

# BTS CHIMISTE

## GÉNIE CHIMIQUE

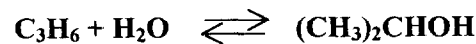
Durée : 3 h

Coefficient : 3

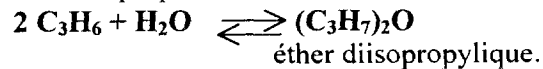
Calculatrice autorisée

**FABRICATION DU PROPAN-2-OL**
*Procédé continu**Les parties 1 et 2 sont indépendantes, les annexes 1, 2, 3 et 4 sont à rendre avec la copie.*

Le propan-2-ol est obtenu par hydratation du propène selon la réaction :



Une réaction secondaire se produit entre l'eau et le propène conduisant à l'obtention d'éther diisopropylique :

Cette petite unité de fabrication comprend essentiellement un réacteur, un atelier de séparation et une boucle de recyclage (voir schéma de principe, **annexe 1, page 4/7**)**1. LE REACTEUR**

Au point ②, le propène d'appoint contenant toujours un peu de propane est alimenté à un débit molaire  $Q_1 = 150 \text{ mol.h}^{-1}$ , le débit d'eau  $Q_3$  est égal à  $2100 \text{ mol.h}^{-1}$ . Le titre molaire en eau du mélange vaut  $x_3 = 0,9321$ . Le débit molaire total de propène  $Q_7$  (propène recyclé + propène d'appoint) à l'entrée du réacteur est de  $2260 \text{ mol.h}^{-1}$ .

Au point ① le rapport molaire  $\frac{Q_9}{Q_8}$  est égal à 6,45.

Au niveau du recyclage, point ④ le rapport molaire  $\frac{Q_4}{Q_6} = 49,0$

Le taux de conversion total du propène au niveau du réacteur (entre les points ① et ③) est de 5,9 % et le débit molaire en éther diisopropylique est de  $1 \text{ mol.h}^{-1}$ .

**1.1.** À l'aide des données fournies, compléter les tableaux de l'**annexe 1** (page 4/7, à rendre avec la copie) ; le détail des calculs sera fourni dans la copie.

**1.2.** Calculer le rendement en propan-2-ol au niveau du réacteur.

**1.3.** Calculer le taux de recyclage  $\tau_R$  ( $\tau_R = \frac{\text{propène recyclé}}{\text{propène d'appoint}}$ ).

## 2. L'ATELIER DE SEPARATION (voir annexe 2, page 5/7)

Le mélange réactionnel (point ③) est dirigé vers un atelier de séparation où le propane, le propène et un peu d'eau sont en partie recyclés. Le reste est évacué au niveau de la purge qui permet de maintenir constant les débits et les compositions aux différents points de la boucle.

Le mélange constitué d'éther diisopropylique, de propan-2-ol et d'eau est envoyé dans une première colonne de rectification (D1)

En tête, on récupère un mélange d'éther diisopropylique, d'eau et de propan-2-ol ; en pied, on obtient de l'eau et du propan-2-ol. Le résidu de cette première colonne alimente une seconde où, en tête, on récupère un mélange proche de la composition homoazéotrope et, en pied, de l'eau avec des traces de propan-2-ol.

### On s'intéresse à la colonne (D2)

Utiliser les données fournies dans l'annexe 2 (page 5/7, à compléter et à rendre la copie) ; on indique par ailleurs que l'on récupère en tête de colonne 98,6 % (en masse) du propan-2-ol introduit dans la colonne D2.

#### 2.1. Bilan matière

Tous les titres demandés (molaires ou massiques) sont relatifs au propan-2-ol.

2.1.1. Calculer les titres massiques  $w_D$  et  $w_A$  ainsi que le débit de distillat  $F_D$ .

2.1.2. Calculer le débit de résidu  $F_B$ .

2.1.3. Calculer le titre massique  $w_B$  et molaire  $x_B$  du résidu.

$$M_{\text{propan-2-ol}} = 60 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$M_{\text{eau}} = 18 \text{ g.mol}^{-1}$$

#### 2.2. Bilan thermique au niveau du condenseur E1 (échangeur faisceau tubulaire)

2.2.1. Sachant que le taux de reflux est égal à 1, montrer que le débit de vapeur  $V$  en tête de colonne est égal à  $19,74 \text{ kg.h}^{-1}$ .

2.2.2. Calculer la puissance thermique à évacuer au condenseur.

2.2.3. Calculer le débit d'eau ( $Q_{vE}$ ) en  $\text{L.h}^{-1}$  nécessaire sachant que l'eau subit une élévation de température de  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2.2.4. Calculer le nombre ( $n$ ) de tubes constituant l'échangeur.

#### Données :

- chaleur latente de vaporisation du mélange en tête de colonne  $L_v = 885 \text{ kJ.kg}^{-1}$ .
- température d'ébullition du mélange :  $80 \text{ }^\circ\text{C}$
- capacité thermique de l'eau  $C_p = 4,18 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ .
- température d'entrée d'eau de refroidissement  $\theta_e = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$
- longueur des tubes  $L = 1,0 \text{ m}$ .
- diamètre des tubes  $D = 1,0 \text{ cm}$ .
- coefficient global d'échange thermique de l'échangeur  $U_s = 320 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ .

### 2.3. Détermination du nombre de plateaux théoriques de la colonne.

*Cette étude sera réalisée sur les annexes 3 et 4, à rendre avec la copie.*

On se propose de déterminer, par la méthode de Mac Cabe et Thiele, le nombre d'étages théoriques nécessaires pour réaliser cette séparation.

Une partie du diagramme d'équilibre  $y = f(x)$  pour les mélanges eau – propan-2-ol est donnée en **annexe 3** (page 6/7).

$y$  : titre molaire (phase vapeur) en propan-2-ol.

$x$  : titre molaire (phase liquide) en propan-2-ol.

On donne l'équation de la droite opératoire d'enrichissement :  $y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1}$  ;  $R$  est le taux de reflux.

On note :

- $x_D$  : titre molaire du distillat
- $x_A$  : titre molaire de l'alimentation.
- $x_B$  : titre molaire au niveau de bouilleur.
- $\theta_A$  : température à laquelle le mélange est alimenté.

Rappels :

- le titre molaire en propan-2-ol du résidu,  $x_B$ , est égal à 0,001 ;
- le taux de reflux est égal à 1.

**2.3.1.** À l'aide du diagramme isobare (**annexe 4, page 7/7, à rendre avec la copie**) déterminer la température  $\theta_A$  d'alimentation sachant que le mélange est alimenté à sa température d'ébullition.

**2.3.2.** À l'aide de la construction de Mac Cabe et Thiele (**annexe 3, page 6/7, à rendre avec la copie**), déterminer le nombre d'équilibres théoriques (NET) nécessaire à la séparation.

**2.3.3.** Calculer le nombre ( $N$ ) de plateaux théoriques de la colonne.

### 3. SCHÉMA (à réaliser à l'aide des normes fournies)

Le schéma de fabrication demandé sera réalisé sur le support fourni (fiche bristol format A4 quadrillée 5x5). Représenter le schéma de procédé de la colonne **D1** en indiquant toutes les mesures, régulations et sécurités nécessaires, en tenant compte notamment des indications ci-dessous.

Le mélange d'éther diisopropylique, de propan-2-ol et d'eau, stocké dans un bac tampon **R** (à ne pas représenter) est véhiculé par pompe centrifuge à un débit constant dans un échangeur à faisceau tubulaire où il est préchauffé à une température proche de son point d'ébullition avant d'être introduit au milieu de la colonne à garnissage **D1**.

La colonne, dont la pression différentielle est maintenue constante, est équipée d'un bouilleur externe monté en thermosiphon constitué d'un échangeur faisceau tubulaire vertical chauffé par de la vapeur.

En tête, les vapeurs sont condensées dans un échangeur faisceau tubulaire horizontal à l'extérieur des tubes. Le condensat est récupéré dans un pot de recette. À la sortie de ce pot de recette, une partie du liquide assure le reflux (débit contrôlé), l'autre constitue le distillat qui est dirigé, après refroidissement, vers un bac de stockage en attente d'un traitement ultérieur.

Le résidu est envoyé, après refroidissement, vers un bac tampon (à ne pas représenter) en attente de rectification dans **D2**.

Fluides dont dispose l'atelier : Vapeur basse pression  
Eau de refroidissement

Caractéristiques des produits : Éther diisopropylique et propan-2-ol : inflammables