Université de Djilali Bounaama
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie des procédés
M1 GPH/M1 GA

Année universitaire: 2025- 2026
Opérations unitaires f-s
Durée : 1 : 30 h
31 Mai 2026

Examen de rattrapage

Exercice 01 : (08 pts)

On dissout en continu 700 kg/h de sulfate ferreux anhydre ($FeSO_4$) dans une quantité minimale d'eau afin d'obtenir une solution saturée à 75 °C. La solution est ensuite envoyée dans un cristalliseur continu où elle est refroidie jusqu'à 20 °C après passage dans un échangeur thermique à contre-courant. Le refroidissement est assuré par une eau glacée entrant dans l'échangeur à 8 °C et sortant à 38 °C. Au cours du refroidissement, le sulfate ferreux cristallise sous forme de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. Les cristaux sont totalement séparés des eaux mères, lesquelles quittent l'installation saturées à 20 °C. Déterminer :

- La quantité minimale d'eau nécessaire pour préparer la solution saturée à 75 °C ? et la masse totale de la solution obtenue ?
- Le titre massique de la solution saturée à 75 °C, des cristaux de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ formés et des eaux mères ?
- Le rendement de la cristallisation dans ces conditions ?
- La quantité totale de la chaleur à éliminer pour réaliser la cristallisation ?
- Le débit massique de l'eau de refroidissement ainsi que la surface d'échange du cristalliseur ?
- Faire un schéma représentant les différents courants de matière et de chaleur ?

Données :

- Solubilité à 75 °C : 85 g de $FeSO_4$ / 100 g d'eau et à 20 °C : 22 g de $FeSO_4$ / 100 g d'eau.
- Masses molaires : M $CuSO_4$ = 152 g/mol et M H_2O = 18 g/mol.
- Capacité calorifique : Solution : Cp = 3.1 $kJ \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$ et Eau : Cp = 4.18 $kJ \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$.
- Enthalpie de cristallisation : $\Delta H = -24\ kJ \cdot kg^{-1}$.
- Coefficient global d'échange : K = 2900 $kJ \cdot h^{-1} \cdot m^{-2} \cdot °C^{-1}$.

Exercice 02 : (05 pts)

Un produit solide humide est séché dans un séchoir à bandes en contre-courant avec de l'air chaud. On introduit 60 kg/h de matériau humide contenant 65 % d'eau en masse. Le produit est séché à température constante de 75 °C jusqu'à une humidité finale de 8 % en masse. L'air ambiant à 25 °C et d'humidité relative 60 % est chauffé jusqu'à 85 °C avant d'être envoyé dans le séchoir.

- Déterminer la masse de matière sèche dans le produit ?
- Calculer le débit d'eau évaporée ?
- Sachant que l'air sort du séchoir avec une humidité de 0.12 kg d'eau/kg d'air sec, calculer le débit d'air sec nécessaire ?
- Déterminer le débit d'air humide à l'entrée et à la sortie du séchoir ?

Exercice 03 : (07 pts)

Une suspension d'eau et de sulfate de magnésium heptahydraté ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) est soumise à une opération de filtration. Afin de dimensionner un filtre industriel, des essais préliminaires sont réalisés sur un filtre de laboratoire constitué d'un cylindre de 8 cm de diamètre intérieur. On assimile les propriétés du liquide interstitiel à celles de l'eau à 20 °C : masse volumique de l'eau $\rho_l = 1000\ kg \cdot m^{-3}$, viscosité de l'eau $\mu = 10^{-3}\ Pa \cdot s$, la masse volumique des cristaux de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ est $\rho_s = 1680\ kg \cdot m^{-3}$.

- Un échantillon de gâteau saturé en solution mère est prélevé. La masse du gâteau humide : 82.4 g et la masse après séchage complet : 54.8 g. Déterminer la porosité ε du gâteau ?
- On introduit dans le cylindre de filtration une masse de gâteau saturé de 500 g. Après tassement, on mesure une hauteur de gâteau h = 6.8 cm. À partir de la porosité calculée précédemment, déterminer le volume théorique occupé par 500 g de gâteau humide, comparer les deux résultats et conclure sur la cohérence des mesures ?
- Calculer la taille des particules supposées sphériques en utilisant le modèle de Kozeny-Carman ? Déterminer la vitesse en fut vide lorsque le débit est de 75 L/h ? (On prendra $K = 1.2 \times 10^{-11}\ m^2$) ?

Diagramme de l'air humide.

Nom :

Prénom :

