

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2018

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 6 questions.

Questions	Pondération	Note obtenue
1. Réseau hydraulique	20 points	
2. Séparation d'un mélange éthanol / isobutyl alcool	20 points	
3. Vitesse terminale de chute de gouttes de café	10 points	
4. Extraction liquide/liquide	20 points	
5. Questions rapides	15 points	
6. Pompage de l'eau	15 points	
Total	100 points	

1. Réseau hydraulique (20 points)

Vous devez dimensionner le réseau hydraulique d'alimentation d'une colonne à distiller. Cette alimentation possède un débit de 9600 kg/h d'un mélange oxygène-argon, une masse volumique de 1100 kg/m³ et une tension de vapeur de 700 mmHg.

Le mélange est pompé d'un réservoir d'entreposage du liquide à la colonne à distiller. Le niveau de liquide dans le réservoir d'entreposage est de 10 m et la colonne est alimentée à une hauteur de 15 m. La pression dans le réservoir est de 2 bar et la pression dans la colonne est de 1 bar. Le diamètre interne de la conduite en acier inoxydable est de 2 pouces.

A) Quelle est la vitesse (m/s) du mélange dans la conduite ?

Des calculs vous ont permis d'établir que les pertes par frottement dans les zones d'aspiration et de refoulement du système hydraulique sont respectivement de 100 kPa et 650 kPa.

Vous avez à votre disposition une pompe centrifuge à écoulement radial munie d'un rotor de 120 mm tournant à 2800 tours/minute. Cette pompe peut développer une charge maximale de 100 m pour le débit d'opération.

B) Cette pompe peut-elle convenir à l'opération ? Justifiez par des calculs appropriés.

C) Si le NPSHR à ce débit est de 0.5 m, cette pompe subira-t-elle de la cavitation ? Justifiez par des calculs appropriés.

2. Séparation d'un mélange éthanol / isobutyl alcool (20 points)

On désire séparer un mélange binaire formé d'éthanol (1) et d'isobutyl alcool (2) à l'aide d'une distillation continue utilisant une colonne équipée d'un rebouilleur partiel et d'un condenseur total. La pression dans toute l'unité est fixée à 1 atm. L'alimentation est liquide à son point de bulle et se fait au plateau optimal. Le reflux se fait à température de saturation.

Le débit d'alimentation est de 1 kmol/min et contient **35,5% massique** d'éthanol. Le distillat doit contenir 90% de l'éthanol alimenté à la colonne sur une base molaire. Le débit du résidu doit être de 0,54 kmol/min. Pour un taux de reflux de 1,6, déterminez analytiquement :

- A) la composition du distillat et du résidu ;
- B) les compositions des courants liquides et vapeurs entrant et quittant l'étage no. 1 (considérez que l'étage no. 1 est situé en haut de la colonne) ;
- C) les températures des étages no. 1 et no. 2 ;
- D) les débits du liquide et de la vapeur dans la zone d'épuisement.

MM éthanol (C_2H_5OH) = 46 g/mol

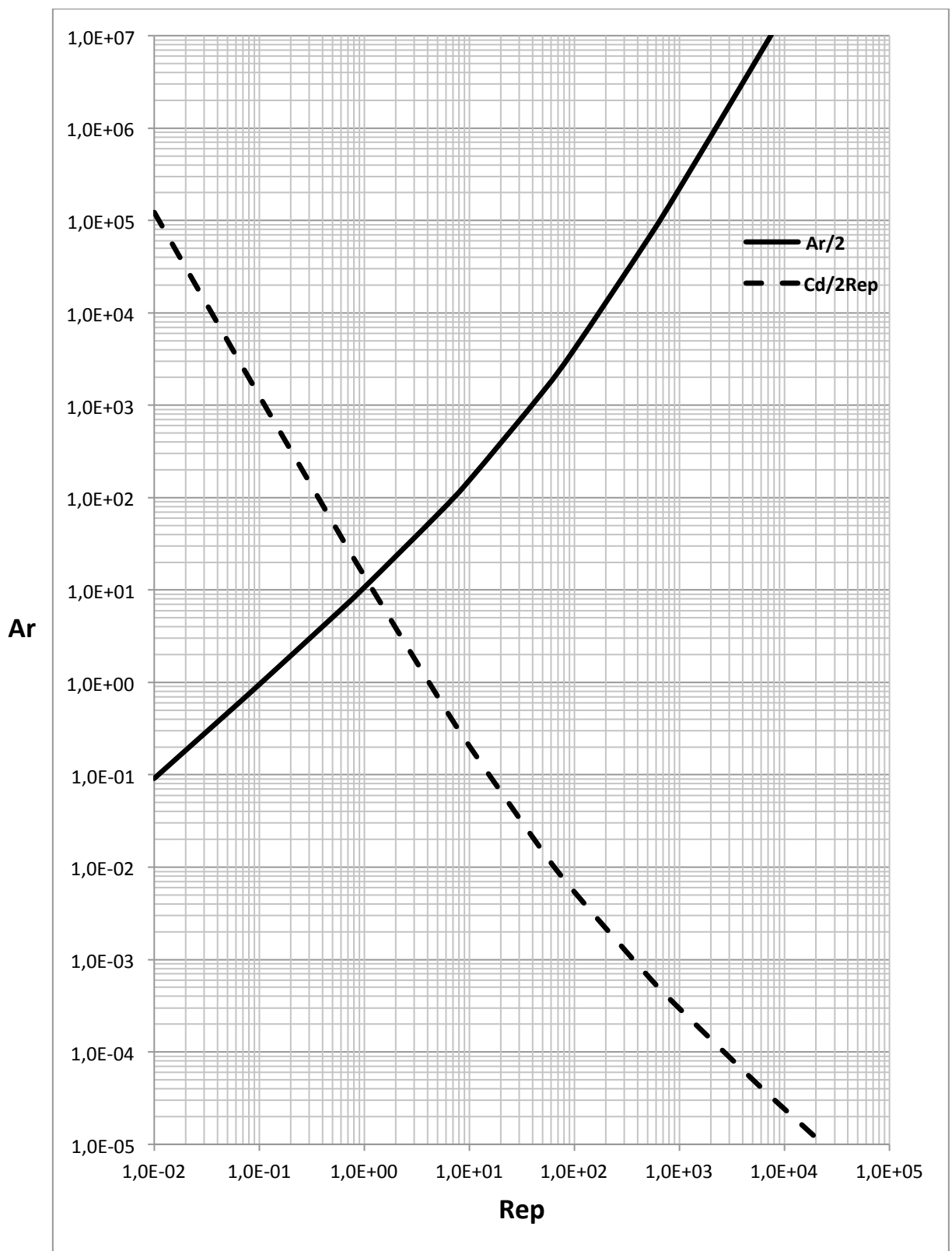
MM isobutyl alcool ($C_4H_{10}O$) = 74 g/mol

Donnée d'équilibre : Éthanol (1) – Isobutyl alcool (2)

x_1 (% mol)	y_1 (% mol)	$T(^{\circ}C)$
0,039	0,109	105,90
0,077	0,205	104,10
0,123	0,304	102,00
0,197	0,428	99,25
0,285	0,552	96,10
0,331	0,602	94,40
0,416	0,685	92,00
0,467	0,731	90,30
0,543	0,782	88,75
0,669	0,862	85,50
0,753	0,908	83,70
0,766	0,914	83,20
0,827	0,938	82,20
0,966	0,990	79,40

3. Vitesse terminale de chute de gouttes de café (10 points)

Calculez la vitesse terminale de chute de gouttes sphériques d'un extrait de café. Les gouttes ont un diamètre de 400 microns et sont en chute libre dans l'air. La densité de l'extrait de café est de 1,03 et l'air est à une température de 149°C. La viscosité de l'air à 149 °C = $2,3 \times 10^{-5}$ Pa.s.



Graphe de Ar vs Re_p pour la sédimentation de particules sphériques

4. Extraction liquide-liquide (20 points)

Un extracteur doit être conçu de façon à extraire l'acétone d'un mélange contenant 30% massique d'acétone et 70% massique d'acétate d'éthyl. De l'eau est utilisée afin d'extraire l'acétone et on peut supposer que l'eau est pure. Le raffinat contiendra 7% d'acétone et 93% d'acétate d'éthyl tandis que l'extract contiendra 12% d'acétone, 8% d'acétate d'éthyl et 80% d'eau. Le diagramme de phase ternaire est disponible incluant les conodales (tie lines). L'alimentation de l'extracteur possède un débit de 20000 kg/h et le ratio du débit de solvant sur le débit d'alimentation est de 1,75. **Utilisez le graphe de la page suivante (page 7) et insérez-le dans votre cahier de réponses.**

- A) Déterminez le nombre d'étages théoriques requis.
- B) Déterminez les débits de solvant, d'extract et de raffinat (kg/h).

INSÉREZ CETTE PAGE DANS VOTRE CAHIER DE RÉPONSES.

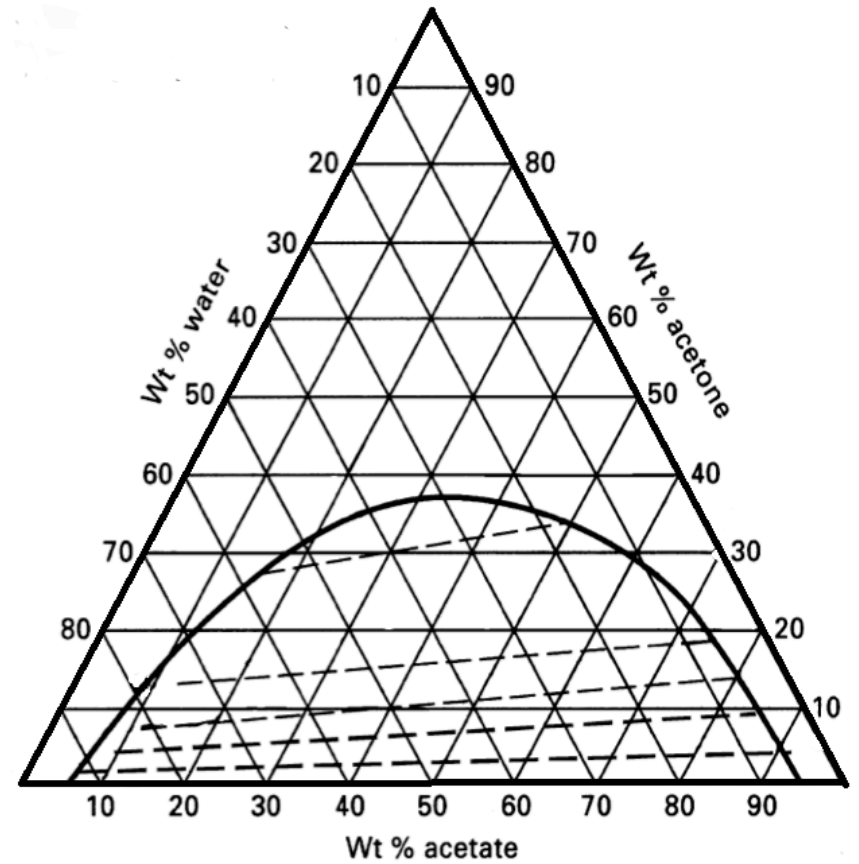
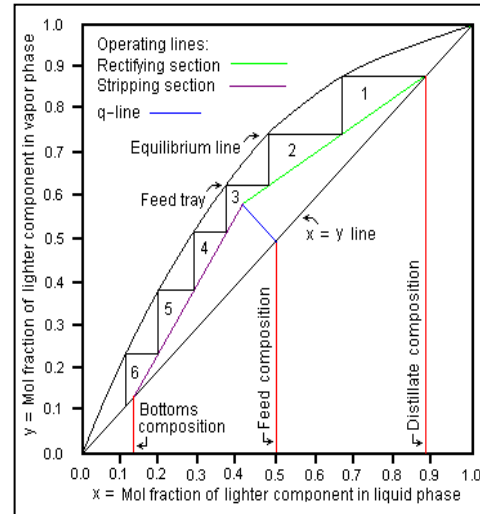


Figure: Diagramme ternaire pour le système Eau/Acétate d'éthyl/Acétone (Question 4)

5. Questions rapides (15 points)

A. Le schéma suivant a été obtenu pour une colonne à distiller. Si un condenseur total et un rebouilleur partiel sont utilisés et que l'efficacité de la colonne est de 50%, quel est le nombre d'étages réel de la colonne ?

- I. 5.8
- II. 8
- III. 10
- IV. 12



B. Lequel des énoncés suivants est vrai ?

- I. Un rebouilleur partiel consomme plus d'énergie qu'un rebouilleur total.
- II. Le réseau hydraulique en tête d'une colonne à distiller est généralement isolé.
- III. Le débit de vapeur \bar{V} dans une colonne à distiller est différent du débit de vapeur \bar{V} lorsque l'alimentation est un mélange liquide/vapeur.
- IV. La diminution de la pression d'opération dans une colonne à distiller rend la séparation plus difficile à effectuer.

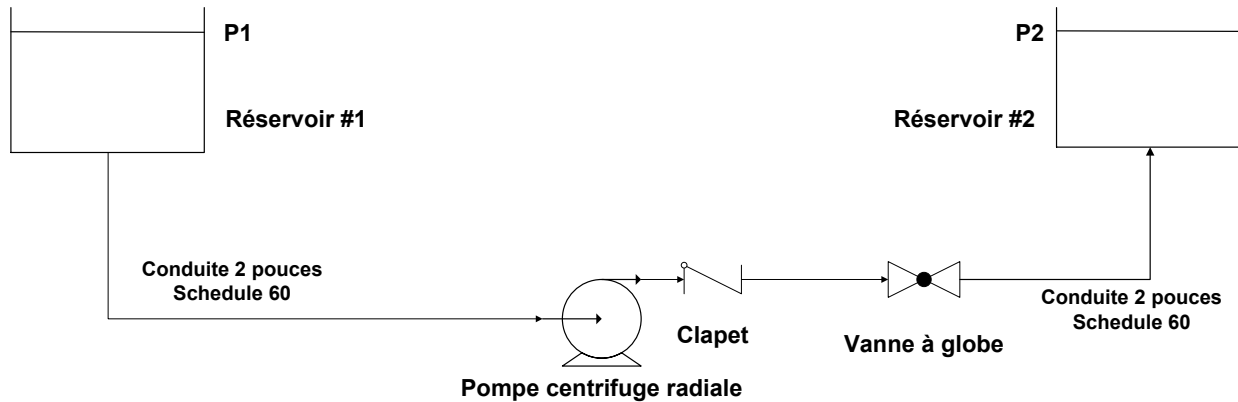
C. Pour une colonne d'absorption alimentée avec les mêmes débits et effectuant la même séparation (même pureté à la sortie), on varie le diamètre du garnissage utilisé.

$D_{\text{garnissage}}$ (mm)	L_{colonne} (m)	H_{OL} (m) (hauteur d'unité de transfert)
25	1.4715	0.7600
35	1.55	0.8005
50	1.8269	0.9436

- I. Quelle est la valeur de N_{OL} (nombre d'unités de transfert) pour $D_{\text{garnissage}} = 25$ mm ?
 - II. Pourquoi H_{OL} augmente lorsque $D_{\text{garnissage}}$ augmente ?
- D. Expliquez deux impacts d'augmenter le taux de reflux lors de l'opération d'une colonne à distiller.
- E. Quel est le rôle de la conduite de reflux dans un système de distillation ?

6. Pompage de l'eau (15 points)

De l'eau à 20°C est pompée, à l'aide d'une pompe centrifuge radiale (aubes dirigées vers l'arrière) du réservoir #1 au réservoir #2. Les deux réservoirs sont ouverts à l'atmosphère. Supposez que la vitesse du rotor est fixe.



Répondez aux questions suivantes et **justifiez chaque réponse**.

Questions	Diminue	Augmente	Ne change pas
A. Qu'arrive-t-il au NPSH si le niveau de liquide dans le réservoir #2 est plus bas et que le débit est maintenu constant ?			
B. Qu'arrive-t-il au NPSH si l'on ferme légèrement la vanne à globe ?			
C. Qu'arrive-t-il au NPSH si le niveau de liquide dans le réservoir #1 est plus bas et que le débit est maintenu constant ?			
D. Qu'arrive-t-il au NPSHR si la conduite d'aspiration est moins longue et que le débit est maintenu constant ?			
E. Qu'arrive-t-il à la perte de charge ($\Delta P = P_2 - P_1$) si l'on ouvre complètement la vanne à globe et que le débit double ?			
F. Qu'arrive-t-il à la charge développée par la pompe si l'on ferme légèrement la vanne à globe ?			
G. Qu'arrive-t-il au débit si l'on ferme légèrement la vanne à globe ?			