

## ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

Toute documentation permise  
Calculatrice : modèles autorisés seulement  
Durée de l'examen : 3 heures

### Examen 16-CH-A2 Opérations unitaires et procédés de séparation

Cet examen comporte 5 questions.

| Questions   | Pondération       |
|---|-------------------|
| 1. Séparation d'un mélange binaire                  | 20 points         |
| 2. Absorption du CO <sub>2</sub>                    | 15 points         |
| 3. Étude d'un réseau hydraulique                    | 25 points         |
| 4. Questions en rafale sur les opérations unitaires | 20 points         |
| 5. Séchage de comprimés                             | 20 points         |
| <b>Total</b>  | <b>100 points</b> |

## 1. Séparation d'un mélange binaire (20 points)

Vous désirez séparer un mélange formé de phénol et d'éthylbenzène à l'aide d'une distillation binaire. Le mélange à séparer contient 55% molaire de phénol et 45% molaire d'éthylbenzène et possède un débit de 13 kmol/h.

L'alimentation se fait au point de bulle et le taux de reflux correspond à 1.8 fois le taux de reflux minimum. On désire obtenir un distillat contenant 90% d'éthylbenzène et un résidu contenant 5% d'éthylbenzène. Une efficacité globale de 73% a été calculée précédemment. L'unité de distillation comprend un condenseur total et un rebouilleur partiel. La courbe d'équilibre du mélange phénol/éthylbenzène est présentée ci-dessous.

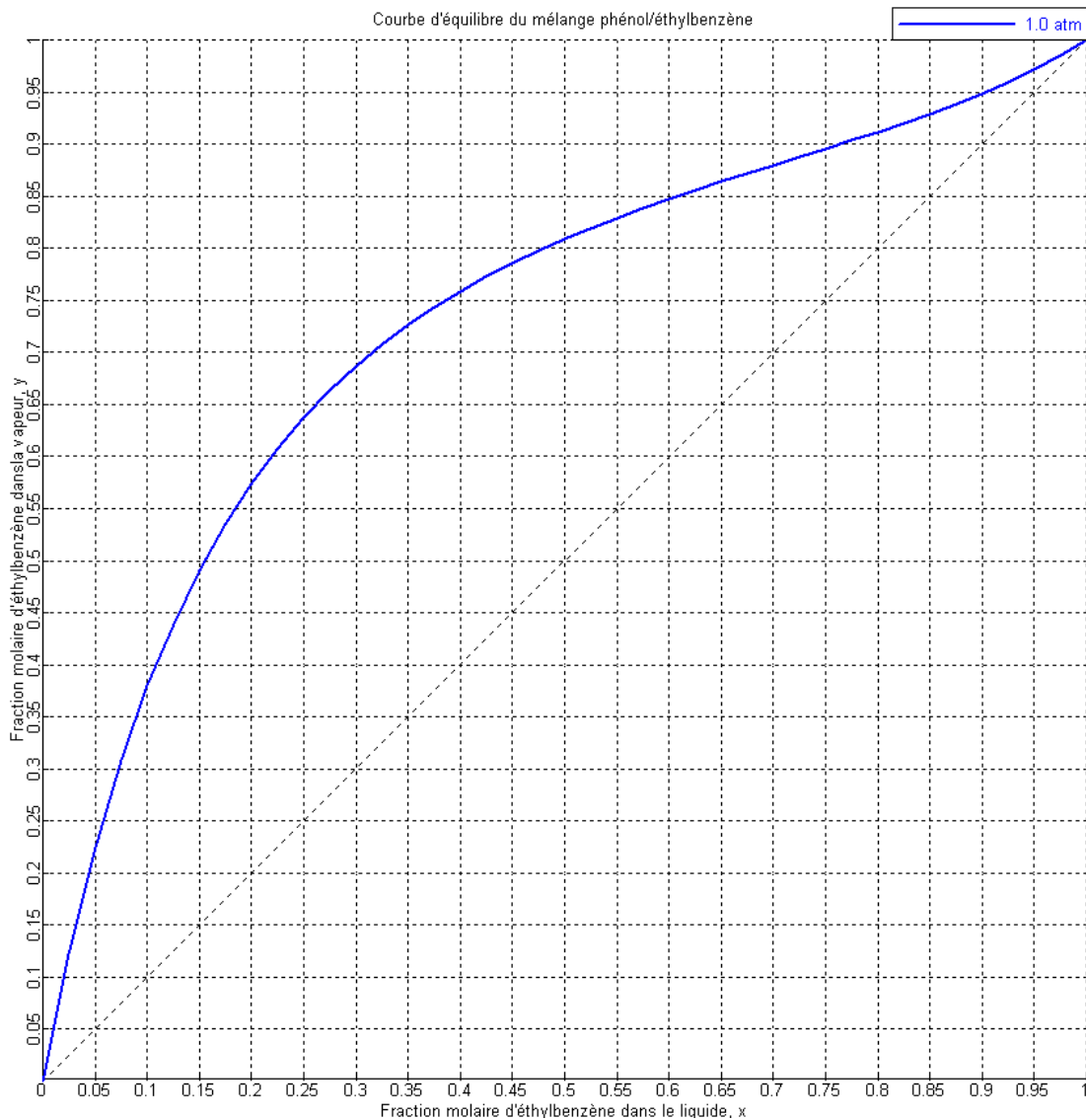


Figure 1 – Courbe d'équilibre du mélange phénol/éthylbenzène

**INSÉREZ CETTE PAGE DANS VOTRE CAHIER DE RÉPONSES.**

Pour ce mélange binaire, on vous demande de déterminer :

- A) les débits de distillat et de résidu (kmol/h). **(3 points)**
- B) le taux de reflux minimal,  $R_{\min}$ . **(3 points)**
- C) le taux de reflux,  $R$ . **(2 points)**
- D) le nombre de plateaux théoriques de la colonne à distiller. **(3 points)**
- E) la position optimale de l'alimentation. **(2 points)**
- F) le nombre de plateaux réels. **(2 points)**
- G) la composition des courants liquide et vapeur sortant du plateau de tête de la colonne. **(3 points)**
- H) Advenant le cas où le débit de vapeur serait trop important, quel problème pourrait survenir dans la colonne ? **(2 points)**

## 2. Absorption du $\text{CO}_2$ (15 points)

On vous demande de concevoir une colonne à garnissage pour absorber le  $\text{CO}_2$  d'un courant d'air à l'aide d'une solution de NaOH diluée. Cette solution ne contient aucun  $\text{CO}_2$  à l'entrée de la colonne. Le courant d'air contient 3% molaire de  $\text{CO}_2$  et on désire récupérer 97% molaire du  $\text{CO}_2$ . Le débit de gaz est de 150 kmol/min à  $60^\circ\text{C}$ , 1 atm. On utilisera un débit de solution de NaOH correspondant à 1.4 fois le débit minimum.

On peut représenter la courbe d'équilibre par l'équation suivante :  $Y^* = 1,5 X$ .

Déterminez :

- A) Le débit ( $L'$ ) de solution de NaOH alimenté à la colonne. **(8 points)**
- B) Le nombre d'unités de transfert ( $N_{OG}$ ) requis. **(7 points)**

### 3. Étude d'un réseau hydraulique (25 points)

Vous êtes responsable de la conception d'un réseau hydraulique représenté ci-dessous. Ce réseau permet de transporter de l'eau à 20°C entre deux réservoirs. À cette température, la tension de vapeur de l'eau est de 2336,8 Pa et sa viscosité est de 0,001 Pa.s.

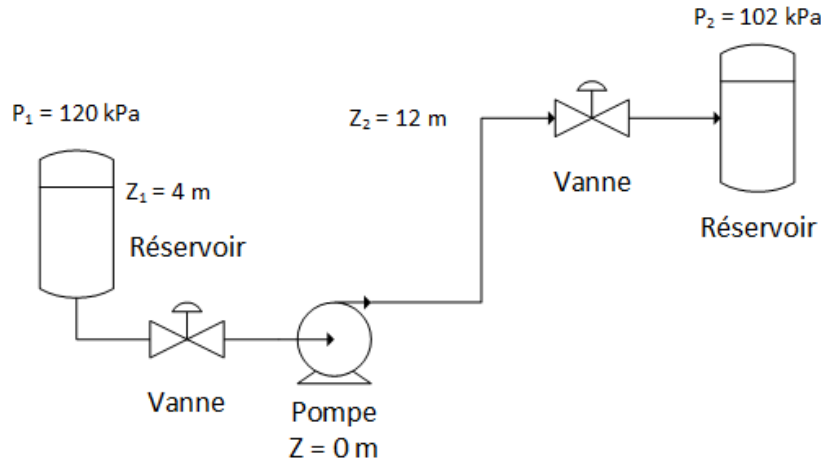


Figure 2 – Réseau hydraulique

Informations sur le réseau hydraulique :

| Aspiration de la pompe             | Refoulement de la pompe                  |
|------------------------------------|--|
| L = 17 m (tuyauterie)              | L = 42 m (tuyauterie)                    |
| d <sub>conduite</sub> = 150 mm     | d <sub>conduite</sub> = 150 mm           |
| 1 coude 90°, K = 0,24              | 2 coudes 90°, K = 0,24                   |
| Vanne Globe, L <sub>eq</sub> = 4 m | Vanne Globe, L <sub>eq</sub> = 4 m       |
|                                    | Vanne Swing check, L <sub>eq</sub> = 4 m |

- Calculez le nombre de Reynolds dans la conduite si l'on doit pomper un débit d'eau de 7200 m<sup>3</sup>/jour. **(7 points)**
- Calculez la charge développée ( $\Delta H$  en mètres) que devrait avoir la pompe en assumant que le facteur de friction dans les conduites vaut  $f_m = 0,016$ . **(8 points)**
- Calculez la valeur du NPSHA en mètres. **(10 points)**

#### 4. Questions en rafale sur les opérations unitaires (20 points)

- A) Un mélange équimolaire benzène/toluène doit être alimenté à son point de bulle à un réacteur opérant à 2 atmosphères. On utilise donc un échangeur de chaleur afin d'augmenter la température du mélange. Cet échangeur est en mesure de réchauffer le mélange jusqu'à un maximum de 100°C. Vérifiez si le point de bulle du mélange aux conditions d'alimentation du réacteur correspond à une température supérieure ou inférieure à 100°C. (6 points)

Données :

Les tensions de vapeur du benzène (B) et toluène (T) à 100°C sont :

$$P_s(B) = 1350 \text{ mm Hg}$$

$$P_s(T) = 556 \text{ mm Hg}$$

- B) Soit le réseau hydraulique présenté à la figure suivante. Le NPSHR de la pompe centrifuge (Pompe 01) est de 3 m. Après calculs, vous établissez une valeur de NPSH de 2 m. Déterminez si chacun des énoncés ci-dessous est VRAI ou FAUX et justifiez votre réponse. (8 points)

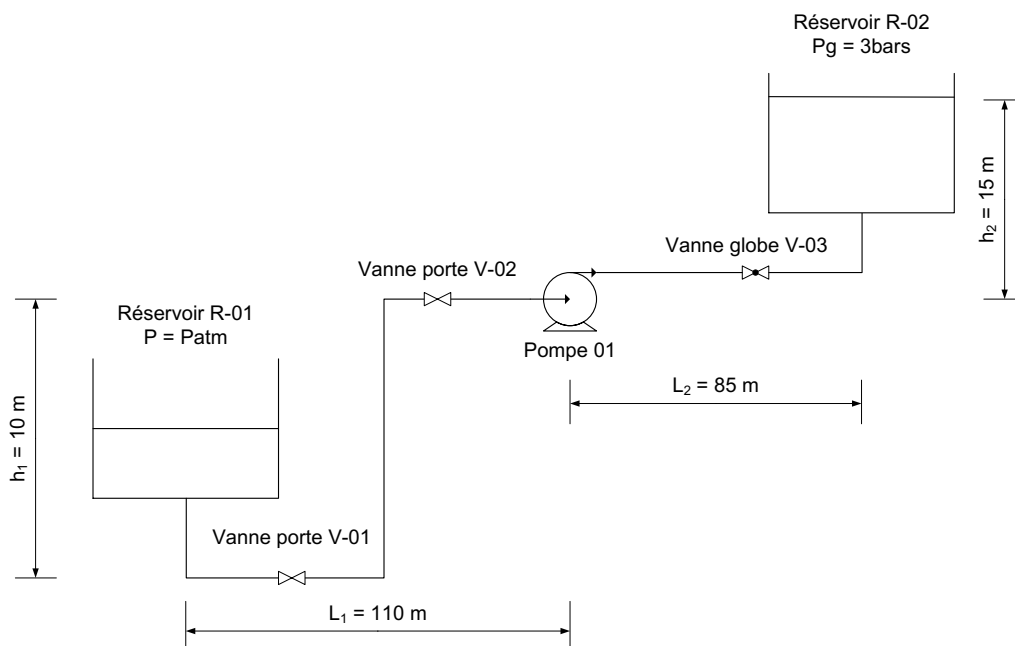
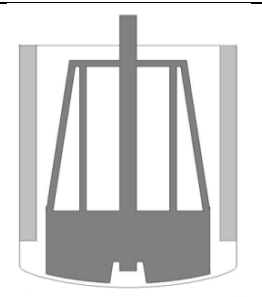


Figure 3 – Réseau hydraulique

- i. La pompe ne subira pas de cavitation.
- ii. Surélever le réservoir (R-01) par rapport à la pompe permettra d'augmenter la valeur du NPSH.
- iii. Augmenter la perte de charge dans la conduite d'aspiration (conduite et singularités) permettra d'augmenter la valeur du NPSH.
- iv. Surélever le réservoir (R-02) par rapport à la pompe permettra d'augmenter la valeur du NPSH.

C) Un agitateur Maxblend de 75 cm de diamètre (D) est disponible pour agiter un fluide non newtonien présentant un comportement rhéologique de loi de puissance ( $\eta = m\dot{\gamma}^{n-1}$ ). Dans la fiche technique de cet agitateur, vous trouvez la valeur de  $K_p = 300$ . En supposant un régime d'écoulement laminaire, donnez une expression de la puissance requise en fonction de la vitesse de rotation (N). Bien poser vos hypothèses et présenter les calculs. **(6 points)**

| Fluide A                             |  |
|--------------------------------------|---|
| $m = 10 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n$ |   |
| $n = 0,6$                            |   |
| $\rho = 1350 \text{ kg/m}^3$         |   |
| $K_s = 50$                           |   |

## 5. Séchage de comprimés (20 points)

Un séchoir fonctionne en continu afin d'assécher des comprimés. Son rendement est constant à 42,3 kg d'eau éliminé des comprimés par heure. À l'entrée du séchoir, l'air est à 40 °C. À la sortie du séchoir, le débit d'air est de 1 m³/s, son volume humide est de 0,848 m³/kg d'air sec, l'air est à 20 °C et 90% H.R. Quelle est l'humidité relative de l'air à l'entrée du séchoir ?

*Une charte psychrométrique se trouve à la page suivante.*

