envoyée d'un bac à niveau constant sous 1 bar dans le réacteur fonctionnant sous 100 bars par une canalisation de 45 mm de diamètre débouchant à 20 m de hauteur par rapport au niveau du bac. Le débit est de 5,2 kg/s

Les pertes de charge sont données par J (en m de liquide) = $1,5 * U^2$ où U est la vitesse en m/s

4 - 2 - 1 - Quel type de pompe faut-il utiliser? Justifier.

4 - 2 - 2 - Calculer la hauteur manométrique totale nécessaire

- A quel % de cette hauteur correspond le passage de l'eau de 1 bar à 100 bar?

4 - 2 - 3 - Calculer la puissance électrique à fournir sachant que le rendement du moteur est de 80 % et celui de la pompe est de 75 %.

4 - 2 - 4 - Calculer le coût annuel de fonctionnement sachant qu'un kWh coûte 0,1 Euro
On donne $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

4 - 3 - Etude du réacteur

On injecte dans le réacteur 16 mol/s d'un mélange propane- propène à 95 % mol de propène et à 130 °C et 200 mol/s d'eau déminéralisée également à 130 °C.

Le taux de conversion du propène est de 75 %. Le propane est inerte

On injecte en plus 0,9 kg/s d'eau froide à 20 °C dans **K** pour le refroidissement direct entre les couches de catalyseur.

4 - 3 - 1 - Calculer le débit massique de mélange entrant dans le réacteur

4 - 3 - 2 - Calculer les débits molaires de propène et d'eau consommés par la réaction, et d'isopropanol formé par la réaction.

4 - 3 - 3 - Calculer les débits massiques des constituants du mélange sortant du réacteur

4 - 3 - 4 - Calculer la puissance thermique dégagée par la réaction en kW

4 - 3 - 5 - A l'aide d'un bilan enthalpique calculer la température à la sortie du réacteur

Données:

Masses molaires en g/mol : Eau:18 Propène: 42 Propane: 44 Isopropanol : 60

Enthalpies en kJ/kg :

$h_{\text{eau}} \text{ à } 20 \text{ °C} = 80$ $h_{\text{eau}} \text{ à } 130 \text{ °C} = 520$ $h_{\text{hydrocarbures}} \text{ à } 130 \text{ °C} = 260$ $h_{\text{gaz sortie}} = 3,5 * t$ avec t en °C

4 - 4 - Etude du faisceau tubulaire E₁

Par suites de pertes par évaporation dans la première chambre de flash, on ne sort que 4,8 kg/s d'un liquide à 13 % masse d'isopropanol. Ce mélange à 149 °C sert à préchauffer dans **E₁** 0,6736 kg/s de mélange propane-propène de 20°C à 130 °C avant son injection dans le réacteur. Le mélange propane-propène passe dans les tubes.

4 - 4 - 1 - Calculer la température de sortie du mélange eau-isopropanol

4 - 4 - 2 - Calculer la surface d'échange

4 - 4 - 3 - Calculer le nombre de tubes de 12 mm de diamètre et de 3 m de long

4 - 4 - 4 - Calculer la vitesse de circulation du mélange dans les tubes

4 - 4 - 5 - Un échangeur à plaques serait il mieux adapté?

Données:

C_p en $\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$: Mélange propane-propène: 2 Liquide à 13,6 % d'isopropanol: 3,5

Coefficient global d'échange en $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$:

Faisceau tubulaire: 500 Echangeur à plaques: 3000

Masse volumique du propène liquide: 700 kg.m^{-3}