

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2017

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. Pompage de l'eau	10 points	
2. Mélange	15 points	
3. Sédimentation	20 points	
4. Absorption de H ₂ S	20 points	
5. Distillation d'un mélange benzène/toluène	25 points	
6. Extraction liquide/liquide	10 points	
Total	100 points	

1. Pompage de l'eau (10 points)

Une pompe centrifuge pompe de l'eau à 20°C d'une rivière située à 800 m de la station de pompage. Sachant que la dénivellation entre la surface de l'eau et la pompe est négligeable et que les pertes de charge dans la conduite d'aspiration équivalent à 9 m d'eau, déterminez si le système est fonctionnel. Considérez que le NPSHR vaut 3 m.

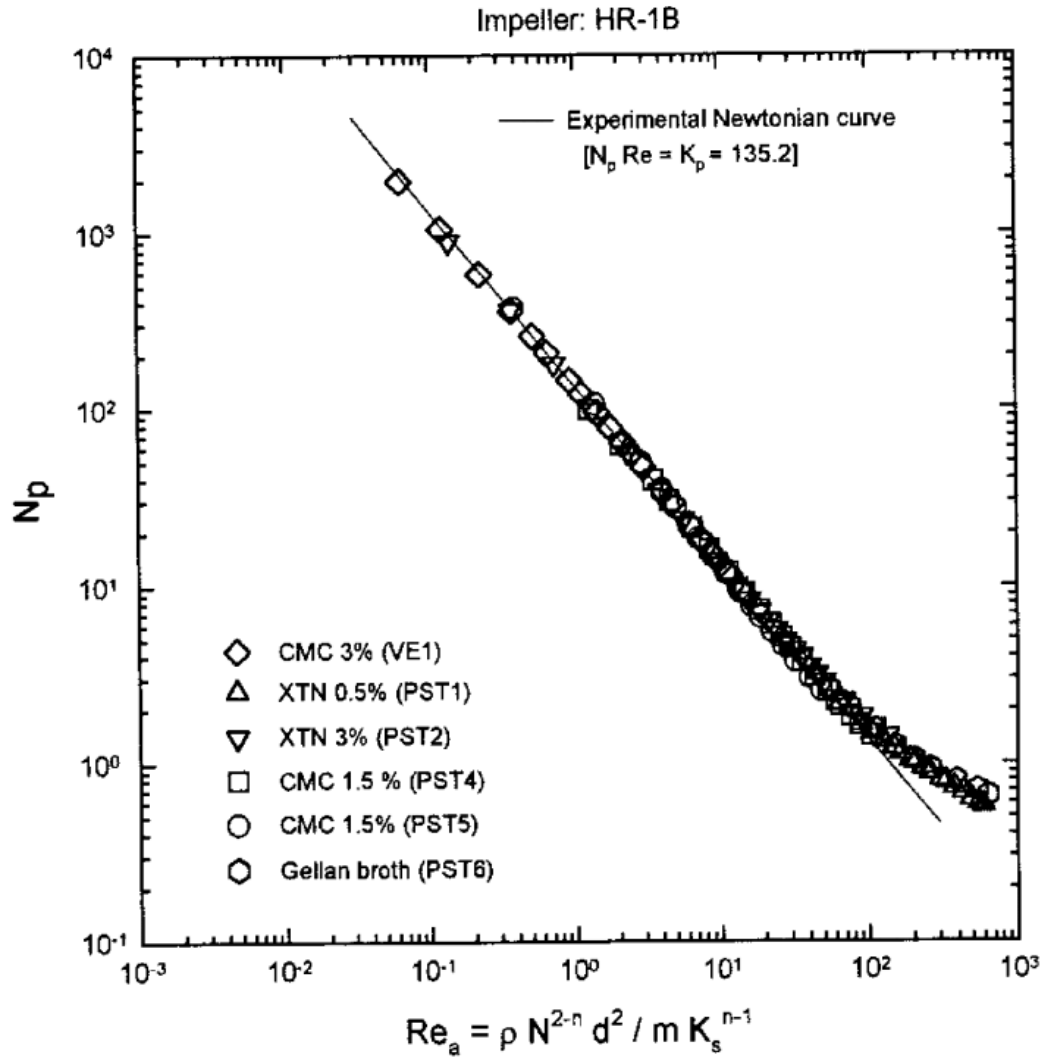
Rappel : Tension de vapeur (P^o) de l'eau : $\log(P^o) = 8,10765 - \frac{1750,286}{T+235}$

P^o est en mmHg et T est en °C dans l'équation précédente.

2. Mélange (15 points)

Dans un laboratoire, un réacteur muni d'un ruban hélicoïdal ($K_s = 35$, $K_p = 135,2$) de $D = 1$ m de diamètre et tournant à 40 tours par minute est utilisé pour mélanger une crème cosmétique. Le produit fini a une masse volumique $\rho = 1350 \text{ kg/m}^3$ et obéit à une loi de puissance ($m = 40 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$, $n = 0,7$).

- A) Quelle est la viscosité de procédé μ_{pr} de ce fluide ?
- B) Déterminez la puissance (W) d'agitation.



Courbe de puissance d'un ruban hélicoïdal avec points expérimentaux pour divers fluides non newtoniens.

3. Sédimentation des grains d'amidon (20 points)

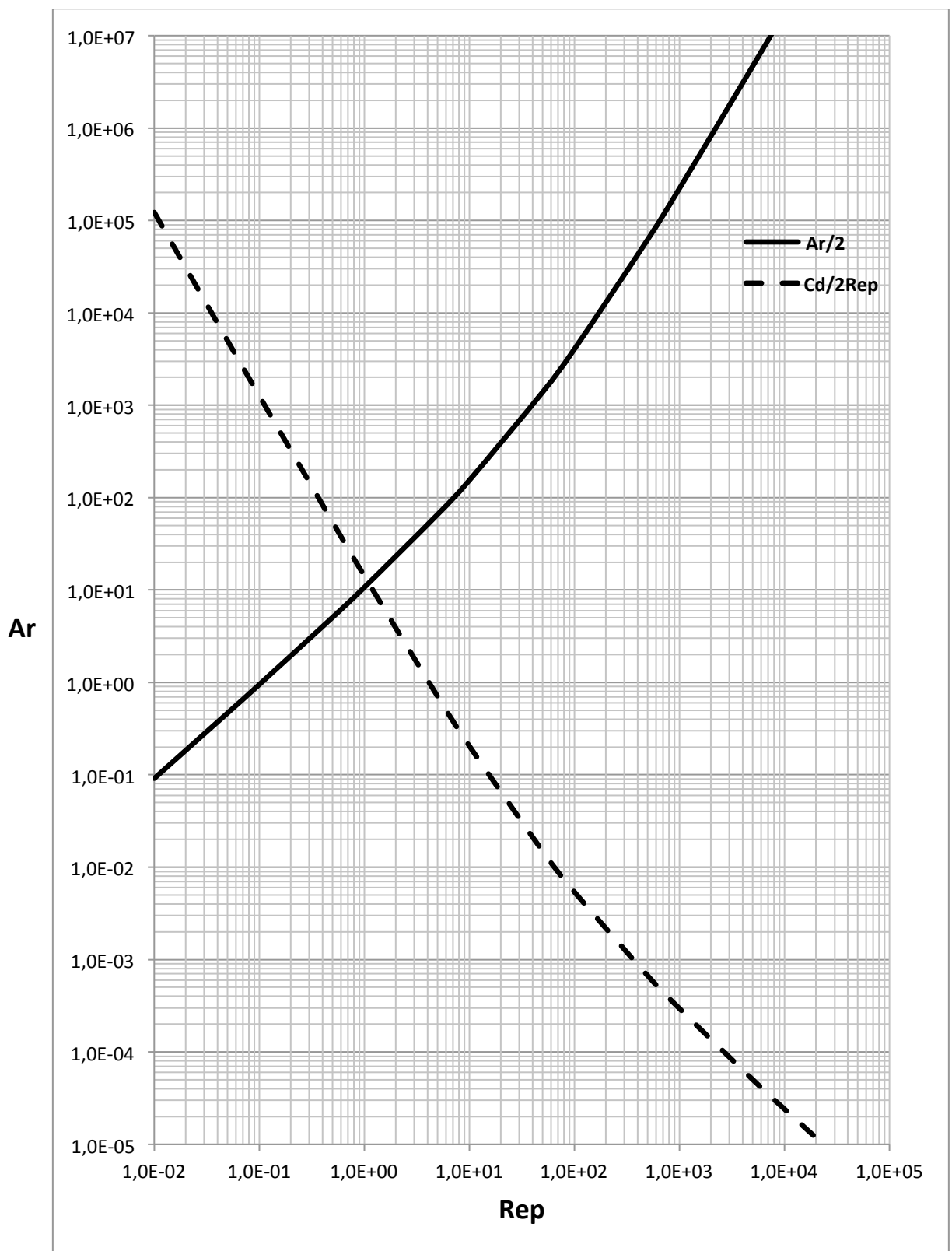
Des grains d'amidon sphériques sédimentent, à pression atmosphérique, dans de l'air à 30°C ($\mu = 1,8 \times 10^{-5}$ kg/m.s). La vitesse de chute du nuage est de 28 cm/s et $C_D = 5xRe_p$.

- A) Calculez la masse volumique de l'air (g/m^3).
- B) Calculez le diamètre équivalent (μm) d'une particule.

Données supplémentaires :

Porosité du nuage = 0,85

Indice n de la corrélation de Richardson et Zaki : $n = 3$



Graphe de Ar vs Re_p pour la sédimentation de particules sphériques

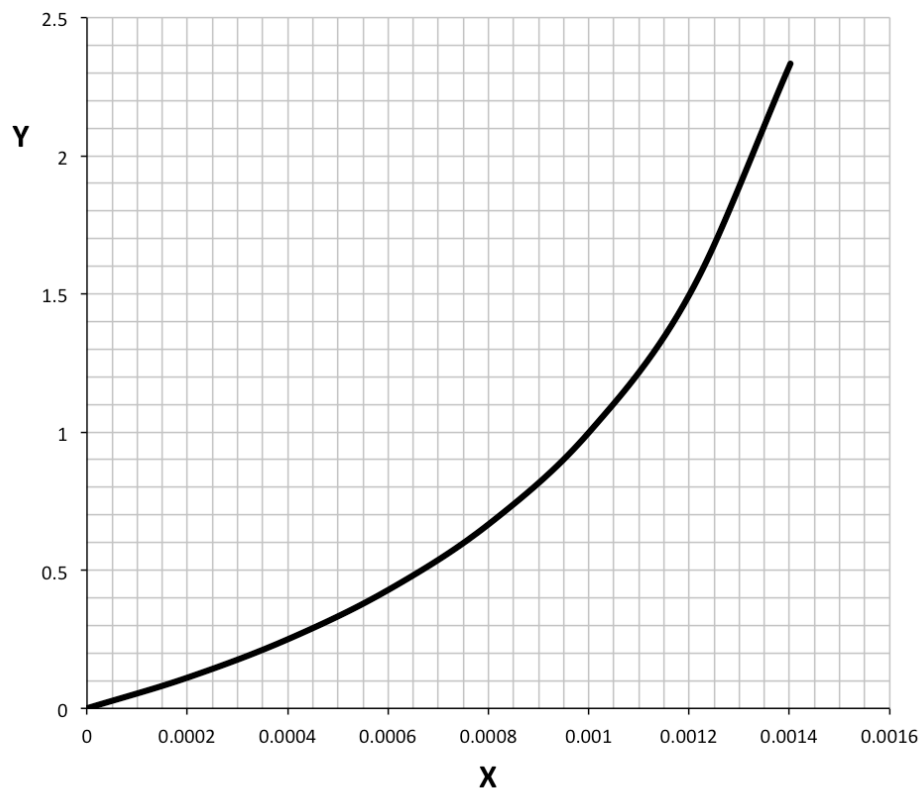
4. Absorption du H_2S (20 points)

Un courant gazeux contient 70% molaire de H_2S et 30% molaire de N_2 . Le H_2S sera retiré par absorption dans une colonne à plateaux à l'aide d'eau pure. Après traitement, le courant gazeux à la sortie de l'absorbeur ne doit contenir que 5 % molaire de H_2S . On peut négliger l'évaporation ou la condensation de l'eau dans la colonne d'absorption.

- A) Quel est le débit minimum d'eau requis, en terme de moles d'eau par mole de gaz à l'entrée?
- B) En utilisant un débit d'eau de 1,2 fois le débit minimum, combien de plateaux théoriques seront requis dans la colonne d'absorption ?
- C) Est-il préférable d'opérer une colonne d'absorption à basse ou à haute température ? Justifiez votre réponse.
- D) Est-il préférable d'opérer une colonne d'absorption à basse ou à haute pression ? Justifiez votre réponse.
- E) Tracez l'intérieur d'une colonne à plateaux en représentant les écoulements liquide et gazeux. Ne représentez que 2 plateaux.

La courbe d'équilibre est présentée à la figure suivante. X et Y représentent des **rapports molaires**.

Courbe d'équilibre H_2S dans l'eau et l'air @ 25°C



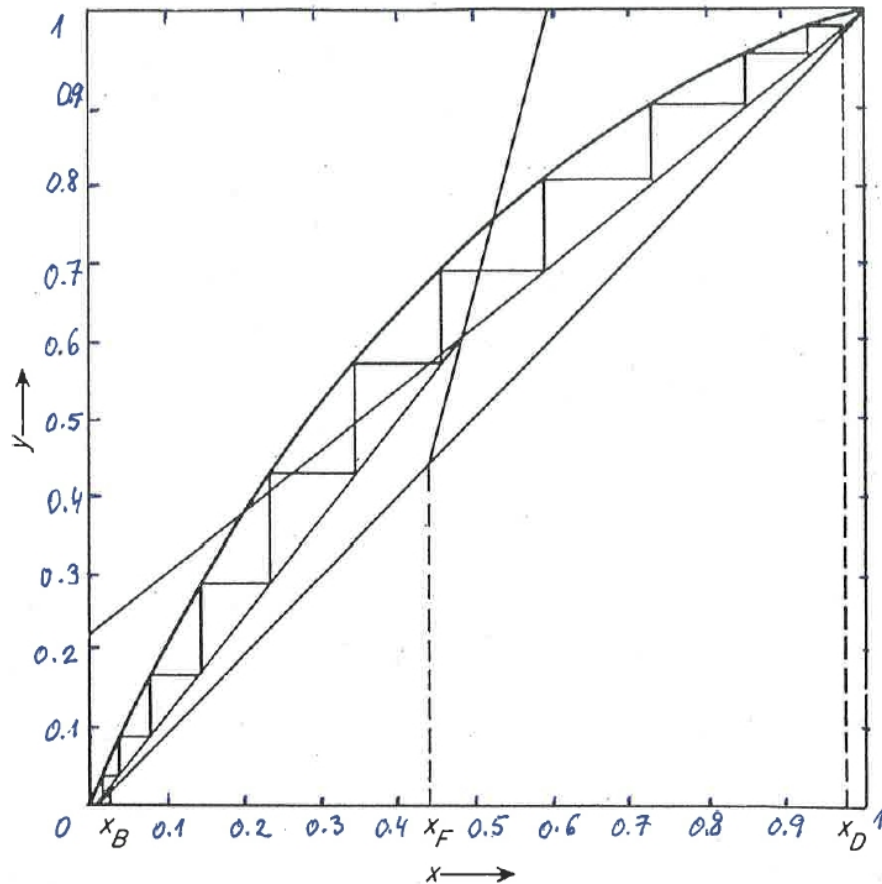
INSÉREZ CETTE PAGE DANS VOTRE CAHIER DE RÉPONSES.

5. Distillation d'un mélange benzène/toluène (25 points)

Par une distillation, on doit séparer 30 000 kg/h d'un mélange benzène/toluène. La teneur en benzène dans l'alimentation est de 44% molaire. Le distillat doit contenir 97% molaire de benzène et le résidu 2% molaire de benzène. La méthode Mc-Cabe-Thiele a alors été utilisée afin d'obtenir le graphique suivant.

$$M_{\text{benzène}} = 78 \text{ kg/kmol}$$

$$M_{\text{toluène}} = 92 \text{ kg/kmol}$$

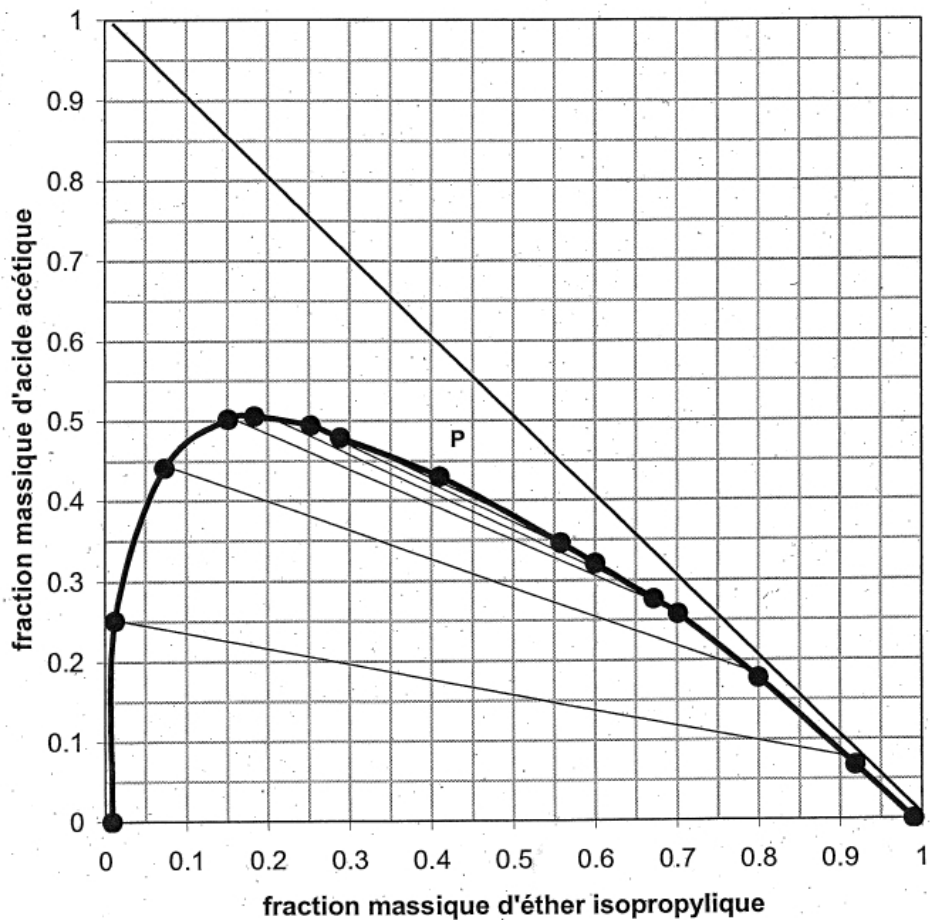


- Quels sont les débits (kmol/h) d'alimentation, de distillat et de résidu ?
- Quels sont les débits (kmol/h) internes à la colonne L , \bar{L} , V et \bar{V} ?
- Quelle est la valeur du taux de reflux ?
- Quelle est la valeur du taux de rebouillage ?
- Quelle est la valeur de R/R_{\min} ?
- Quelle est la valeur de N_{\min} ?
- Quels sont les impacts sur l'opération de la colonne d'augmenter le taux de reflux? Identifiez trois éléments.

INSÉREZ CETTE PAGE DANS VOTRE CAHIER DE RÉPONSES.

6. Extraction liquide-liquide (10 points)

Un mélange de 100 kg d'acide acétique et d'éther isopropylique contient 50% massique d'acide acétique. Ce mélange doit être extrait avec de l'eau agissant comme solvant. Combien de solvant devra-t-on ajouter pour obtenir un raffinat contenant seulement 7% massique d'acide acétique si un extracteur liquide-liquide à un seul étage est utilisé ?



INSÉREZ CETTE PAGE DANS VOTRE CAHIER DE RÉPONSES.