Université de Djillali Bounaama
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie de procédés
Année universitaire : 2025- 2026

M1 GPH/M1 GA
Opérations unitaires f-s

Corrigée Interrogation

Exercice :

Un évaporateur simple effet concentre 1 tonne par heure de solution aqueuse de carbonate de sodium à 10% en poids, de manière à obtenir une solution à 30% poids de Na_2CO_3. L'évaporation a lieu à pression atmosphérique par de la vapeur d'eau sous une pression effective de 1.5 bar. Les températures des solutions d'alimentation et de concentrats sont respectivement 20 et 104°C. La solution chaude sortant de l'évaporateur est cristallisée par refroidissement à 0°C au moyen d'une saumure de manière à provoquer le dépôt de carbonate de sodium décahydraté. Déterminer en complétant le schéma ci-dessous :

- La quantité de concentrât obtenu et d'eau évaporée ?

Les équations de bilan matière global et en Na_2CO_3 s'écrivent :

$A = B + V$ ……. (1)

$A\ w_A = B\ w_B + V\ w_V$ ……. (2)

Avec $w_V = 0$

$W_B = 0.3$

$$w_{A\,(20\,°C)} = \frac{\text{masse du soluté}}{\text{masse du soluté+masse du solvant=100}} = \frac{11.12}{11.12 + 100}$$

=> $w_A = 0.1 = 10\%$

$B = A\ w_A / w_B = (1000 \times 0.1) / 0.3 = 333.3$ kg/h

$V = A - B = 1000 - 333.3 = 666.7$ kg/h

- La quantité de $Na_2CO_3, 10H_2O$ formé et des eaux mères obtenues ?

$B = Cr + E$ ……. (1)

$B\ w_B = Cr\ w_{Cr} + E\ w_E$ ……. (2)

$E = B - Cr$ …… (3)

(3) dans (2): $B\ w_B = Cr\ w_{Cr} + (B - Cr)\ w_E$

$B\ w_B = Cr\ w_{Cr} + B\ w_E - Cr\ w_E$

$B\ (w_B - w_E) = Cr\ (w_{Cr} - w_E)$

D'où: $$Cr = \frac{B\ (w_B - w_E)}{(w_{Cr} - w_E)}$$

Les cristaux étant déca-hydraté, leur titre est donc :

$$w_{Cr} = \frac{160}{160 + (10 \times 18)}$$

=> $\mathbf{w_{Cr}} = 0.3706 = 37.06\%$

Solubilité à 0 °C: 7 g de Na_2CO_3 /100 g d'eau.

$$w_E = \frac{\text{masse du soluté}}{\text{masse du soluté+masse du solvant=100}} = \frac{7}{7 + 100}$$

=> $w_E = 0.0654 = 6.54\%$

$$Cr = \frac{333.3\ (0.3 - 0.0654)}{(0.3706 - 0.0654)} \Rightarrow Cr = 256.2 \text{ kg/h}$$

De (1): $E = B - Cr = 333.3 - 256.2 = 77.1$ kg/h

- Le rendement de cristallisation sur le cristalliseur ?

Le rendement s'écrit :

$$\eta = \frac{Cr\ w_{Cr}}{B\ w_B} = \frac{256.2 \text{ x } 0.3706}{333.3 \text{ x } 0.3} \Rightarrow \eta = 94.95\%$$

- La quantité de chaleur à éliminer au niveau du cristalliseur seul ?

La chaleur à éliminer se calcule par le bilan enthalpique suivant :

$$B\ \Delta H_B + \Phi_{Global} = Cr\ \Delta H_{Cr} + E\ \Delta H_E$$

D'où : $\Phi_{Global} = Cr\ \Delta H_{Cr} + E\ \Delta H_E - B\ \Delta H_B = (256.2 \text{ x } -301) + (77.1 \text{ x } -12.5) - (333.3 \text{ x } 271.7)$

$\Phi_{Global} = -168637.56$ kJ/h

- Le débit-masse de saumure circulant à contre-courant, qui entre à -7°C dans le système réfrigérant et qui en sort à 20°C ? Déterminer enfin la surface de réfrigération ?

Le débit de saumure se déduit du bilan énergétique :

$|\Phi global| = D_S\ Cp_S\ (20 - (-7))$

D'où: $D_S = |\Phi\ global| / (Cp_S \text{ x } 27) = 168637.56 / (3.66 \text{ x } 27)$

$D_S = 1706.51$ kg/h

La moyenne logarithmique des écarts de température est donc :

$\Delta T\ ml = [(104 - 20) - (0 + 7)] / \ln [(104 - 20) / (0 + 7)]$

$\Delta T\ ml = 31$ °C

Le flux échangé s'écrit :

Φ échangé $= |\Phi\ global| = K \text{ x } S \text{ x } \Delta T\ ml$

D'où: $S = |\Phi\ global| / (K \text{ x } \Delta T\ ml) = 168637.56 / (710 \text{ x } 31)$

=> $S = 7.66\ m^2$

