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
09 Mai 2026

# *Examen final de semestre*

***Exercice 01 :*** ***(06 pts)*** *(Voir annexe)*

Un cristalliseur est utilisé pour produire 1.2 tonne/h de cristaux de sulfate de cuivre pentahydraté ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) à partir d'une solution aqueuse saturée. La solution d'alimentation est saturée à 60 °C et entre dans le cristalliseur à cette température. Elle est refroidie jusqu'à 25 °C, température à laquelle les cristaux se forment. Le refroidissement est assuré par de l'eau circulant dans un serpentin, qui entre à 15 °C et en sort à 22 °C. Les données de l'exercice sont en annexe 1. Déterminer :

- Les titres massiques en $CuSO_4$ de l'alimentation, des eaux mères et des cristaux ?
- Les débits massiques de la solution sortante du cristalliseur et de la solution d'alimentation ?
- Le rendement de la cristallisation dans ces conditions ?
- La quantité de chaleur à éliminer pour réaliser la cristallisation ?
- Le débit massique de l'eau de refroidissement et la surface d'échange du serpentin du cristalliseur ?

***Exercice 02 :*** ***(06 pts)***

Un concentré de lait est séché dans un sécheur par atomisation fonctionnant en régime adiabatique. Le concentré contient 48 % de matière sèche à l'entrée du sécheur. On souhaite obtenir une poudre de lait contenant 3 % d'humidité résiduelle. Le débit d'alimentation du concentré est de 4.5 tonnes/heure. L'air de séchage entre dans le séchoir à une température de 49 °C, avec une humidité absolue de 8 g d'eau/kg d'air sec. À la sortie du séchoir, l'air possède une humidité relative de 80 %. Déterminer :

- Le débit massique de la poudre sèche produite ?
- L'humidité absolue, la température et l'enthalpie de l'air en sortie ?
- La quantité d'eau évaporée dans le séchoir ?
- Le débit massique d'air sec nécessaire ?

***Exercice 03 :*** ***(08 pts)*** *(Voir annexe)*

Sur un filtre de laboratoire de 0.1 m² de surface filtrante, alimenté sous une pression constante de 0.8 bar, on a filtré une suspension aqueuse à 20 °C, contenant 8 g de solide par kg de suspension ($\rho s$ = 1540 kg/m³), les résultats du tableau ci-dessous ont été obtenus, Calculer :

1. Le rapport d'humidité du gâteau et le rapport Masse/Volume de la filtration, sachant que la porosité du gâteau est évaluée à 0.55. Pourquoi la valeur du rapport C est-elle faible ?
2. Utiliser les résultats expérimentaux pour calculer la résistance spécifique du gâteau ainsi que la résistance du support de filtration. La viscosité est prise égale à celle de l'eau ?
3. On utilise un filtre industriel à 6 cadres rectangulaires, chaque cadre ayant deux surfaces filtrantes de 0.64 m². Les gâteaux se forment sur les faces internes des cadres. La filtration se fait sous une pression de 0.7 bar. L'espace entre deux cadres est de i = 5 cm, mais on arrête l'opération avant remplissage complet, en laissant y = 0.5 cm non rempli. On demande de calculer :
   - Le volume total de gâteau formé dans les cadres avant séchage ?
   - La quantité maximale de suspension que l'appareil peut traiter ?
4. Le volume de filtrat obtenu en fin de filtration ? Calculer la durée d'une opération de filtration ?
5. On lave le gâteau en alimentant l'appareil par un volume d'eau pure à 15 fois le volume de jus-mère retenu par le gâteau. Le lavage a lieu sous une différence de pression constante égale à 0.3 bar. Calculer la durée du lavage ?

| V (litre) | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 60 | 80 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t (seconde) | 11.5 | 20 | 31 | 60.5 | 100 | 206.5 | 349.5 |

***Données de l'exercice 1 :***

- Solubilité à 60 °C : 80 g de $CuSO_4$ / 100 g d'eau et à 25 °C : 32 g de $CuSO_4$ / 100 g d'eau.
- Masses molaires : M $CuSO_4$ = 160 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 du $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ : $\Delta H = -75\ kJ \cdot kg^{-1}$.
- Coefficient global d'échange : K = 680 $kJ \cdot h^{-1} \cdot m^{-2} \cdot °C^{-1}$.

***Annexe exercice 3 :***

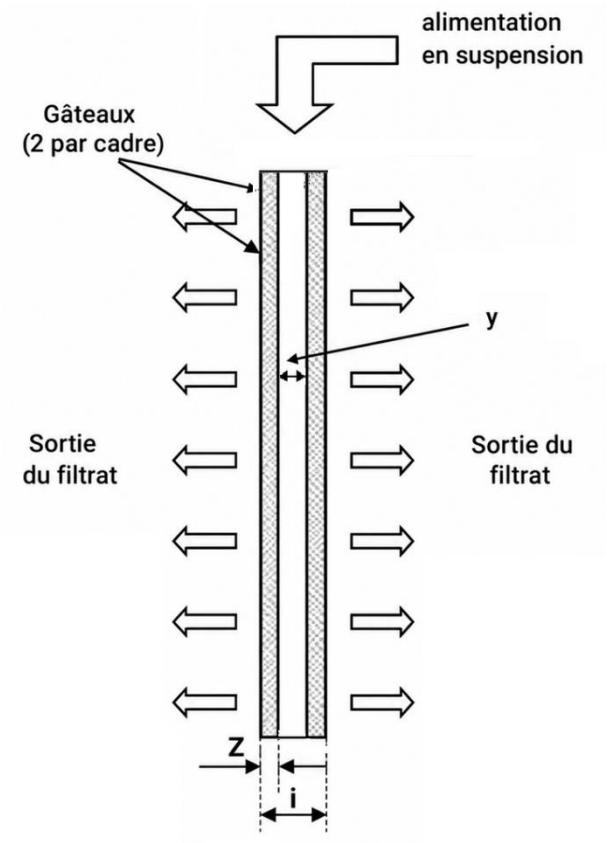



**Figure :** Représentation simplifié d'un cadre de filtration.

***Diagramme de l'air humide.***

Nom :

Prénom :

