

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2017

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

16-CH-A2 Opérations unitaires et procédés de séparation

Cet examen comporte 6 questions.

Questions	Pondération	Note obtenue
1. Distillation binaire	20 points	
2. Absorption d'alcool dans l'eau	15 points	
3. Pompage	25 points	
4. Sédimentation	15 points	
5. Questions rapides	10 points	
6. Perte de charge dans une colonne garnie	15 points	
Total	100 points	

1. Distillation binaire (20 points)

L'alimentation d'une colonne à distiller 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.

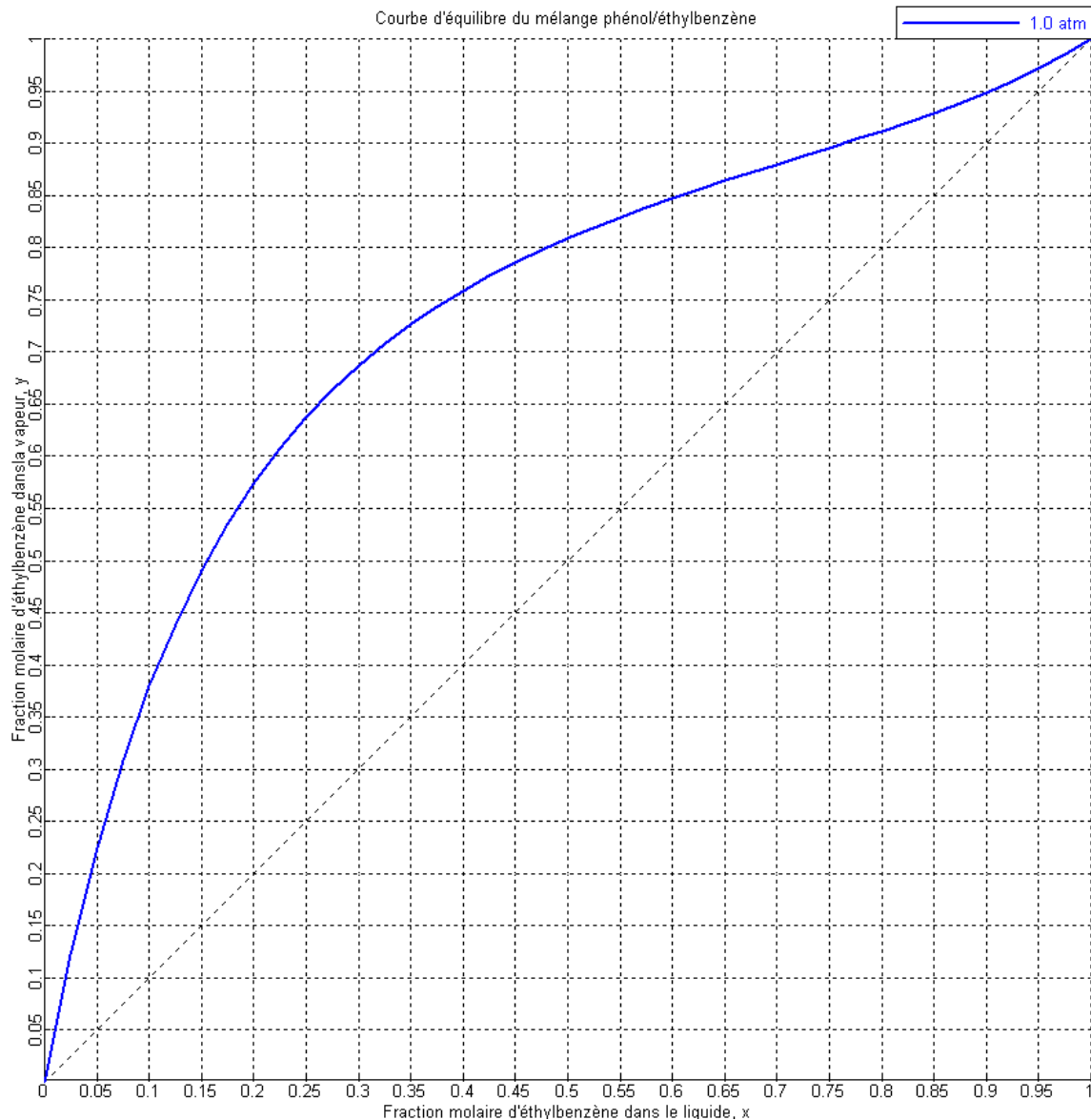


Figure 1 – Courbe d'équilibre du mélange phénol/éthylbenzène

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

2. Absorption d'alcool dans l'eau (15 points)

Les équations suivantes représentent respectivement la droite opératoire d'une colonne d'absorption et la droite d'équilibre de l'absorption d'un alcool dans l'eau. Un schéma de la colonne est présenté ci-dessous. Déterminez le rapport molaire de l'alcool dans l'eau qui quitte l'étage 2 (X_2).

$$Y_{N+1} = 0.0006 + 0.8288X_N$$

$$Y = \frac{0.57X}{1 + 0.43X}$$

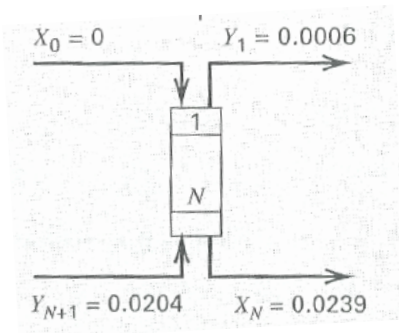


Figure 2 – Schéma de la colonne d'absorption

3. Pompage (25 points)

À partir du réseau hydraulique représenté ci-dessous :

- Calculez le nombre de Reynolds dans la conduite si l'on doit pomper un débit d'eau de $7200 \text{ m}^3/\text{jour}$.
- Calculez la charge développée (ΔH) que devrait avoir la pompe en assumant que le facteur de friction dans les conduites vaut $f_m = 0,016$.
- Calculez la valeur du NPSHA en mètres.

La tension de vapeur de l'eau à 20°C est de $2336,8 \text{ Pa}$ et sa viscosité est de $0,001 \text{ Pa.s}$.

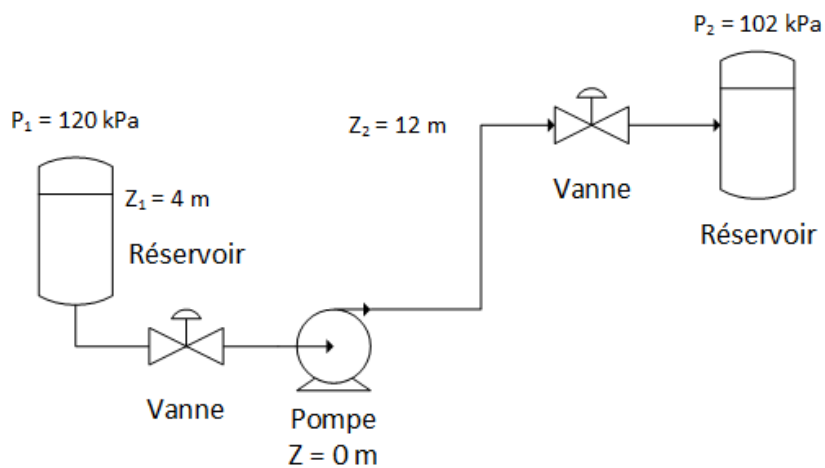


Figure 3 – Réseau hydraulique

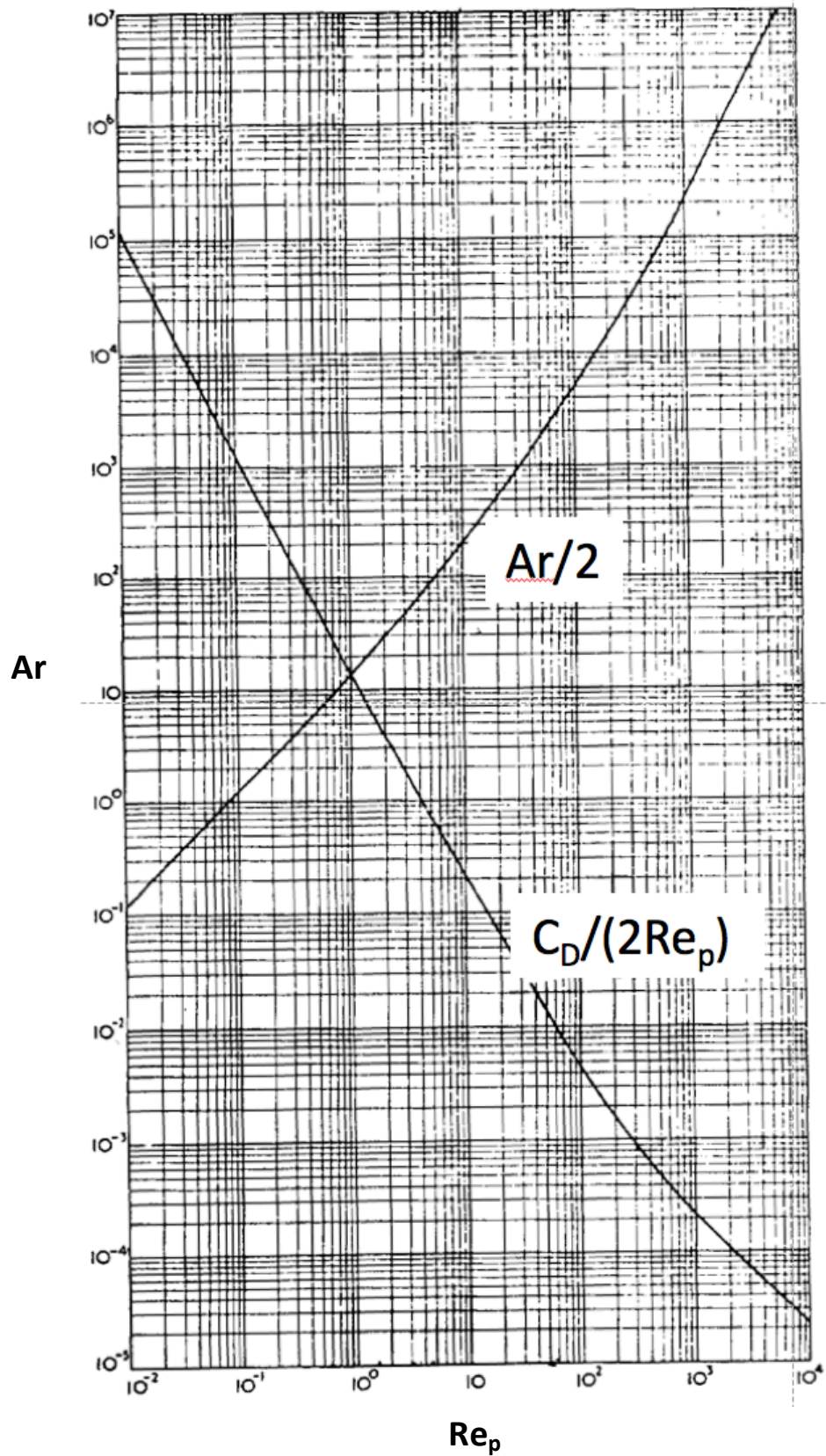
Informations sur le réseau hydraulique :

Aspiration	Refoulement
$L = 17 \text{ m}$ (tuyauterie)	$L = 42 \text{ m}$ (tuyauterie)
$d_{\text{conduite}} = 150 \text{ mm}$	$d_{\text{conduite}} = 150 \text{ mm}$
1 coude 90° , $K = 0,24$	2 coudes 90° , $K = 0,24$
Vanne Globe, $L_{\text{eq}} = 4 \text{ m}$	Vanne Globe, $L_{\text{eq}} = 4 \text{ m}$
	Vanne swing check, $L_{\text{eq}} = 4 \text{ m}$

4. Sédimentation (15 points)

Calculez la vitesse terminale de chute de gouttes sphériques d'une substance inconnue dans l'air. Les gouttes ont un diamètre de 400 μm et sont en chute libre dans l'air. La densité des gouttes est de 1,03 et l'air est à une température de 149°C. La viscosité de l'air est de $2,3 \times 10^{-5}$ Pa.s. Vous pouvez utiliser le graphe de la page suivante pour vous aider.

Note : $Ar = \frac{4D_p^3}{3\mu^2}(\rho_p - \rho)\rho g$ est le nombre d'Archimède et Re_p est le nombre de Reynolds particulaire pour des particules ayant atteint leur vitesse terminale de chute.



Graphe de Ar vs Re_p pour la sédimentation de particules sphériques

5. Questions rapides (10 points)

- I. Lequel des énoncés suivants est exact pour l'écoulement en régime laminaire d'un liquide dans une conduite de rugosité inconnue ? Expliquez votre réponse.
- A) La transition de l'écoulement en régime laminaire vers un régime turbulent s'effectue lorsque le nombre de Reynolds vaut 210.
 - B) Le facteur de friction diminue lorsque le nombre de Reynolds augmente.
 - C) Le facteur de friction dépend de la rugosité relative.
 - D) Le facteur de friction est indépendant de la vitesse.
- II. La perte de charge dans une conduite de 6 pouces (ID = 6,065 po) de longueur L est de 1 psi avec un écoulement dans la région hautement turbulente. Si le même liquide s'écoule avec le même débit volumique dans une conduite de 3 pouces (ID = 3,068 po) de longueur L , la perte de charge (psi) est d'environ :
- A) 0,033
 - B) 2,0
 - C) 7,7
 - D) 30

Expliquez votre réponse.

6. Perte de charge dans une colonne garnie (15 points)

Une colonne garnie est utilisée pour retirer l'acétone (C_3H_6O) d'un courant d'air avec de l'eau pure. Le débit de gaz est de 3,78 kg/s et sa masse volumique est de 0,0909 lb/ft³. La masse volumique du liquide est de 62,4 lb/ft³.

Du garnissage Intalox d'un pouce ($F_p = 32 \text{ ft}^{-1}$) est utilisé dans cette colonne. La conception de la colonne est faite pour assurer une perte de charge de 1,0 po d'eau par pied de garnissage. Pour un débit d'eau de 4,69 kg/s, calculez la vitesse du gaz (ft/s) dans la colonne.

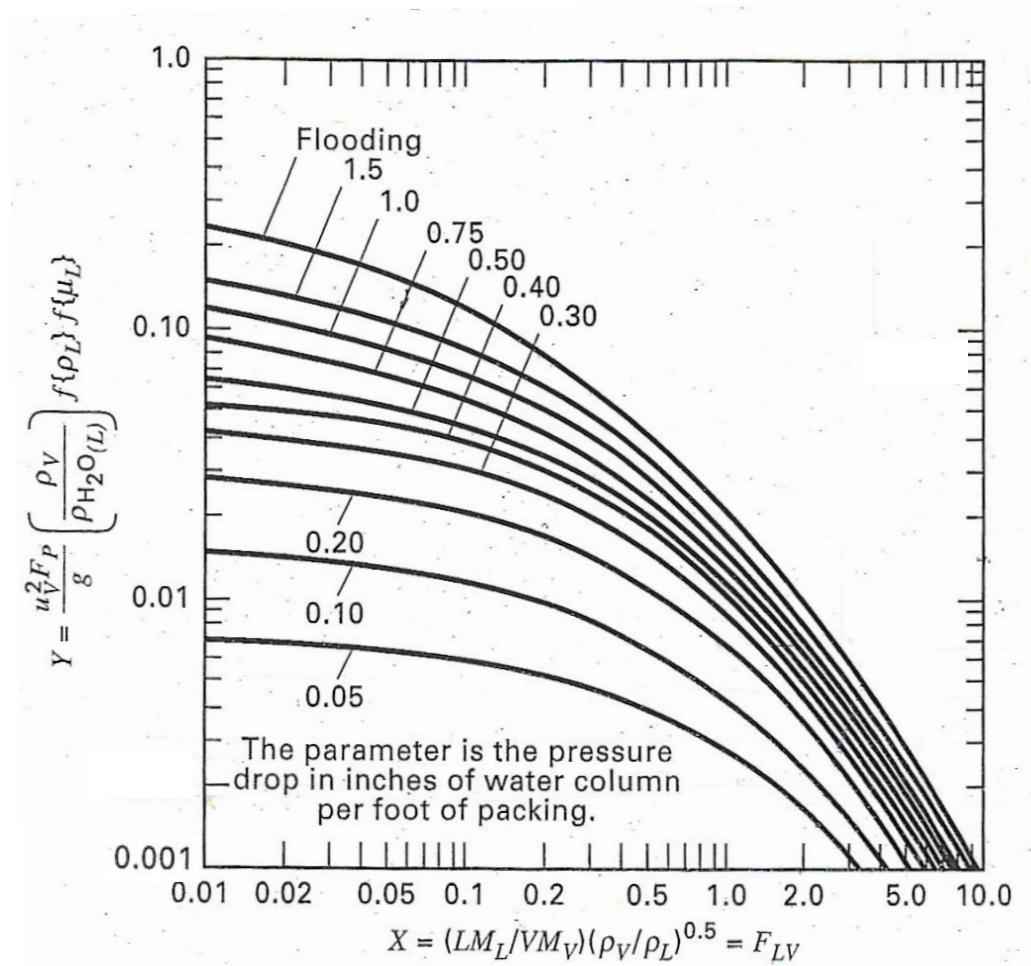


Diagramme généralisé de perte de charge pour les colonnes garnies

Légende :

L	Débit massique du liquide	F_p	Facteur de garnissage (Packing factor)
V	Débit massique du gaz	u_v	Vitesse du gaz
M_L	Masse molaire du liquide	g	Constante gravitationnelle (32,2 ft/s ²)
M_V	Masse molaire du gaz	$\rho_{H_2O(l)}$	Masse volumique de l'eau liquide
ρ_v	Masse volumique du gaz	$f(\rho_l)$	Ratio de la masse volumique de l'eau par rapport à la masse volumique du liquide
ρ_L	Masse volumique du liquide	$f(\mu_L)$	Facteur de correction pour la viscosité $f(\mu_L) = 1$ pour de l'eau.