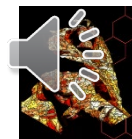


Analyse du champ de température et de la création d'entropie dans un évaporateur à film tombant

Arnat MAHAMOUDOU¹, Nolwenn LE PIERRÈS¹, Julien RAMOUSSE¹

¹ Laboratoire LOCIE, USMB – CNRS UMR 5271, 73370 Le Bourget-du-Lac.



PLAN

1

Introduction
Description du problème

2

Equations du modèle
Conditions aux limites

3

Paramètres de fonctionnement
Validation du modèle

4

Film saturé à l'entrée
Film surchauffé en entrée

5

Conclusions
Perspectives

Introduction

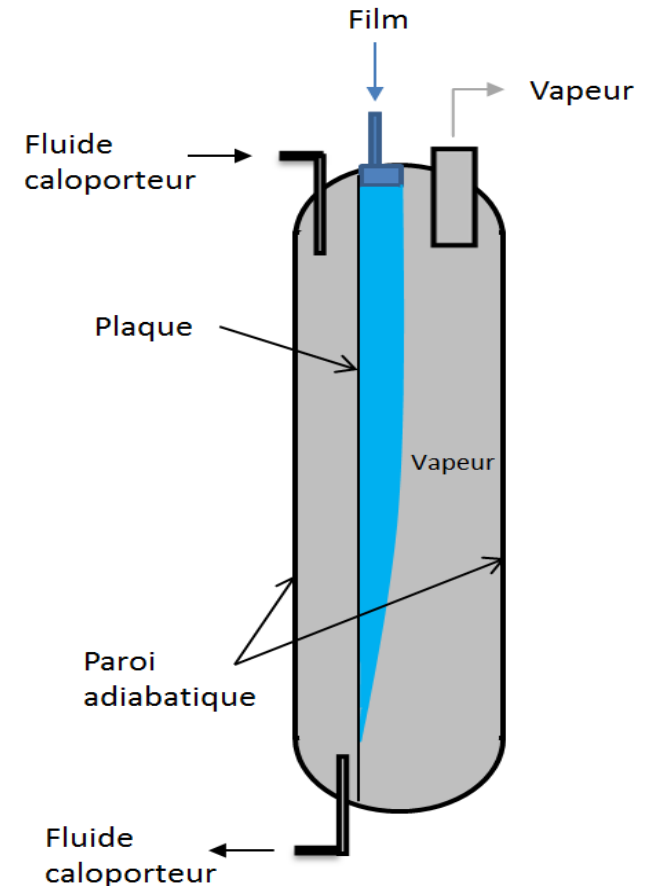
Un échangeur de chaleur à changement de phase.

Avantages

- ✓ Faibles pincements de température
- ✓ Grands coefficients de transfert de chaleur
- ✓ Compact

Objectifs

- ✓ Détermination du profil de température locale
- ✓ Etude et analyse de la création d'entropie locale
- ✓ Impact de la surchauffe du film en entrée et de vitesse du fluide caloporteur sur le débit évaporé.



1

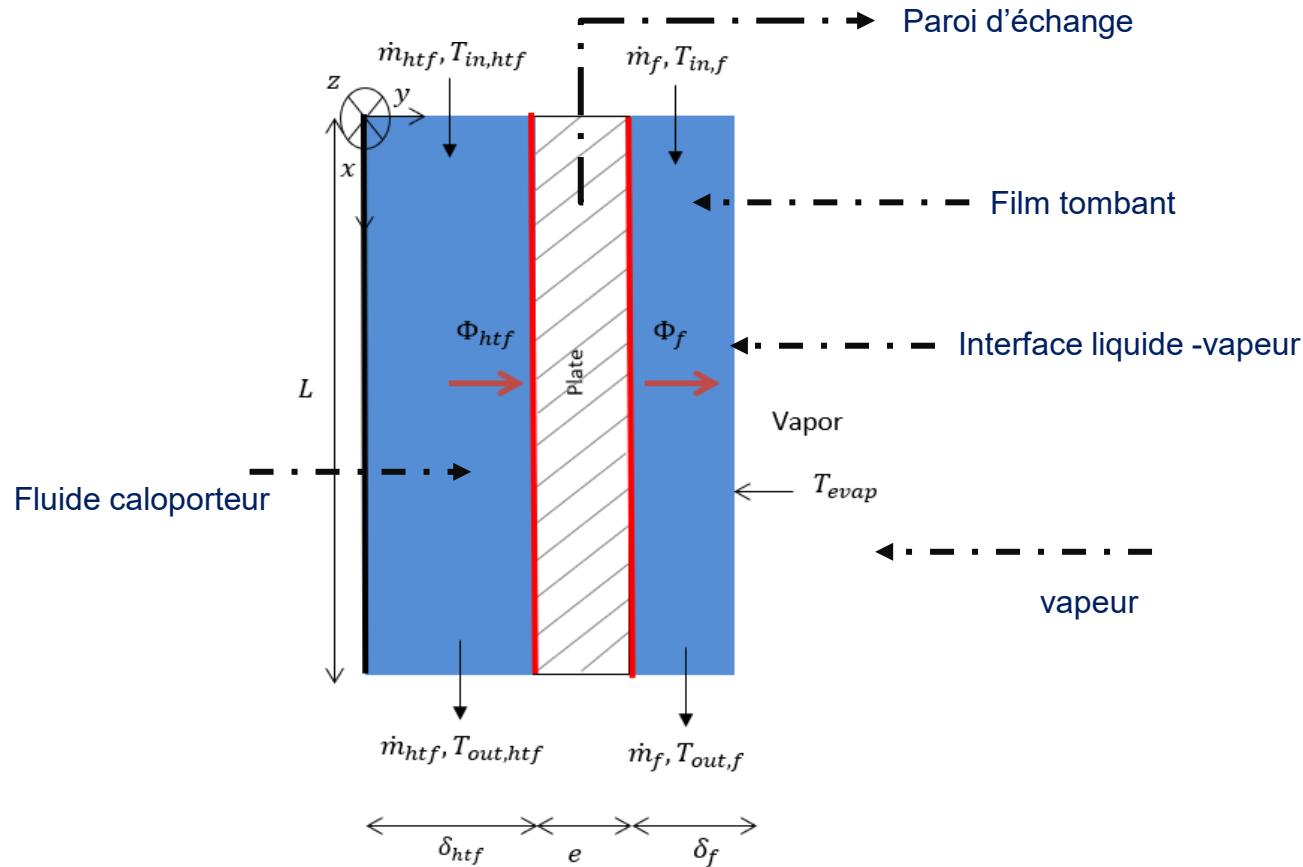
2

3

4

5

Description du problème



- Régime stationnaire;
- Propriétés des fluides constantes;
- Température d'évaporation égale à la température de saturation;
- Epaisseur constante;
- Phénomènes de conduction négligés dans le sens de l'écoulement;
- Pas de changement de phase dans l'épaisseur du film;
- Forces de cisaillement négligées à la surface libre.

Equations du modèle

Profil de vitesses

$$\begin{cases} u_{htf}(y) = 4 \cdot u_{htf,max} \left(\frac{y}{\delta_{htf}} - \left(\frac{y}{\delta_{htf}} \right)^2 \right) & \text{Poiseuille} \\ u_f(y_1) = \frac{\rho_f g}{\mu_f} \delta_f^2 \left(\frac{y_1}{\delta_f} - \frac{1}{2} \left(\frac{y_1}{\delta_f} \right)^2 \right) \text{ où } y_1 = y - \delta_{htf} - e & \text{Nusselt} \end{cases}$$

Equations de la chaleur

$$\begin{cases} \rho_{htf} C_{p,htf} u_{htf}(y) \frac{\partial T_{htf}(x,y)}{\partial x} = \lambda_{htf} \frac{\partial^2 T_{htf}(x,y)}{\partial y^2} & \text{Fluide caloporteur} \\ \frac{\partial T_p(x,y)}{\partial y} = \frac{T_f(x, \delta_{htf} + e) - T_{htf}(x, \delta_{htf})}{e} & \text{Paroi d'échange} \\ \rho_f C_{p,f} u_f(y) \frac{\partial T_f(x,y)}{\partial x} = \lambda_f \frac{\partial^2 T_f(x,y)}{\partial y^2} & \text{Film tombant} \end{cases}$$

Equation création d'entropie

$$\dot{\sigma}_{gen} = \frac{\lambda}{T(x,y)^2} \left(\frac{\partial T(x,y)}{\partial y} \right)^2 + \frac{\mu}{T(x,y)} \left(\frac{\partial u(y)}{\partial y} \right)^2$$

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

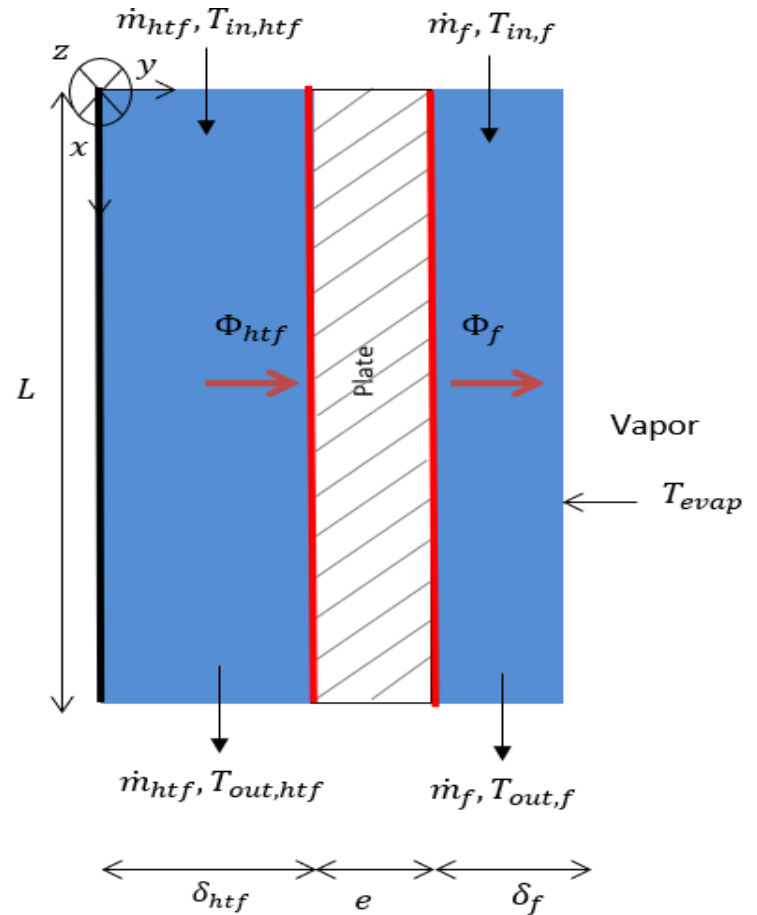
Conditions aux limites du modèle

$$y = 0 \quad \begin{cases} u_{htf} = 0 \\ \frac{\partial T_{htf}}{\partial y} = 0 \end{cases}$$

$$y = \delta_{htf} \quad \begin{cases} u_{htf} = 0 \\ \frac{\partial T_{htf}}{\partial y} = \frac{\partial T_p}{\partial y} = \Phi_p \end{cases}$$

$$y = \delta_{htf} + e \quad \begin{cases} u_f = 0 \\ \frac{\partial T_f}{\partial y} = \frac{\partial T_p}{\partial y} = \Phi_p \end{cases}$$

$$y = \delta_{htf} + e + \delta_f \quad \begin{cases} \frac{\partial u_f}{\partial y} = 0 \\ T_f(x, \delta_{htf} + e) = T_{sat} \text{ et } k_f \frac{\partial T_f}{\partial y} = \dot{m}_{evap} L_v \end{cases}$$





Paramètres de fonctionnement

	Epaisseur	Conductivité λ	Capacité calorifique C_p	Débit, Γ	Reynolds
	mm	$W.K^{-1}.m^{-1}$	$J.K^{-1}kg^{-1}$	kg/(s.m)	-
Plaque	0.05	500	-	-	-
Fluide caloporteur	0.2	0,61	4178.0	0.04 – 1.4	50 – 1750
Film tombant	0.13	0,61	4178.0	0.01	49.8

Température d'évaporation	Pression de saturation	Température du film à l'entrée	Masse volumique	Chaleur latente d'évaporation
K	kPa	K	$kg.m^{-3}$	$kJ.kg^{-1}$
300	3.4	300.0, 300.5, 301.0, 302.0 et 302.5	997.8	2400





Validation du modèle

Par comparaison de la création d'entropie à l'échelle globale

Second principe à l'échelle du composant

$$\dot{S}_{gen,th} = \frac{\dot{m}_{evap}\Delta H_{liq_vap}}{T_{sat}} + \dot{m}_{htf}C_{p,htf} \ln\left(\frac{T_{bulk,out,htf}}{T_{bulk,in,htf}}\right) + \dot{m}_f C_{p,f} \ln\left(\frac{T_{bulk,out,f}}{T_{bulk,in,f}}\right)$$

Avec

$$T_{bulk} = \frac{\iint \rho C_p u T(x, y) dx dy}{\rho C_p u_{moy} S}$$

Intégration du local au global

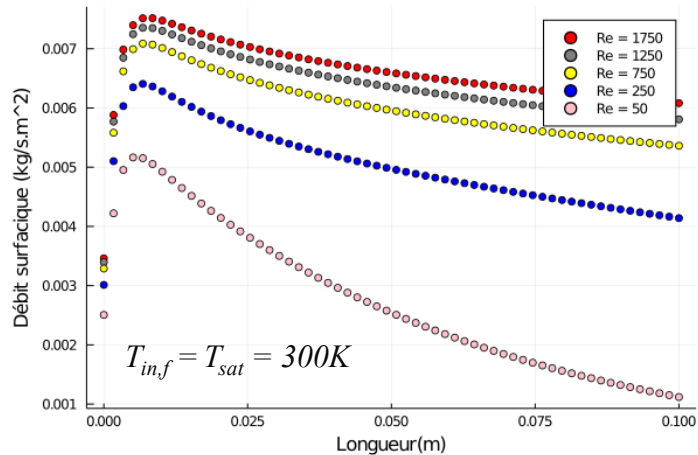
$$\dot{S}_{gen,th} = \iiint \dot{\sigma}_{gen,th} dx dy dz$$

Dans les conditions de simulation, les écarts observés entre les deux méthodes de calcul de la création d'entropie globale restent inférieurs à 4%.





Film à température de saturation à l'entrée

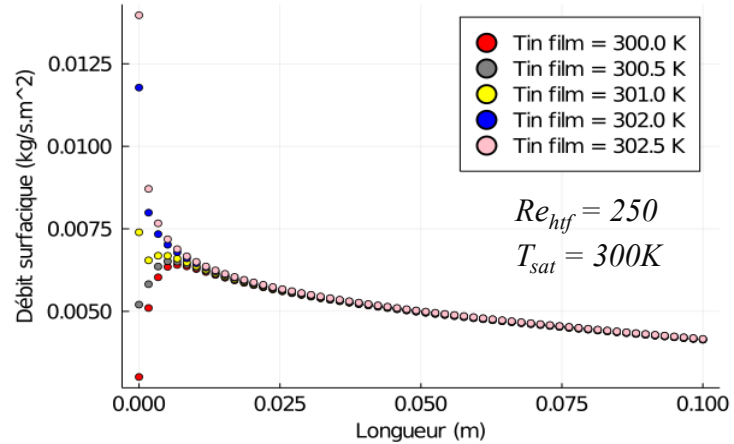


Débit totale évaporé sur 0.1 m	Re _{htf}
2.73%	50
6.51%	1750

Débit évaporé à la surface libre du film tombant pour différentes valeurs du nombre de Reynolds du fluide caloporteur

Film surchauffé en entrée

Débit totale évaporé sur 0.1 m	Température de surchauffe (K)
3.14%	0
5.22%	2.5

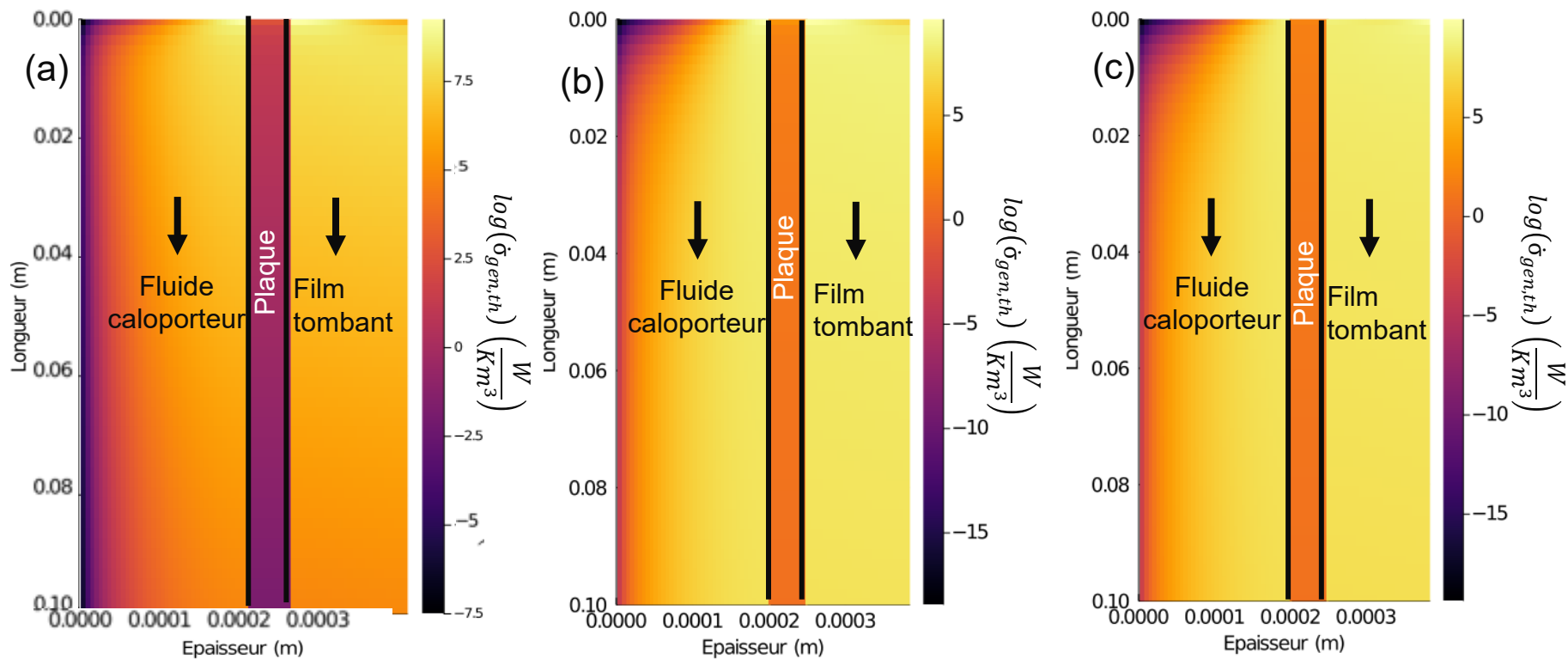


Débit évaporé à la surface libre du film tombant en fonction de la longueur du film pour différentes valeurs de surchauffe





Analyse thermodynamique



Evolution de la création d'entropie d'origine thermique pour (a) $Re_{htf} = 50$, (b) $Re_{htf} = 250$ pour un film à l'entrée à saturation et (c) $Re_{htf} = 250$ pour un film à l'entrée avec une surchauffe de 2.5K

1

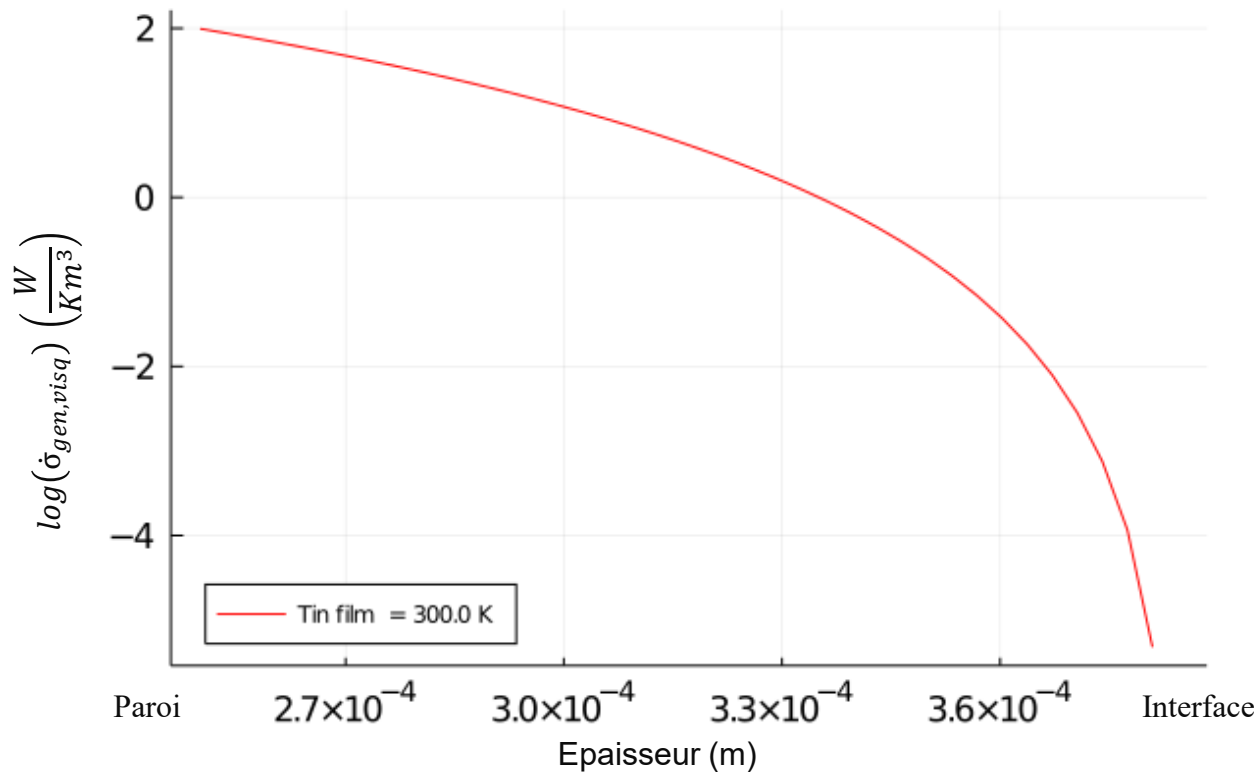
2

3

4

5

Analyse thermodynamique



Evolution logarithmique de la création d'entropie visqueuse volumique due à l'écoulement du film tombant

1

2

3

4

5

Conclusions

- Le champ de température est influencé par la surchauffe du film à l'entrée et le Reynolds du fluide caloporteur



- Le débit évaporé augmente avec le Reynolds du fluide caloporteur et avec la surchauffe à l'entrée du film tombant.
- La création d'entropie thermique et le débit évaporé sont impactés à l'échelle locale

- Dans les conditions d'études, les créations d'entropie visqueuses dans le film sont négligeables devant celles d'origine thermique

Perspectives

- Etudier la phase vapeur
- Elargir l'étude dans le cas d'un absorbeur ou désorbeur