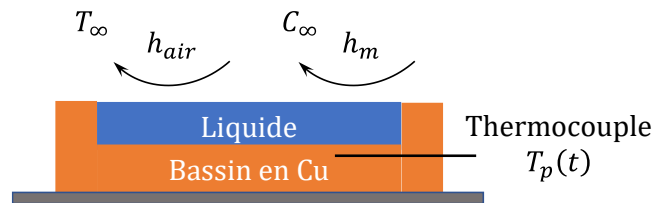


Evaporation d'un film liquide volatil déposé dans un bassin en cuivre

Etude en convection naturelle et en convection forcée



Une cavité en Cuivre (bassin) de très faible profondeur et un volume d'acétone (très volatile) sont initialement à la même température que le milieu ambiant à T_∞ .

A $t = 0$, la cavité est remplie d'acétone. Soit e_0 l'épaisseur initiale du film liquide d'acétone.

Des expériences seront entreprises durant laquelle on enregistrera la variation temporelle de la température de la plaque de Cu, $T(t)$ au cours de l'évaporation du liquide (Phase 1) et après disparition du liquide (Phase 2). Deux régimes seront testés :

- 1- Convection naturelle
- 2- Convection forcée avec un ventilateur générant un écoulement d'air le long de la plaque et de l'acétone

L'objectif est de modéliser le système et de voir s'il est possible de déterminer les coefficients d'échange d'énergie thermique h_{air} et de matière h_m par comparaison modèle/expérience.

Hypothèses

1. On suppose que la plaque en cuivre et le liquide sont à chaque instant à la même température $T(t)$ et qu'ils sont isothermes à chaque instant t .
2. On suppose que la pression partielle de la vapeur de l'acétone dans l'air ambiant (hors de la couche limite massique) est égale à 0, soit $C_\infty = 0$ (kg m^{-3})
3. On suppose que le coefficient d'échange d'énergie par convection h_{air} est le même sur la surface de liquide que sur la surface du cuivre.
4. On suppose que les gaz (air et vapeur) se comportent comme des gaz parfaits.

Travail théorique – Modélisation du régime transitoire thermique avec évaporation de l'eau

L'objectif de ce travail est de mettre en place les équations traduisant les mécanismes thermiques et massique mis en jeu durant la Phase 1 et Phase 2.

Question 1 :

Pendant la Phase 1, l'acétone va puiser une partie de son énergie dans le cuivre pour s'évaporer. Représenter schématiquement l'évolution de la température $T(t)$ (du cuivre) durant cette phase. Préciser la température initiale à $t=0$.

Question 2 :

Une fois l'évaporation de l'acétone terminée, comment va évoluer à nouveau $T(t)$ pendant la Phase (2) et jusqu'à quelle valeur elle va tendre.

Représenter sur le même schéma ci-dessus, l'évolution de $T(t)$ pendant la Phase (2)

Poursuivons l'étude théorique en ne considérant dans un premier temps que la Phase 2, après évaporation totale du liquide.

Question 3 :

L'hypothèse N°1 suppose une température uniforme dans le cuivre à chaque instant. Estimer l'ordre de grandeur du nombre adimensionnel approprié qui peut justifier cette hypothèse.

Quel est le nom du modèle correspondant à cette hypothèse ?

Question 4 :

Ecrire l'équation (E1) en température correspondant au modèle ci-dessus à la Phase 2.

Cette équation doit faire apparaître les paramètres suivants :

$\rho_p C_p V_p$: Capacité thermique du bassin en cuivre ($J K^{-1}$)

h_{air} : Coefficient d'échange d'énergie thermique par convection entre la surface de la plaque et l'air ambiant ($W m^{-2} K^{-1}$)

S la surface de la cavité où se trouvait l'acétone (m^2)

Préciser la condition initiale $T(t=0)$.

Question 5 :

Résoudre (E1) et écrire la solution de la température sous la forme adimensionnée suivante :

$$T^* = \exp(-t/\tau)$$

Préciser l'expression de T^* et de τ

Continuons le travail théorique avec maintenant la Phase 1, évaporation de l'acétone.

On rappelle l'hypothèse 1- qui suppose une température $T(t)$ uniforme à chaque instant t pour l'ensemble cuivre/acétone. Puis, appelons $e(t)$ l'épaisseur de la couche d'acétone à l'instant t .

Question 6 :

- Ecrire les deux équations suivantes :

- 1) équation bilan de l'énergie pour le système Cuivre/acétone (E2) :

$$\frac{dT}{dt} = ?$$

- 2) équation de bilan de matière (E3) pour l'acétone en fonction de :

$$\frac{de}{dt} = ?$$

On négligera le terme de « soufflage » dû à l'écoulement global en ne tenant compte que de la diffusion.

Ces deux équations sont à écrire en fonction de :

- $\rho_p C_p V_p$: Capacité thermique du bassin en cuivre (J K^{-1})
 - $\rho_l C_l$: Capacité thermique volumique de l'acétone liquide ($\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$)
 - h_{air} : Coefficient d'échange d'énergie thermique par convection entre la surface de l'acétone et aussi entre la surface du cuivre et l'air ambiant ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)
 - h_m : Coefficient d'échange de matière par convection entre la surface de l'acétone et l'air ambiant (m s^{-1})
 - L_v : chaleur latente de vaporisation de l'acétone (J kg^{-1})
 - C_{vap} : la concentration en vapeur d'acétone à l'interface liquide/air (kg m^{-3})
 - C_∞ : la concentration en vapeur d'acétone loin de l'interface (kg m^{-3})
 - Et de S et $e(t)$
- Préciser les conditions initiales
 - Avec les hypothèses précédentes, donner les expressions des concentrations C_{vap} et C_∞ .

Calcul de la condition initiale de l'épaisseur du film d'acétone e_0

Question 7 :

Il s'agit maintenant de déterminer une façon pour estimer la valeur initiale de $e(t)$, épaisseur de la couche d'acétone e_0 à $t = 0$.

A la question 1, il a été dit que l'acétone pour s'évaporer va extraire une partie de l'énergie du cuivre. Avec quel autre système en contact l'acétone va également extraire de l'énergie pour s'évaporer ?

En déduire alors l'expression du bilan d'énergie (en J) mis en jeux entre l'acétone, le cuivre et l'autre système permettant de calculer e_0 en fonction de :

- L_v : chaleur latente de vaporisation de l'acétone (J kg^{-1})
- ρ_l la densité de l'acétone
- Q_{air} , le flux de chaleur échangé entre l'acétone et l'air (J)
- Et Q_p le flux de chaleur échangé entre l'acétone et le cuivre (J)

Question 8 :

Q_p est aussi la variation de chaleur sensible du cuivre si on néglige les échanges entre le cuivre et l'air ambiant (en pratique, la plaque en cuivre est isolé autour et sur sa face inférieure).

Donner alors l'expression de Q_p .

Question 9 :

Quelle est le mode de transfert de chaleur entre la surface libre de l'acétone et l'air ?

Donner alors l'expression de Q_{air} en fonction de :

- h_{air} : Coefficient d'échange d'énergie thermique par convection entre la surface de l'acétone,

- Et de S

Remarque :

Q_p et Q_{air} dépendant tous les 2 de $T(t)$ seront déterminés à l'aide des mesures.

Estimation des coefficients d'échange h_{air} et h_m

Question 10 :

Trouver, ou proposer, 2 corrélations permettant de calculer ces 2 coefficients pour les 2 régimes de convection étudiés (naturelle et forcée).

Question 11 :

Pour le cas de h_m , on peut approximer une variation linéaire (film mince) de $e(t)$ avec le temps. Soit Δt_{evap} la durée totale de l'évaporation de l'acétone. Donner alors une autre expression de :

$$\frac{de}{dt} = ?$$

Déduire alors l'expression de h_m à partir de l'équation (E3).

Résolution numérique

Question 12 :

Commencez à mettre en place la méthode de résolution numérique des équations (E2) et (E3) qui forment un système d'EDO (utilisation de la fonction ode45 de Matlab par exemple).

Pour les propriétés de l'acétone, dont la température varie avec le temps, la bibliothèque « Coolprop » peut être utilisée.