

## TRANSPORT DES LIQUIDES

Données:  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$   
Si la pression atmosphérique n'est pas indiquée, on prendra  $P_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$ .

### 1. Colonne barométrique.

Après distillation sous pression réduite, on récupère du benzène dans un pot de recette sous une pression effective de **- 0,8 bars**. Calculer la pression absolue dans le pot de recette.

On veut soutirer le benzène à l'aide d'une colonne barométrique.

Faire un schéma du dispositif, et calculer la hauteur nécessaire de cette colonne.

On donne: masse volumique du benzène:  $878 \text{ kg.m}^{-3}$ .

2. On utilise un **monte-jus** pour élever du benzène d'une capacité A à une capacité B respirant à l'air libre. La dénivellation, supposée constante, est de 4,50 m; la pression atmosphérique est de 1,013 bar; la masse volumique du benzène est de  $878 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Calculer la pression minimale à exercer dans la capacité A pour que  $1 \text{ m}^3$  de benzène soit transvasé en 2 minutes, le diamètre de la canalisation étant de 6 cm. On négligera les pertes de charge.

3. On considère une canalisation horizontale comportant un **rétrécissement**: le diamètre en A vaut 5,0 cm, et en B 3,0 cm. Le débit d'eau dans la canalisation est de  $12 \text{ m}^3/\text{h}$ . On donne la masse volumique de l'eau:  $1000 \text{ kg.m}^{-3}$ .

a. Calculer la vitesse de déplacement du liquide au point A, puis au point B.

b. La pression statique en A est de 1,5 bar; quelle est la pression statique en B ? On néglige les pertes de charge.

4. Un **tube de Venturi** placé sur une canalisation transportant de l'eau présente les caractéristiques suivantes:

$$D = 175 \text{ mm}; d = 100 \text{ mm}.$$

On mesure une différence de pression:  $\Delta P = 0,100 \text{ bar}$ .

Calculer, en  $\text{m}^3/\text{h}$ , le débit d'eau dans la canalisation. Masse volumique de l'eau:  $1000 \text{ kg.m}^{-3}$ .

### Fluides réels; pertes de charge.

5. Calculer les pertes de charge dans une canalisation de longueur 40 m, comportant 6 coudes, 3 vannes, et un échangeur thermique. Les pertes de charge sont de 5 cm de liquide par mètre de canalisation et de 2 mètres de liquide dans l'échangeur. Chaque coude équivaut à 2 m de canalisation; chaque vanne à 5 m de canalisation.

### 6. Régime d'écoulement.

De l'eau s'écoule avec un débit de  **$100 \text{ m}^3/\text{h}$**  dans une canalisation circulaire de diamètre **200 mm**.

Déterminer son régime d'écoulement.

Données: Viscosité dynamique de l'eau:  $10^{-3} \text{ Pa.s}$

Masse volumique de l'eau:  $1000 \text{ kg.m}^{-3}$ .

### 7. Pompage.

Une pompe est utilisée pour amener de l'eau, à raison de  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ , d'un réservoir au sol respirant à l'air libre à une chaudière fonctionnant sous une pression absolue de 6 bar.

La dénivellation est supposée constante, égale à 10 m.

La canalisation a une longueur de 40 mètres; son diamètre est de 5 cm.

Le circuit comporte 3 coudes, un échangeur thermique, 4 vannes, 1 clapet.

Les pertes de charge en ligne sont de 5 cm d'eau par mètre de canalisation.

Les pertes de charge singulières sont:

- longueur de canalisation équivalente à un coude: 2 m
- longueur de canalisation équivalente à une vanne: 0,5 m
- longueur de canalisation équivalente à un clapet: 6 m
- perte de charge dans l'échangeur: 2 mètres d'eau.

**On demande de déterminer:**

- les pertes de charge dans le circuit;
- la hauteur manométrique totale nécessaire (sans négliger la vitesse d'arrivée dans la chaudière);
- la puissance absorbée par la pompe si son rendement est égal à 0,85.

Donnée: Masse volumique de l'eau:  $1000 \text{ kg.m}^{-3}$ .

## DISTILLATION : SEPARATION DES CONSTITUANTS D'UN MELANGE BENZENE-TOLUENE

On veut séparer les constituants d'un mélange benzène-toluène à 35 % en masse de benzène. Pour cela, on prévoit une distillation en continu avec une colonne à plateaux. L'alimentation se fait à la température d'ébullition commençante du mélange.

On rappelle que le benzène et le toluène sont des composés inflammables et toxiques.

### **DESCRIPTION DE L'INSTALLATION. SCHEMA.**

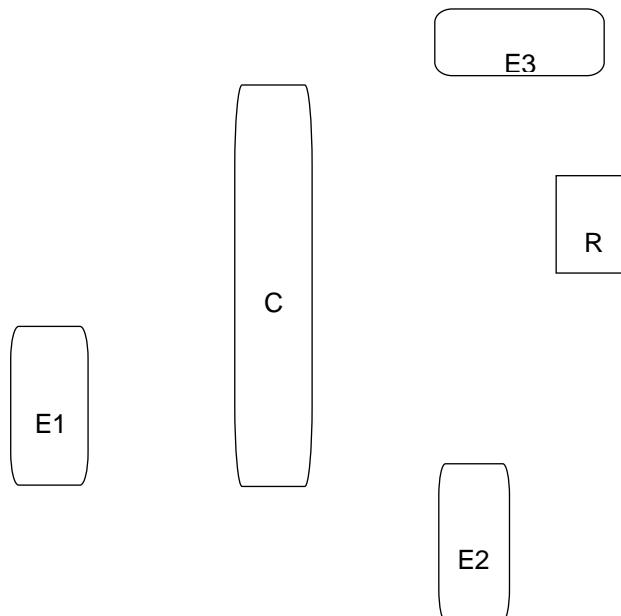
Le mélange benzène-toluène est injecté à débit constant par une pompe doseuse au tiers inférieur d'une colonne à plateaux **C**, après préchauffage dans un échangeur tubulaire vertical **E1** chauffé par de la vapeur saturante 6 bars; la température d'alimentation dans la colonne doit être constante.

Le pied de colonne est chauffé par un échangeur tubulaire vertical **E2**, monté en thermosiphon, et chauffé par de la vapeur 6 bars. Le débit de vapeur est tel que la perte de charge (différence de pression, ou encore "pression différentielle") entre le premier et le troisième plateau soit constante. Le lourd obtenu est soutiré par une pompe centrifuge en maintenant constant le niveau en pied de colonne, avant d'être refroidi et stocké (ne pas représenter refroidissement et stockage).

En tête de colonne, les vapeurs sont dirigées vers un échangeur tubulaire horizontal **E3** pour y être condensées par circulation d'eau froide à un débit tel que la température de sortie des condensats soit constante. Les condensats sont recueillis dans un pot de recette **R** à niveau constant, sous pression atmosphérique, d'où une partie est reprise par pompe centrifuge et renvoyée, à débit constant, en tête de colonne: c'est le reflux; l'autre partie est soutirée par gravité, avant d'être refroidie et stockée (ne pas représenter refroidissement et stockage).

Schématiser l'installation en format A4, en y plaçant les appareils de contrôle et de sécurité nécessaires.

### **Mise en page:**



### **EXERCICE**

#### **I. Tracé du diagramme isobare d'un mélange benzène-toluène.**

Une étude expérimentale préliminaire, sous pression atmosphérique normale, sur divers mélanges benzène-toluène a donné les résultats suivants, avec:

$w_l$  = titre massique en benzène du mélange liquide

$\theta_{eb}$  = température d'ébullition commençante du mélange

$w_v$  = titre massique en benzène des vapeurs émises

w <sub>l</sub> (en %)	0	10	20	40	60	80	90	100
θ <sub>eb</sub> (°C)	110,6	105,3	100,9	93,9	88,5	84,0	82,3	80,5
w <sub>v</sub> (en %)	0	20,8	37,4	61,7	79,0	90,9	95,7	100

1. Calculer les fractions molaires en benzène (notées respectivement **x** et **y**) des mélanges liquides et des vapeurs émises.
2. Tracer soigneusement, sur papier millimétré, les courbes isobares d'ébullition et de rosée du mélange benzène-toluène. Echelles: **x, y** : 1 cm = 0,1 ; **θ** : 1 cm = 2°C.
3. Déterminer graphiquement la température d'alimentation de la colonne. Quelle est la composition des vapeurs émises par le mélange d'alimentation?

## II. Fonctionnement de la colonne à reflux total.

1. A l'aide des courbes isobares, déterminer la température et la composition des phases liquide et vapeur sur les deux plateaux situés immédiatement au-dessus de l'alimentation.
2. a. Tracer le diagramme d'équilibre liquide-vapeur **y = f(x)** des mélanges benzène-toluène. Echelles: pour **x** et **y** : 1 cm = 0,1  
b. En tête de colonne, on obtient un mélange titrant 98 % (molaire) en benzène, et en pied un résidu titrant 98 % (molaire) en toluène.  
En déduire le nombre de plateaux théoriques de la colonne par la méthode de Mac Cabe et Thiele.

## III. Rectification à taux de reflux fini.

On effectue maintenant une distillation en continu du même mélange (à 35% en masse de benzène), avec un taux de reflux égal à 4. Le débit d'alimentation est de 500 kg.h<sup>-1</sup>. La colonne est supposée comporter suffisamment de plateaux pour obtenir en tête et en pied de colonne des produits pratiquement purs.

1. Calculer les débits massiques de benzène soutiré en tête de colonne et de toluène soutiré en pied de colonne.
2. Calculer le débit massique de benzène condensé en tête de colonne.
3. Calculer le débit volumique d'eau de refroidissement au condenseur, l'eau entrant à 10°C et ressortant à 26°C. On admettra que le benzène n'est pas refroidi au niveau du condenseur.
4. Calculer la surface d'échange du condenseur. On utilisera la moyenne logarithmique des différences de températures.
5. Calculer le nombre de tubes de 1,20 m de long et de 2 cm de diamètre composant l'échangeur.

### Données techniques:

Toluène: masse molaire = 92 g.mol<sup>-1</sup>

Benzène: masse molaire = 78 g.mol<sup>-1</sup>

Chaleur latente de vaporisation = 385 kJ.kg<sup>-1</sup>

Eau: masse volumique = 1000 kg.m<sup>-3</sup>

capacité thermique massique = 4,18 kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>

Condenseur: coefficient global de transfert thermique = 800 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>

Moyenne logarithmique des différences de températures: 
$$\Delta\theta_m = \frac{\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2}{\ln \frac{\Delta\theta_1}{\Delta\theta_2}}$$