



Exercices de la séquence 8

Evaporation et cristallisation

EXERCICE 1 : Concentration d'une solution de chlorure de potassium

Soit 100 kg d'une solution de chlorure de potassium dont la fraction massique est de 15 % en chlorure de potassium dissous. On souhaite obtenir par évaporation une solution dont la fraction massique est de 23 % en soluté.

1. Représenter les entrées et sorties des flux de matière de l'évaporateur. L'évaporateur sera représenté par un simple rectangle avec des flèches aux entrées et sorties matérialisant les flux de matière.
2. A l'aide d'un bilan matière en chlorure de potassium, déterminer la masse de concentrat (solution sortant de l'évaporateur).
3. En réalisant un bilan matière global, déterminer la quantité d'eau à évaporer.

EXERCICE 2 : Concentration d'une solution aqueuse d'un sel

Une solution aqueuse d'un sel de fraction massique 10 % en sel est concentrée afin d'obtenir 200 kg de concentrat dont la fraction massique est de 60 % en sel.

1. Réaliser un schéma de principe représentant les entrées et les sorties des flux de matière de l'évaporateur.
2. A l'aide d'un bilan matière en sel, déterminer la masse de solution introduite dans l'évaporateur.
3. A l'aide d'un bilan matière global, calculer la masse d'eau éliminée par distillation.
4. Déterminer les masses d'eau et de sel contenues dans le concentrat.

EXERCICE 3 : Concentration d'une solution de saccharose

Une solution aqueuse de saccharose pénètre dans l'évaporateur fonctionnant sous une pression de 1 bar avec un débit massique de $1000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ et une fraction massique de 10 %. Sa température d'entrée dans l'évaporateur est de 102°C , qui correspond à la température d'ébullition de la solution. L'évaporateur est chauffé par de la vapeur à une pression de 12 bars, qui circule à une température de 186°C .

On souhaite concentrer la solution à une fraction massique de 30 % en saccharose.

1. Après avoir réalisé le schéma de principe représentant les entrées et les sorties des flux de matière de l'évaporateur, déterminer le débit massique de concentrat obtenu.
2. Calculer le débit massique d'eau à évaporer.
3. Calculer la puissance thermique nécessaire pour réaliser l'opération. Pour cela, calculer la puissance thermique nécessaire pour évaporer le solvant de la solution.
4. En réalisant un bilan thermique, déterminer le débit massique de vapeur de chauffe à utiliser. On considère que la vapeur de chauffe ne fait que se condenser dans l'évaporateur.

Données : $c_p(\text{solution}) = 4,18 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$
Enthalpie de changement d'état à 102°C : $L_{v1} = 2239 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
Enthalpie de changement d'état à 186°C : $L_{v2} = 1995 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

**Données : Rappel sur la détermination des puissances thermiques**

Puissance thermique donnée ou reçue lors d'un changement de température

$$P = Q \times c_p \times (T_{\text{sortie}} - T_{\text{entrée}})$$

Puissance thermique donnée ou reçue lors d'un changement d'état

$$P = Q \times L \quad \text{avec } L : \text{enthalpie de changement d'état}$$

$L_v > 0$ dans le cas d'une vaporisation et $L_c < 0$ dans le cas d'une condensation

$$\text{Bilan thermique : } P_{\text{reçue}} = - P_{\text{donnée}}$$

EXERCICE 4 : Concentration d'une solution de carbonate de sodium**Partie 1 : Evaporateur simple effet**

Un évaporateur à simple effet concentre une solution aqueuse dont la fraction massique est de 12,5 % en carbonate de sodium. La solution entre dans l'évaporateur avec un débit massique de 1200 kg.h^{-1} et on souhaite obtenir un concentrat sortant avec un débit massique de 500 kg.h^{-1} . L'évaporation a lieu à la pression atmosphérique et la température dans cet échangeur est de 100°C .

1. Déterminer le débit massique de vapeur de solvant sortant de l'évaporateur.
2. Calculer la fraction massique en carbonate de sodium de la solution concentrée obtenue.

Partie 2 : Evaporateurs multiples effets

A la sortie du premier évaporateur, la solution concentrée est introduite dans un second évaporateur.

Ce second évaporateur fonctionne à une pression de 0,60 bar, diminuant ainsi la température d'ébullition de la solution à 85°C . Cet évaporateur est chauffé grâce aux vapeurs de solvant sortant du premier évaporateur.

3. Réaliser le schéma de principe représentant les entrées et les sorties de flux de matière de l'opération en prenant en compte les deux évaporateurs et les données obtenues dans la partie 1.
4. Calculer la puissance thermique fournie par la condensation des vapeurs de chauffe arrivant dans ce second évaporateur (on rappelle que la vapeur de chauffe de cet évaporateur est la vapeur de solvant sortant du premier évaporateur).
5. En réalisant un bilan thermique sur ce second évaporateur, déterminer le débit massique de vapeur de solvant évaporée dans ce second évaporateur. On considère que l'apport d'énergie ne sert qu'à vaporiser le débit massique Q'_{mv} de vapeur de solvant.
6. En déduire le débit massique de concentrat sortant du second effet (second évaporateur).
7. Calculer la fraction massique en carbonate de sodium de la solution sortant de l'installation.
8. Indiquer l'intérêt de l'évaporateur multiples effets.

Données :

Enthalpie de changement d'état à 85°C : $L_{v1} = 2288 \text{ kJ.kg}^{-1}$

Enthalpie de changement d'état à 100°C : $L_{v2} = 2245 \text{ kJ.kg}^{-1}$



EXERCICE 5 : Concentration et cristallisation d'une solution d'acide borique

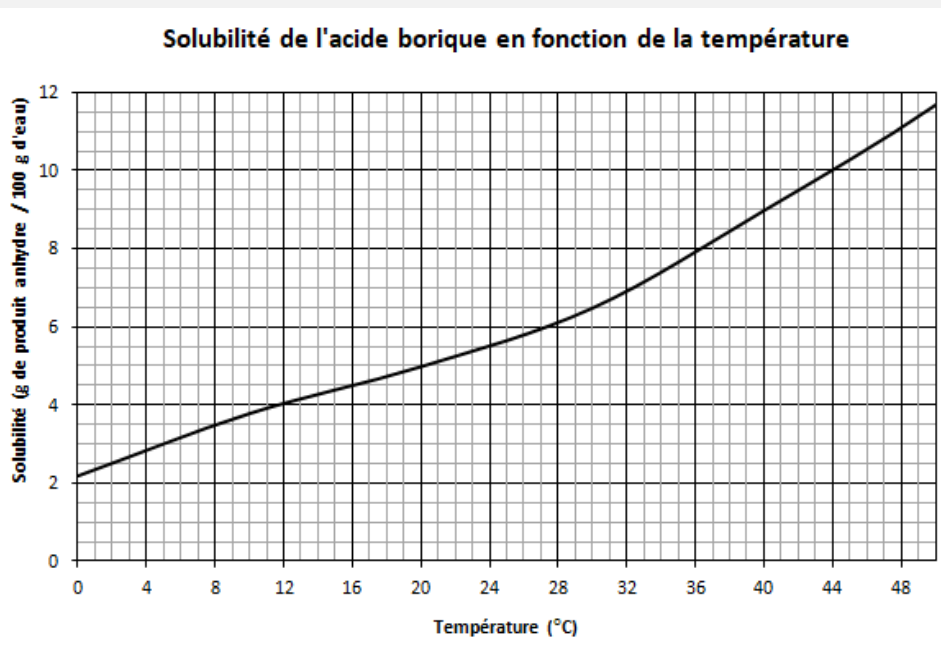
Après différentes phases de fabrication, on a obtenu 250 kg d'une solution aqueuse d'acide borique saturée à 20°C. Dans un évaporateur, on concentre cette solution par évaporation de 100 kg d'eau.

1. Calculer la fraction massique en acide borique de la solution saturée à 20°C entrant dans l'évaporateur.
2. Réaliser le schéma de principe représentant les entrées et les sorties de flux de matière de l'opération.
3. Déterminer la masse de solution concentrée obtenue après évaporation.
4. Déterminer la fraction massique en acide borique de la solution concentrée.

On refroidit la solution ainsi obtenue à 20°C et on filtre.

5. Réaliser le schéma de principe représentant les entrées et les sorties de flux de matière de l'opération.
6. Indiquer la fraction massique en acide borique des eaux mères et des cristaux obtenus à la sortie du filtre.
7. On récupère 145 kg d'eaux mères. Déterminer la masse de cristaux obtenus lors de l'opération.
8. En déduire le rendement de la cristallisation.

Document 1 : Courbe de solubilité de l'acide borique



EXERCICE 6 : Cristallisation par évaporation d'une solution

On concentre 2 tonne de solution aqueuse de fraction massique en soluté égale à 15 % massique en soluté par évaporation d'eau. On obtient 400 kg d'une solution saturée en soluté à la température de 105°C.

1. Déterminer les masses d'eau et de soluté de la solution entrant dans l'évaporateur.
2. Calculer la fraction massique de la solution concentrée sortant de l'évaporateur.
3. Réaliser le schéma de principe représentant les entrées et les sorties de flux de matière de l'évaporateur.
4. Déterminer la masse de solution concentrée sortant de l'évaporateur.

On refroidit à 15°C la solution concentrée. On filtre la bouillie obtenue (mélange composé des cristaux et d'une solution saturée à 15°C).



5. Réaliser le schéma de principe représentant les entrées et les sorties de flux de matière du cristalliseur.
6. Calculer la masse de cristaux obtenue.

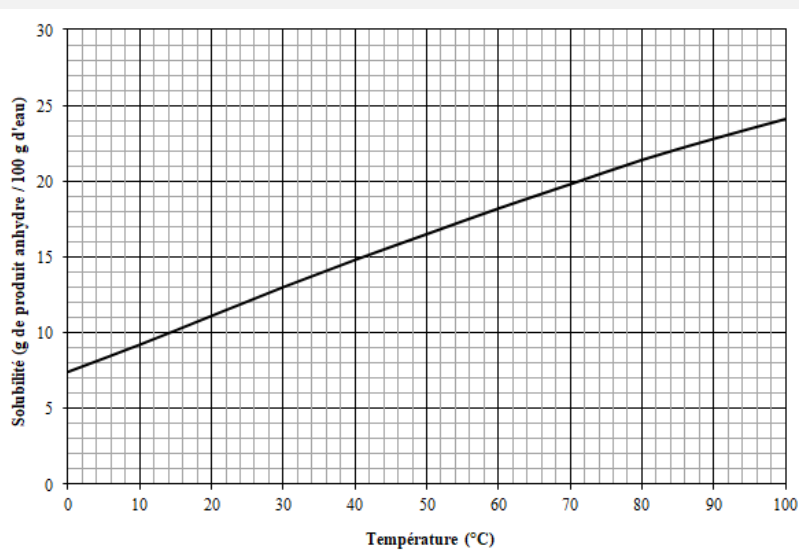
Solubilité de la solution en soluté : à 105°C : $s = 150$ g de sel/ 100 g d'eau
A 15°C : $s = 45$ g de sel pour 100 g d'eau

EXERCICE 7 : Concentration d'une solution de sulfate de potassium

Un cristalliseur traite $2,5 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ de solution saturée de sulfate de potassium à 90°C qui est refroidie à 10°C. Après filtration, les cristaux (ne contenant que du sulfate de potassium solide) sont séparés des eaux mères saturées en sel.

1. A partir de la courbe de solubilité, déterminer le titre massique de la solution entrant dans le cristalliseur.
2. Indiquer le titre massique en sulfate de potassium des cristaux.
3. A partir de la courbe de solubilité, calculer le titre massique en sulfate de potassium des eaux mères.
4. Après avoir réalisé un bilan matière global et un bilan matière en sulfate de potassium, calculer la masse des eaux mères récupérées et la masse de cristaux formés.
5. Calculer le rendement de la cristallisation.

DOCUMENT 1 : courbe de solubilité du sulfate de potassium



EXERCICE 8 : Concentration d'une solution de sulfate de sodium

On cristallise en continu une solution aqueuse saturée en sulfate de sodium à 50°C. Le débit de la solution à traiter est de $1 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ et la température de cristallisation est de 10°C.

On donne les solubilités en sel suivantes:

10°C: 9 g Na_2SO_4 / 100 g d'eau



50°C: 46,7 g Na_2SO_4 / 100 g d'eau

On signale que le sulfate de sodium cristallise sous forme décahydratée dans les conditions de cette fabrication.

1. Déterminer la fraction massique en Na_2SO_4 de la solution entrant dans le cristalliseur.
2. Déterminer la fraction massique en Na_2SO_4 des cristaux sachant qu'ils cristallisent sous forme décahydratée.
3. Déterminer la fraction massique en Na_2SO_4 des eaux mères récupérées.
4. Réaliser le schéma de principe représentant les entrées et les sorties de flux de matière du cristalliseur.
5. Calculer la masse de cristaux obtenus à l'aide d'un bilan matière puis la masse des eaux-mères obtenues.
6. Déterminer le rendement de la cristallisation.

Masses molaires : $M_{\text{sulfate de sodium}} = 142 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

$M_{\text{eau}} = 18 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

DOCUMENT 1 : courbe de solubilité du sulfate de sodium

