

Feuille de notes M1 FCC

Matière : Transferts thermiques lors de changement de phase

Examen

Date: 08 / 05 / 2024

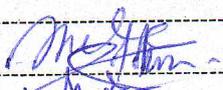
C. Continu

Semestre d'étude : 5e

Rattrapage

Salle: E18

Examen de remplacement

N°	Nom	Prénom	Signature	Notes/20
1	ABDI	Djillali		/
2	AIT HAMMOU	BILLAL		/
3	ALLALOU	RAOUF		/
4	AMEDJKANE	YANIS		/
5	BELARROUSSI	MUSTAPHA		/
6	CERBAH	CELINA		/
7	CHIBAH	AMAL		/
8	DAHMANI	Malik		/
9	FARSI	THIZIRI		00
10	GUETTAS	SAMIR		07,5
11	HABAREK	YOUNES		/
12	IBEROUALENE	Salem		/
13	KADIR	MAHFOUD		03,0
14	LALIAM	LILLIA		00
15	MAHFOUD	AMINE		06,5
16	MEKHTOUB	MAHDI		/
17	NAIT ALI	LOUNIS		/
18	REZZOUK	SOFIANE		00
19	SELMANE	Saïd		/
20	TALBI	YANEK		00
21	TALEM	ISMAIL		/
22	ZEGGANE	WALID		06,5
23				

Après chaque examens, les notes sont affichées ainsi que le corrigé et le barème détaillé (art 35 arrêté 171 du 09/02/2023)

Enseignant : LAUROUS N.

Date d'affichage : 13-05-2024

Date et salle de consultation des copies :
 Jeudi 16 Mai - 10h45
 Salle E18

Département de Génie Mécanique
 Le Chef de département,
 Section Suivi
 des Enseignements de Licence

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU

MASTER I Froid Chauffage Climatisation	Année universitaire : 2023/2024.
Faculté du génie de la construction	Département de Mécanique
Module : Transferts de chaleur lors des changements de phase	Durée : 2h00 Date : 08 /05/2024
Examen final	

Exercice 1 : (8 points)

Un tube cylindrique horizontal en platine de 3 mm de diamètre et de 7.5 cm de longueur est plongé dans de l'eau à la pression de 1.6 atmosphères.

- 2/15 1) Calculer la température de surface nécessaire pour générer une densité de flux de chaleur de 0.2 MW/m^2 .
- 2/15 2) Déterminer le débit massique d'eau évaporée.
- 2/15 3) Quel est le régime de cette ébullition ? Justifier la réponse après avoir déterminé la valeur du flux critique (utiliser la corrélation de Zuber).
- 2/15 4) Que deviendraient la densité de flux de chaleur échangée à la paroi et le débit d'eau évaporée pour une ébullition à pression normale à la même température de paroi ?

NB: Utiliser les tables appropriées pour déterminer les caractéristiques physiques de l'eau et de sa vapeur à l'état saturé.

Exercice N°2: (6 points)

Dans le condenseur d'une installation frigorifique, le fluide frigorigène à l'état de vapeur saturée à 41°C est condensé sur une plaque plane verticale, de hauteur $L=40 \text{ Cm}$ et de largeur $l=20 \text{ Cm}$, maintenue à une température constante de 33°C . La condensation étant en film, on supposera un régime laminaire d'écoulement du condensat.

- 1/15 1- Déterminer l'épaisseur du film de condensat ainsi que le coefficient d'échange local à une distance $x=20 \text{ cm}$ du bord supérieur de la plaque.
- 1/15 2- Mêmes questions pour le bord inférieur de la plaque. Commenter.
- 2/15 3- Déterminer le coefficient d'échange en considérant les deux cas possibles d'écoulement laminaire, à ondelettes ($40 \leq Re \leq 1800$) et sans ondelette ($0 \leq Re \leq 40$)
- 2/15 4- Déterminer la valeur minimale du nombre de Reynolds.
- 1/15 5- Conclure sur la nature du régime d'écoulement et en déduire le débit massique de condensat.
- 2/15 6- Calculer alors le flux de chaleur total transféré à la plaque.

Propriétés du fluide frigorigène :

- Liquide saturé : $\rho_l=1131 \text{ Kg/m}^3$; $\mu_l=1,387 \cdot 10^{-4} \text{ PaS}$; $k_l=0,0762 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
- Vapeur saturée : $\rho_v=66,19 \text{ Kg/m}^3$
- Chaleur latente de vaporisation : $i_{lg}=168324 \text{ J/Kg}$

Exercice N°3: (6 points)

On veut étudier le problème de fusion d'un bloc de paraffine de grand volume, initialement à température de fusion $T_f=28^\circ\text{C}$, en portant subitement une de ses faces à une température de 70°C . Nous négligerons tout mouvement de la partie fondue et nous considérerons que le phénomène est unidirectionnel.

1- Déterminer après 30 heures la position du front de liquéfaction X de la paraffine et le profil de température dans la partie liquide :

- a- A partir de la solution analytique exacte.
- b- A partir de la solution approchée de l'approximation quasi statique.

2- Comparer les valeurs de la température du liquide obtenues par les deux méthodes, toujours après 30 h, à une distance $x= X/2$ de la face supérieure du bloc. Conclure.

Propriétés de la paraffine : $a_l=1,09 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$; $\rho_s=\rho_l=814 \text{ kg/m}^3$; $h_{sl}=241 \text{ KJ/kg}$; $C_l=2,14 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$

Compte de l'épreuve finale du module
de Transfert Thermiques lors des changements de phase
 M1 - FCC - Année 2023-2024.

Exercice 1: 1) la formule de Rohsenow s'écrit: $\frac{C_{pe} \Delta T_{sat}}{h_{fg} Pr} = C_{sf} \left[\frac{q/A}{h_{fg}} \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)}} \right]^{1/3}$.

Soit $\Delta T_{sat} = T_p - T_{sat} = \frac{C_{sf} h_{fg} Pr}{C_{pe}} \left[\frac{q/A}{h_{fg}} \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)}} \right]^{1/3}$.

Les propriétés du liquide et de la vapeur sont à déterminer à la température de saturation, qui est égale dans le cas où la pression $P_{sat} = 1,6 \text{ atm} = 1,62 \text{ Pa}$ à $T_{sat} = 113,7^\circ\text{C}$. (0,5 pt)

Pour cette température, on obtient:

{	eau :	$\rho_l = 947 \text{ kg/m}^3$	$\mu_l = 0,000245 \text{ kg/ms}$
		$C_{pe} = 4209 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$	$\lambda_l = 0,6820 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, $Pr = 1,512$
}	vapeur :	$\rho_v = 0,920 \text{ kg/m}^3$	$\mu_v = 2220,87 \text{ kg/ms}$
			$\sigma = 0,05597 \text{ N/m}$

$\Rightarrow \Delta T_{sat} = 10^\circ\text{C} \Rightarrow T_p = 123,7^\circ\text{C}$ (1,5 pt)

2) le flux de chaleur échangé est $\phi = (q/A) \cdot A = \dot{m}_v \cdot h_{fg} \Rightarrow \dot{m}_v = \frac{(q/A) \cdot A \Delta T_{sat}}{h_{fg}}$.

soit $\dot{m}_v = 0,0637 \text{ g/s}$. (2 pt)

3) la formule de Zuber s'écrit: $(q/A)_{max} = \frac{\pi}{24} h_{fg} \rho_v \left[\frac{\sigma g (\rho_l - \rho_v)}{\rho_v^2} \right]^{1/4} \left(1 + \frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^{1/2}$ (1 pt)

soit $(q/A)_{max} = 1,331245,2 \text{ W/m}^2 \approx 1,33 \text{ MW/m}^2 > (q/A) = 0,2 \text{ MW/m}^2$ (1 pt)

4) Comme $\Delta T_{sat} = 10^\circ\text{C}$, cela indique que le régime est l'ébullition nucléée.

lorsque $P = P_{atm}$, la température de saturation devient égale à 100°C . Les propriétés de l'eau et de la vapeur ne sont plus les mêmes, donc le flux échangé dans ce cas sera différent ~~et~~ étant plus que ΔT_{sat} change aussi. Soit $(q/A)'$ la nouvelle valeur de la densité de flux:

$$\frac{(q/A)'}{q/A} = \left(\frac{C_{pe}' / h_{fg}' Pr'}{C_{pe} / h_{fg} Pr} \cdot \frac{\Delta T_{sat}'}{\Delta T_{sat}} \right)^3 \left(\frac{\mu_l' h_{fg}'}{\mu_l h_{fg}} \right) \sqrt{\frac{(\rho_l' - \rho_v') / \sigma'}{(\rho_l - \rho_v) / \sigma}}$$

où $\Delta T_{sat}' = 23,7^\circ\text{C}$ (2 pt)

avec $C_{pe}' = 4216 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$; $\rho_l' = 958,05 \text{ kg/m}^3$; $\mu_l' = 0,000282$; $Pr' = 0,677$; $\lambda_l' = 2257,92 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
 $\rho_v' = 0,590 \text{ kg/m}^3$; $\sigma' = 0,0588 \text{ N/m}$; on trouve $(q/A)' = 9,3 (q/A) = 1,86 \text{ MW/m}^2$
 $\dot{m}_v' = 9,3 \dot{m}_v = 0,592 \text{ g/s}$

1) Pour la condensation en film on peut déterminer l'épaisseur du film avec la relation et $h_x = \left[\frac{\rho_l(\rho_l - \rho_v)g \mu_l k_l^3}{4H_e(T_{sat} - T_p)x} \right]^{1/4}$

$$S_x(20) = \left[\frac{4 H_e k_l (T_{sat} - T_p)}{\rho_l (\rho_l - \rho_v) g \mu_l} x \right]^{1/4} = 0,0763 \text{ mm. } (1 \text{ pt}) \text{ et } h_x(20) = 998 \text{ W/m}^2\text{K}$$

2) $S_x(40) = \left(\frac{40}{20} \right)^{1/4} \cdot S_x(20) = 0,0908 \text{ mm. } (1 \text{ pt}) \text{ } h_x(40) = 840 \text{ W/m}^2\text{K}$

3) Deux cas d'écoulement laminaire sont possibles :

- a) $Re_l < 30$: écoulement laminaire sans ondulation.
- b) $Re_l > 30$: " " avec des ondulations.

Dans le cas a) : $\bar{h}_1 = 0,943 \left[\frac{\rho_l(\rho_l - \rho_v)g \mu_l k_l^3}{L H_e (T_{sat} - T_p)} \right]^{1/4} = 1118,95 \text{ W/m}^2\text{K} (1 \text{ pt})$

Dans le cas b) $\bar{h}_2 = \bar{h}_1 \times 1,2 = 1342,73 \text{ W/m}^2\text{K}$

4) Calculons le nombre de Reynolds minimal :

$$Re_{l \min} = \frac{4 \dot{m}}{P \mu_l} \text{ avec } P = l \text{ (plaque) et } \dot{m} = \frac{\bar{h} A (T_{sat} - T_p)}{\mu_l}$$

$$D'ou \quad Re_{l \min} = \frac{4 \cdot \bar{h}_1 \cdot l \cdot L (T_{sat} - T_p)}{l \cdot \mu_l \cdot \mu_l} = 613,5 > 40 (1 \text{ pt})$$

5) On est donc dans le cas du régime laminaire avec ondulations. le coefficient d'échange est donc $\bar{h}_1 = \bar{h}_2 = 1342,73 \text{ W/m}^2\text{K}$.

D'où le débit massique de condensat :

$$\dot{m} = \frac{\bar{h} A (T_{sat} - T_p)}{\mu_l} = 0,00511 \text{ kg/s} = 5,11 \text{ g/s. } (1 \text{ pt})$$

6) le flux de chaleur transféré à la paroi est :

$$\phi = \bar{h} A (T_{sat} - T_p) = 859,35 \text{ W } (1 \text{ pt})$$

Exercice 3 :

d) a) La solution analytique pour la fusion d'un corps qui initialement à température de fusion T_f s'écrit :

$$\begin{cases} T_l(x,t) = T_0 - (T_0 - T_f) \frac{\operatorname{erf}(x/2\sqrt{a_l t})}{\operatorname{erf} \mu} \\ \text{et} \\ X(t) = 2\mu\sqrt{a_l t} \end{cases} \quad \text{où } \mu \text{ est la solution de l'équation: } \mu e^{\mu^2} \operatorname{erf} \mu = \frac{\operatorname{Step}}{\sqrt{a_l}}$$

avec $\operatorname{Step} = \frac{C_p(T_0 - T_f)}{h_{se}}$, avec de Stefan

(1 pt)

Avec les données du problème, on trouve $\operatorname{Step} = 0,37$, ce qui donne $\mu = 0,41$ soit $\operatorname{erf} \mu = 0,43797$. En portant ces données sur la relation de la température du liquide et du front de fusion, on obtient :

$$\begin{cases} T_l(x,t) = 70 - 95,897 \operatorname{erf}(x/2\sqrt{1,09 \cdot 10^7 t}) \\ X(t) = 0,82\sqrt{1,09 \cdot 10^7 t} \end{cases} \quad \text{pour } t_0 = 30 \text{ h} = 1,08 \cdot 10^5 \text{ s, on trouve } X(t_0) = 8,9 \text{ cm}$$

(2 pts)

b) La solution approchée par l'approximation quasistatique pour une température T_0 constante s'écrit :

$$\begin{cases} T_l(x,t) = T_0 - \frac{T_0 - T_f}{X(t)} \cdot x \\ X(t) = \sqrt{\frac{2 k_l}{\rho_l h_{se}} (T_0 - T_f) t} = \sqrt{2 a_l \cdot \operatorname{Step} \cdot t} \end{cases} \quad (1 \text{ pt})$$

Avec les données du problème, on trouve :

$$\begin{cases} T_l(x,t) = 70 - \frac{42 x}{\sqrt{0,8066 \cdot 10^7 t}} \\ X(t) = \sqrt{0,8066 \cdot 10^7 t} \end{cases} \quad (2 \text{ pts})$$

pour $t = t_0$, cette dernière donne : $X(t_0) = 9,33 \text{ cm}$, > solution exacte.
Par comparaison avec la solution exacte, on trouve $\frac{\Delta X(t_0)}{X(t_0)} = \frac{0,43}{9} \approx 4,7\%$.
ce qui reste une bonne approximation.

c) Si on calcule les températures exacte et approximée à $x = X/2$, on trouve :

• solution analytique : $T(X/2, t_0) = 48,12^\circ \text{C}$ (1 pt)
• " approximée : $T(X/2, t_0) = 49^\circ \text{C}$ (1 pt) > solution exacte.

la différence est de l'ordre de 2%, ce qui est une très bonne approximation. (1 pt)