

BE : ECOULEMENTS DIPHASIQUES AVEC CHANGEMENT DE PHASE

Evaporateur vertical

On considère un évaporateur cylindrique vertical de diamètre $D= 5\text{mm}$, dans lequel circule un liquide réfrigérant du R134a sous une pression de 10 bars. La paroi du tube est chauffée à une température constante de 58°C .

Dans les conditions de saturation à 10 bars correspondant à une température de saturation T_{sat} de 40°C , les propriétés physiques du réfrigérant liquide et vapeur sont les suivantes :

- la masse volumique du liquide $\rho_l=1147,6 \text{ kg/m}^3$
- la masse volumique de la vapeur $\rho_v=49.802 \text{ kg/m}^3$
- la viscosité dynamique du liquide $\mu_l=1,64.10^{-4} \text{ Pa.s}$
- la viscosité dynamique de la vapeur $\mu_v=1,25.10^{-5} \text{ Pa.s}$
- la tension superficielle liquide-vapeur $\sigma=0.0061 \text{ N/m}$
- la chaleur latente de vaporisation $h_{lv}=255,7 \text{ kJ/kg}$
- la conductivité thermique du liquide $\lambda=0,07479 \text{ W/m/K}$
- la capacité calorifique à pression constante du liquide $C_p=1497 \text{ J/kg/K}$

1) Le liquide entre en bas du tube à la cote $z=0$ avec un débit massique $\dot{m}=15\text{g/s}$ à température de saturation. L'ébullition démarre immédiatement. On estimera le flux de chaleur échangé entre la paroi et le fluide par la corrélation de Schrock et Grossman qui permet de calculer le coefficient d'échange convectif H en ébullition saturée, en fonction d'un coefficient d'échange convectif de l'écoulement de liquide H_L et d'un paramètre X :

$$H = 7390 H_L \left[\frac{q}{G h_{lv}} + 0,00015 \frac{1}{X^{0,66}} \right] \quad \text{avec} \quad q = H(T_p - T_{\text{sat}}) \quad \text{et} \quad G = \frac{4\dot{m}}{\pi D^2}$$

$$H_L = \frac{\lambda}{D} 0,023 \left(\frac{G(1-x)D}{\mu_l} \right)^{0,8} \text{Pr}^{-1/3} \quad \text{et} \quad X = \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0,875} \sqrt{\frac{\rho_v(\mu_l)}{\rho_l(\mu_v)}}^{0,125}$$

A l'aide des équations précédentes, estimer le coefficient d'échange H et la densité de flux de chaleur q pour les valeurs suivantes des titres massiques : $x=0,2$ $x=0,3$ $x=0,4$ $x=0,6$ et $x=0,8$. A partir des valeurs obtenues, on proposera un lissage par un polynôme de degré 1 permettant de calculer l'évolution de q en fonction de x de la forme $q = -348767x + 316408$.

2) Donner une expression analytique du titre massique en fonction de la cote z repérée depuis l'entrée de l'évaporateur. Calculer l'évolution des vitesses débitantes de liquide et de vapeur j_L et j_V , et caractériser les régimes d'écoulements à partir de la carte de configuration de la figure 1.

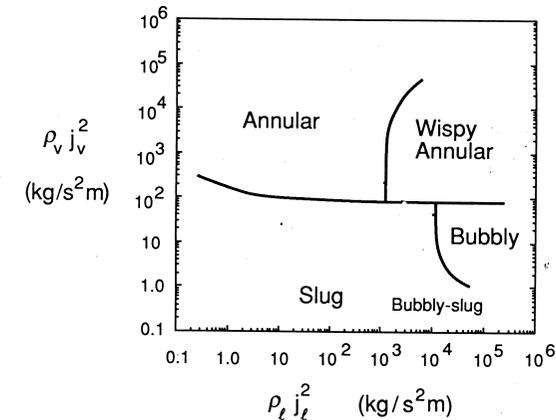


Figure 1 : Carte de configuration pour un écoulement bouillant de réfrigérant

3) En régime d'écoulement annulaire lisse et sans arrachage de gouttelettes, écrire une équation qui permette de calculer l'évolution du taux de vide R_{G1} le long du tube. On utilisera l'expression obtenue à la question 2 pour calculer l'évolution du titre massique dx/dz et on prendra une valeur de 0,005 pour les coefficients de frottement pariétal f_p et interfacial f_i . Cette équation peut être résolue numériquement. Les valeurs de R_{G1} obtenues en fonction du titre sont portées sur la figure 2. Tracer l'évolution de l'épaisseur δ du film liquide en fonction de z .

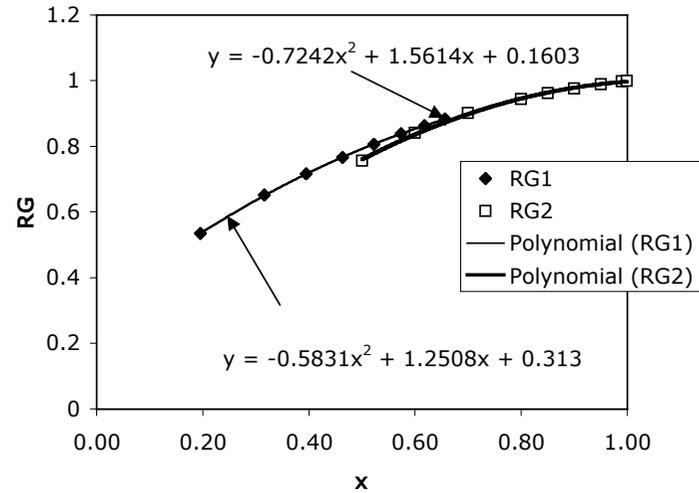


Figure 2 : Résolution numérique des équations $f(R_G, x)=0$

4) Lorsque le film de liquide devient suffisamment mince, l'écoulement est laminaire ($Re_l = U_1 \delta \rho_l / \mu_l < 2000$). Écrire une équation permettant de calculer l'évolution du titre massique de vapeur x en fonction de δ , D , λ , $T_p - T_{sat}$, G et h_{lv} . On considèrera que l'échange thermique à travers le film de liquide se fait par conduction seule. Comme dans le cas précédent écrire une équation qui permette de calculer le taux de vide R_{G2} en fonction de x . Proposer un algorithme de résolution pour calculer l'évolution de R_{G2} avec z . La figure 2 donne l'évolution de R_{G2} en fonction de x . À l'aide de cette figure, tracer l'évolution de l'épaisseur du film liquide avec z . À partir de quelle cote z est-il raisonnable d'utiliser ce modèle?

5) Déterminer la valeur de z pour laquelle on obtient un écoulement de vapeur pure.

6) Donner l'expression de la différence de pression entre l'entrée du tube ($z=0$) et la sortie du tube ($z=4m$). Essayer d'estimer cette différence de pression et la contribution des différents termes.