Université de Djilali Bounaama
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie de procédés
Opérations unitaires fluide-solide
M1 GPH

Année universitaire : 2025- 2026

Série d'exercices : Cristallisation

Exercice 01 :

Le chlorure de potassium est mis en solution dans de l'eau à 60 °C. Nous souhaitons préparer 10 kg de solution saturée à cette température.

- Déterminer les quantités de chlorure de potassium et d'eau à mettre en œuvre ?

Cette solution est refroidie à 20 °C :

- Déterminer les quantités de chlorure de potassium sous forme cristalline récupérée ainsi que la quantité d'eau mère ?

Données :

Solubilité du chlorure de potassium est : 34 % à 20°C
45 % à 60°C
Le chlorure de potassium cristallise anhydre.

Exercice 02 :

On cristallise 1000 kg de solution aqueuse de nitrate de sodium de titre massique de 52%, prise à 60°C, en la refroidissant à 10°C.

- Calculer le taux de saturation de la solution d'alimentation à 60°C ?
  Avec T_S = solubilité / solubilité à la saturation
- Calculer la masse de cristaux formés et le rendement de la cristallisation ?

Données : Solubilité à 10°C : 80g de $NaNO_3$ / 100g d'eau.
Solubilité à 60°C : 124g de $NaNO_3$ / 100g d'eau.

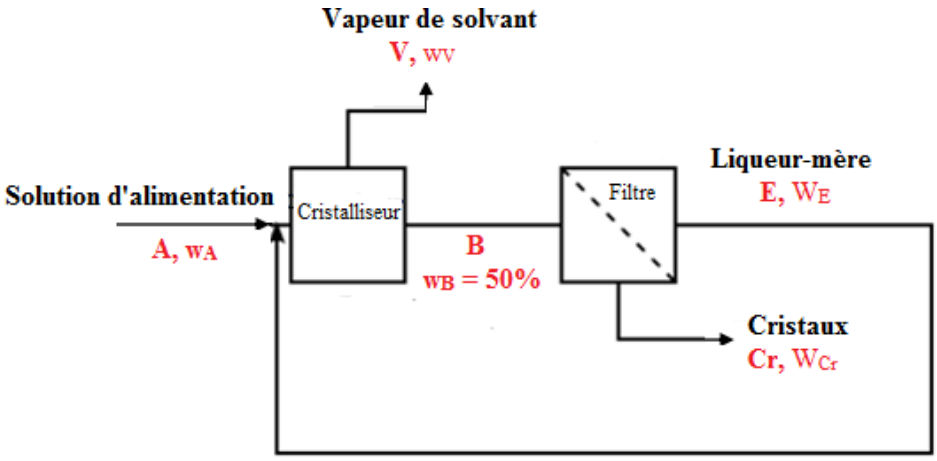
Exercice 03 :

1000 kg/h d'une solution d'acétate de sodium à 20% dans l'eau est introduite dans un évaporateur fonctionnant à 60 °C. Le concentrât sortant de l'évaporateur titrant 50% en $NaC_2H_2O_2$, alimente un cristallisoir fonctionnant à 20 °C. Une filtration permet de séparer l'acétate de sodium tri-hydraté solide ($NaC_2H_3O_2$, $3H_2O$), et des eaux mères saturées à 20 °C, qui sont intégralement recyclées vers l'évaporateur.

- Calculer le débit massique de cristaux Cr ?
- Calculer le débit d'eau à évaporer V dans l'évaporateur ?
- Calculer le débit d'eaux mères E recyclées vers l'évaporateur ?
- Calculer le rendement de cristallisation du cristallisoir seul et l'ensemble de l'installation ?

Données :

Solubilité du ($NaC_2H_2O_2$, 3 H_2O) : à 20 °C 46.5 g/100 g et à 60 °C 139 g/100 g.
M ($NaC_2H_3O_2$, $3H_2O$) = 136 g/mol.



Exercice 04 :

Une tonne par heure d'alimentation de nitrate de potassium à 20% dans l'eau est introduite dans un évaporateur continu de façon à concentrer cette solution à 50% de KNO_3. Le concentrât est ensuite introduit dans un cristallisoir ou la solution est refroidie à 10 °C. La filtration permet de séparer du nitrate de potassium solide contenant 4% d'eau et de recycler le filtrat, solution contenant 21 g de KNO_3 dans 100 g d'eau, dans l'évaporateur :

- Calculer le débit massique de cristaux filtrés du courant du recyclage Cr ?
- Calculer le débit d'eau à évaporer V dans l'évaporateur ?
- Calculer le débit d'eaux mères E recyclées vers l'évaporateur ? Calculer B ?
- Calculer le rendement de cristallisation du cristallisoir seul et l'ensemble de l'installation ?

Exercice 05 :

On prépare 500 kg de solution aqueuse de carbonate de sodium saturée à 80 °C.

- Déterminer les quantités de carbonate de sodium et d'eau à mettre en œuvre ?

Cette solution est refroidie à 10 °C, Déterminer :

- Le titre massique des eaux mères et des cristaux ?
- Les masses d'eau mère et de cristaux formés ?
- Le rendement de la cristallisation ?

Données :

Solubilité du carbonate de sodium est : 44 % à 80°C
12 % à 10°C

Le carbonate de sodium cristallise déca-hydraté $Na_2CO_3, 10H_2O$

Exercice 06 :

On cristallise en continu 400 kg/h de solution de carbonate de sodium saturée à 30°C, en la refroidissant à 10°C.

- Déterminer le débit-masse horaire de carbonate de sodium décahydraté formé ?
- Calculer la chaleur à éliminer dans le cristalliseur ?

Données :

Solubilité à 10°C : 12.5 g de Na_2CO_3 /100g d'eau
Solubilité à 30°C : 38.8 g de Na_2CO_3 / 100g d'eau
M Na_2CO_3 = 106 g/mol, M H_2O=18 g/mol
Enthalpie de cristallisation molaire à 10°C de (Na_2CO_3, 10 H_2O): ΔH = - 67.8 kJ/mol
Chaleur massique moyenne de la solution : CpA = 3.2 kJ/(kg. °C)

Exercice 07 :

Dans un cristalliseur fonctionnant en continu, on cristallise à 30°C une solution aqueuse à 60% en masse de nitrate de potassium arrivant à 80°C sous un débit de 5 t/h.

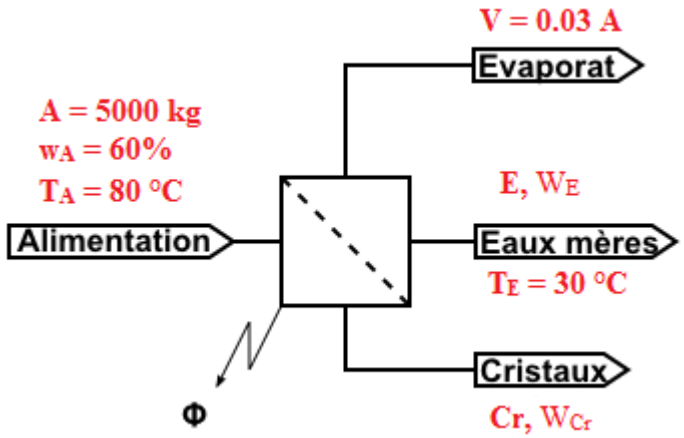
- Calculer la masse de cristaux obtenus par heure, sachant que le nitrate cristallise sans eau et que, pendant le refroidissement il se produit par évaporation une perte d'eau égale à 3% de la quantité de solution introduite ?
- Calculer la quantité de chaleur à dissiper par heure, sachant que la cristallisation est exothermique et que la chaleur de cristallisation est $\Delta H_{Cr} = -35321.4$ kJ/kmol ?
- Le refroidissement est obtenu par circulation méthodique d'eau entrant à 10°C et sortant à 20°C (méthodique = contre courants). La surface d'échange utilisée est 35 m^2. Calculer le débit d'eau nécessaire et le coefficient global d'échange thermique ?

Données :

Solubilité à 30°C: 45.8 g/100 g d'eau

$Cp_A = 2.3$ kJ.kg^{-1}. °C^{-1}, Cpeau = 4.18 kJ.kg^{-1}. °C^{-1}, $Lv_{eau} = 2343.6$ kJ.kg^{-1}.

M KNO_3 = 101.1 g/mol



Exercice 08 :

On cristallise en continu 1000 kg/h de solution de sulfate de sodium saturée à 50 °C en la refroidissant à 10 °C. On considère les hypothèses suivantes : l'échange thermique est réalisé à contre-courant, les cristaux formés sont constitués par du sulfate de sodium déca-hydraté, les cristaux sont intégralement séparés des eaux mères par filtration, les eaux mères sont saturées à 10 °C. Déterminer :

- Les titres massiques en Na_2SO_4 de l'alimentation, des eaux mères et des cristaux ?
- Le débit-masse horaire de sulfate de sodium déca-hydraté formé et des eaux mères ?
- Le rendement de la cristallisation dans ces conditions ?
- Le flux de chaleur à éliminer sur l'ensemble du cristalliseur ?
- Le débit de saumure entrant dans l'échangeur à 0 °C et sortant à 45 °C ?
- La surface d'échange de l'échangeur ?

Données :

- Solubilité à 10 °C : 9 g de Na_2SO_4 /100 g d'eau.
- Solubilité à 50 °C : 46.7 g de Na_2SO_4 / 100 g d'eau.
- M Na_2SO_4 = 142 g/mol, M H_2O = 18 g/mol.
- Enthalpie de cristallisation molaire à 10 °C de Na_2SO_4, 10 H_2O : ΔH = -78.42 kJ/mol.
- Chaleur massique moyenne de la solution : $Cp_A = 3.55$ kJ/kg.°C, de la saumure $Cp_S = 3.7$ kJ/kg.°C.
- Coefficient global d'échange K = 2926 kJ/h m^2 °C.

Exercice 09 :

On veut réaliser la recristallisation d'une masse de 300 kg de glycine pure (acide aminoacétique $C_2H_5NO_2$) dans l'eau. Cette opération s'effectue en solubilisant la glycine dans le minimum d'au de façon à obtenir une solution saturée à 75 °C. Cette solution saturée est ensuite refroidie jusqu'à 20 °C. Calculer :

- La quantité d'eau à utiliser pour obtenir une solution saturée à 75 °C et en déduire la masse de cette solution aqueuse saturée à 75 °C ?
- Les quantités des cristaux de glycine et des eaux mères théoriquement obtenues après refroidissement à 20 °C et le rendement de la cristallisation ?
- La quantité de chaleur à éliminer lors de l'opération ?

Données :

- Solubilité de la glycine : 21 g/100 g de solvant (T= 20 °C) et 54.4 g/100 g de solvant (T= 75 °C).
- Enthalpie de cristallisation molaire de la glycine à 20 °C : - 8.36 kJ/mol.
- Capacité thermique massique moyenne de la solution d'alimentation 2.926 kJ/kg.°C.
- M $C_2H_5NO_2$ = 75 g/mol, M H_2O = 18 g/mol.