

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE
STL - CHIMIE DE LABORATOIRE ET DE PROCÉDÉS INDUSTRIELS

ÉPREUVE DE GÉNIE CHIMIQUE
Partie écrite

Durée de l'épreuve : 3 heures
Coefficient : 3

Le sujet comporte 6 pages numérotées de 1/6 à 6/6
La page 6/6 est à rendre avec la copie

L'usage de la calculatrice est autorisé

L'étude porte sur le procédé de cristallisation en continu d'une solution de chlorure de sodium de titre massique initial égale à 7,0 % en chlorure de sodium (NaCl).

Tout d'abord cette solution est concentrée dans un évaporateur à double effet pour obtenir une solution de composition massique égale à 28,5 % en chlorure de sodium.

Ensuite cette solution concentrée sera refroidie à 20 °C de façon à cristalliser une partie du chlorure de sodium. La bouillie cristalline sera ensuite filtrée.

Remarque : le chlorure de sodium cristallise sous forme anhydre.

I- DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

1. Échangeur de préchauffage (E1)

La solution de chlorure de sodium, stockée dans le réservoir **R1** (sous pression atmosphérique), est envoyée par une pompe centrifuge **P1** dans un échangeur à faisceau tubulaire vertical **E1**, où elle est préchauffée grâce à la vapeur d'eau issue de l'éjecteur à vapeur **C** qui met sous vide l'évaporateur n°2. Le débit massique d'alimentation en solution de chlorure de sodium est réglé à une valeur de 10 tonnes.h⁻¹.

Cette solution préchauffée à une température de 80 °C, est ensuite envoyée dans un évaporateur à double effet alimenté par le haut. Les deux évaporateurs (**E2** et **E3**) sont à faisceaux tubulaires. Les mélanges liquide-vapeur qui en sortent sont séparés dans des séparateurs de type cyclone (**S1** et **S2**).

2. Évaporateur 1^{er} effet (E2)

Cet évaporateur fonctionne sous pression atmosphérique.

Le chauffage se fait par une vapeur de chauffe indépendante sous une pression absolue de 6 bar. Il est réglé de façon à maintenir le pourcentage en chlorure de sodium à 28,5 % à la sortie du deuxième évaporateur.

L'alimentation se fait par le haut de l'évaporateur.

La solution de chlorure de sodium à 7,0 % arrive à 80 °C et sort à 101 °C sous forme de mélange liquide-vapeur.

Ce premier évaporateur permet d'obtenir une solution de chlorure de sodium de titre massique égal à 12 %.

L'eau évaporée et la solution concentrée de chlorure de sodium sont séparées dans le cyclone **S1** dont le niveau est réglé.

La solution concentrée est transférée via un réservoir tampon (à ne pas représenter) dans l'évaporateur n°2 grâce à une pompe centrifuge **P2**. La canalisation qui permet le transfert est calorifugée.

3. Évaporateur 2^{ème} effet (E3)

Cet évaporateur fonctionne sous un vide de 0,5 bar absolu. Le vide est fourni par l'éjecteur à vapeur **C**.

L'alimentation se fait également par le haut.

Le chauffage se fait par introduction de la vapeur d'eau sortant du séparateur **S1**.

La température d'ébullition de la solution de chlorure de sodium à 12,0 % massique sous un vide de 0,5 bar absolu est de 80 °C.

Ce deuxième évaporateur permet d'obtenir une solution de chlorure de sodium de titre massique 28,5 %.

L'eau évaporée et la solution concentrée de chlorure de sodium sont séparées dans le cyclone **S2** dont le niveau est régulé.

La solution concentrée est transférée dans le cristalliseur grâce à une pompe centrifuge **P3**. La canalisation qui permet le transfert est calorifugée.

Ne pas représenter le cristalliseur.

4. Éjecteur à vapeur avec condenseur à eau

À la sortie du cyclone **S2**, l'eau évaporée est envoyée en pied d'une colonne vide (**D**). Cette vapeur d'eau est condensée par contact direct avec de l'eau pulvérisée en tête de colonne grâce à une rampe de pulvérisation.

En tête de colonne, la respiration est reliée à l'éjecteur à vapeur **C** qui permet de mettre sous vide cette colonne et donc l'évaporateur **E3** ($P_{\text{vide}} = 0,5$ bar absolu).

Les vapeurs qui sortent de l'éjecteur à vapeur sont utilisées pour préchauffer l'alimentation dans l'échangeur **E1**.

En pied de colonne, une *jambe barométrique* permet de maintenir le vide dans l'installation : cette *jambe barométrique* est une canalisation de 10 mètres de hauteur qui tombe dans un réservoir ouvert (**R2**) dans lequel l'eau condensée sort par trop-plein.

II- TRAVAIL DEMANDÉ

I- SCHÉMA

Sur le support joint (**annexe, page 6/6, à rendre avec la copie**), représenter l'installation décrite ci-dessus et compléter le schéma de l'ensemble : réservoir **R1**, échangeur **E1**, évaporateur **E2**, cyclone **S1**, évaporateur **E3**, cyclone **S2**, colonne **D** et réservoir **R2**, en respectant les règles de sécurité et en assurant son bon fonctionnement.

II- COURS

1. Donner le principe d'un régulateur PID en précisant la signification des symboles P et I.
2. Expliquer le principe de fonctionnement d'un éjecteur à vapeur.
3. Dans un réfrigérateur à compresseur, le fluide frigorigène circule en circuit fermé à travers quatre organes fondamentaux. Indiquer quels sont les fluides frigorigènes le plus souvent utilisés.

III. EXERCICES

1. Bilans thermiques

On considère l'évaporateur n°1 (**E2**). Il est alimenté par la solution de titre massique 7 % en chlorure de sodium, avec un débit massique A de $10,0 \text{ tonnes.h}^{-1}$. Cette solution préchauffée arrive à la température θ_1 égale à 80 °C et elle est portée à ébullition à la température θ_2 égale à 101 °C .

Le débit massique d'évaporat V_1 à la sorte de l'évaporateur n°1 (**E2**) est égal à $4,2 \times 10^3 \text{ kg.h}^{-1}$.

1.1. Calculer le flux de chaleur à apporter à la solution de chlorure de sodium dans le premier évaporateur.

1.2. Calculer le débit massique (q_{m0}) de vapeur d'eau de chauffe saturée à une pression absolue de $6,0 \text{ bar}$, nécessaire à la première concentration.

1.3. Pour le premier effet, calculer le rendement de vaporisation :

$$r_1 = \frac{\text{débit d'eau évaporée}}{\text{débit de vapeur payée}(q_{m0})}$$

1.4. Sachant que le deuxième évaporateur permet d'évaporer $q_{m2} = 3,4 \times 10^3 \text{ kg.h}^{-1}$ d'eau, calculer le rendement de vaporisation sur l'ensemble des deux évaporateurs.

1.5. Conclure quant à l'intérêt du double effet.

2. Dimensionnement de E2

L'évaporateur **E2** est constitué d'éléments chauffants à tubes verticaux.

En tenant compte des pertes thermiques, on considère que le flux de chaleur à apporter à la solution de chlorure de sodium dans le premier évaporateur est de $2,8 \times 10^3 \text{ kW}$.

2.1. Calculer la différence de température logarithmique moyenne de cet échangeur.

2.2. Calculer la surface d'échange globale sachant que cet échangeur a un coefficient d'échange thermique moyen K égal à $1,5 \times 10^3 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

2.3. Calculer le nombre de tube sachant que le diamètre intérieur d'un tube est de 50 mm et que la hauteur de l'échangeur est de $6,0 \text{ m}$.

3. Cristallisation

A la sortie de **E3**, on récupère une solution de chlorure de sodium à $28,5 \%$ massique en chlorure de sodium, à 80 °C , avec un débit massique de $2,4 \times 10^3 \text{ kg.h}^{-1}$. Cette solution est acheminée dans le cristalliseur.

La solubilité du chlorure de sodium dans l'eau à 20 °C est égale à $36,0 \text{ g}$ pour 100 g d'eau.

3.1. Calculer le débit massique q_m de cristaux de chlorure de sodium obtenu si on refroidit cette solution jusqu'à 20 °C .

3.2. Calculer le rendement de l'opération.

3.3. Cette méthode de cristallisation par refroidissement est-elle adaptée au chlorure de sodium ?

DONNÉES

Solution de titre massique 7,0 % en chlorure de sodium

- Capacité thermique massique : $C = 3,6 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Température d'ébullition à pression atmosphérique : $101 \text{ }^\circ\text{C}$
- Masse volumique : $\rho = 1,07 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

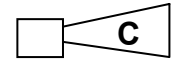
Eau :

- Chaleur latente de vaporisation de l'eau (en kJ.kg^{-1}) :
 $L_v = 2535 - 2,9 \times \theta$, avec θ , température en $^\circ\text{C}$.

- Formule empirique de Duperray

$$p = \left(\frac{\theta}{100} \right)^4 \text{ avec } p, \text{ pression absolue en bar et } \theta, \text{ température en } ^\circ\text{C}$$

- Différence de température moyenne logarithmique : $\Delta\theta_{ml} = \frac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\ln\left(\frac{\Delta\theta_2}{\Delta\theta_1}\right)}$



ANNEXE (à rendre avec la copie)

E2

E3

D

S1

S2

E1

R1

R2