Thermodynamique

TP n°7 Phénomènes de diffusion thermique

Mardi 3 ou 10 novembre 2026

Compétences expérimentales exigibles

- ✓ (PCSI) Mettre en œuvre un capteur de température,
- ✓ Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle.
- ✓ Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude ou analyse des écarts normalisés.

Matériel – Par binôme

- ❏ Barre calorifugée, chauffée par un modèle Peltier.
- ❏ Alimentation continue de puissance
- ❏ Carte d'acquisition Sysam-PCI + Latis Pro
- ❏ Une « boite à thé » avec ou sans isolant autour.
- ❏ Thermomètre (Jeulin)

Objectif du TP

- Étudier la diffusion thermique dans une barre calorifugée.
- Étudier l'effet de l'isolation thermique.

I Travail préparatoire

■ Lire l'ensemble de l'énoncé, et y identifier ce qu'il faudra faire pendant la séance.

■ Préparer les questions précédées d'une .

Questions préparatoires –

Une boite rectangulaire de surface totale S dont les parois ont une épaisseur négligeable est chauffée par une résistance chauffante (voir Figure 2). On note $\mathcal{P}$ la puissance de chauffe, C la capacité thermique de la boîte et h le coefficient conducto-convectif.
La loi de Newton donne le flux surfacique dû à la conducto-convection : $\varphi_{\text{boîte}\to\text{ext}} = h(T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$
La température à l'intérieur de la boîte est notée $T_{\text{int}}(t)$, la température à l'extérieur est notée $T_{\text{ext}}(t)$.

Q1. Exprimer la résistance thermique R_{cc} associée à la convection.

Q2. En appliquant le premier principe à la boîte, montrer que l'équation différentielle régissant l'évolution de la température $T_{\text{int}}(t)$ à l'intérieur de la boite est $\dfrac{\mathrm{d}T_{\text{int}}}{\mathrm{d}t} + \dfrac{T_{\text{int}}}{\tau} = \dfrac{T_{\max}}{\tau}$. On exprimera τ à l'aide de la capacité thermique de la boîte et de la résistance thermique, et $T_{\max}$ en fonction de $\mathscr{P}$, C, T_{ext} et R_{cc}.

Q3. Représenter l'allure de la courbe T_{int} et y faire figurer les grandeurs caractéristiques τ et $T_{\max}$.

Q4. Proposer un schéma électrique équivalent en utilisant un générateur idéal de tension, un condensateur et une résistance.

Q5. On place un isolant autour de la boite. On note R_{iso} sa résistance thermique. Donner les nouvelles expressions de τ et $T_{\max}$ en présence d'un isolant.

Attention – Soyez efficaces !
Les expériences de thermodynamique sont longues, veillez à être efficaces. Pendant les manipulations, vous pouvez (devez !) répondre aux questions qui suivent.

II Profil de température dans une barre *(MAX 50 min)*

Données –

- Conductivité thermique de l'aluminium : $\lambda_{Al} = 230$ W · K^{-1} · m^{-1}
- Capacité thermique massique de l'aluminium : $c_{Al} = 0,9.10^3$ J · K^{-1} · kg^{-1}
- Masse volumique de l'aluminium : $\rho_{Al} = 2,7.10^3$ kg · m^{-3}

II.1 Chauffage de la barre

Une barre d'aluminium est chauffée à une extrémité par un module à effet Peltier et maintenue à température ambiante à l'autre extrémité grâce à un radiateur. 6 thermomètres sont répartis le long de la barre et l'acquisition s'effectue par le CAN Sysam PCI et Latispro.

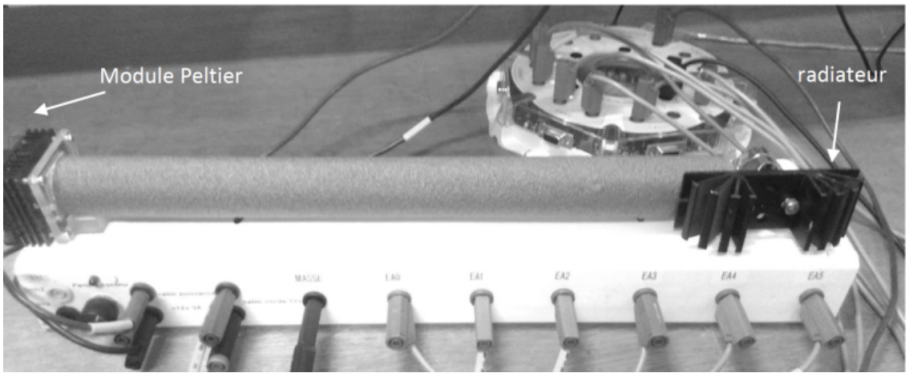


FIGURE 1 – Expérience de diffusion thermique dans une barre.

Expérience n°1 – Chauffage de la barre (30 min)

☞ Relier chaque thermomètre aux entrées correspondantes de la carte d'acquisition.
☞ Alimenter en 12 V les capteurs avec l'alimentation fournie par la carte d'acquisition.
☞ Alimenter le système de chauffage par l'alimentation continue de puissance présente sur la paillasse. La tension sera réglée sur 8 V maximum.
☞ Régler la durée de l'acquisition sur 30 min et la déclencher.
☞ Pendant ce temps-là, mesurer les positions x_n des différents thermomètres.

II.2 Pendant ce temps-là... (MAX 30 min)

Pendant ce temps-là...

Q6. Calculer la diffusivité thermique associée à la barre en aluminium

Q7. En déduire que le temps d'acquisition pour obtenir le régime stationnaire est compatible avec le temps d'établissement du régime stationnaire.

Q8. Justifier l'intérêt d'utiliser un manchon sur la barre métallique.

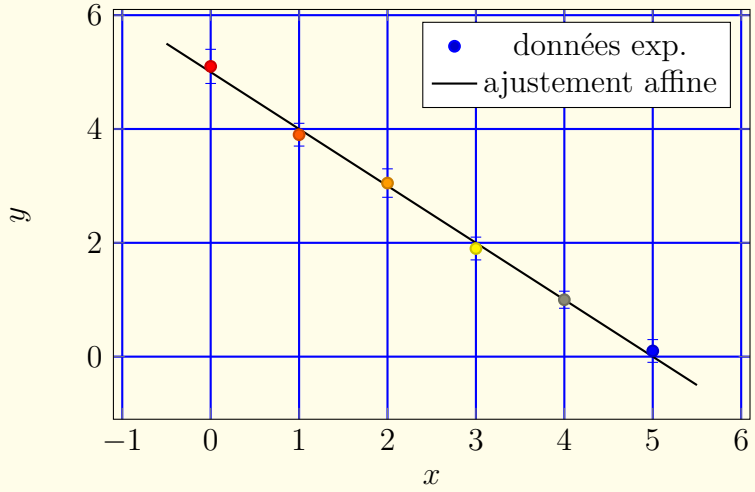
Q9. Pour une barre isolée, démontrer que la température au sein de la barre $T(x,t)$ est solution de l'équation de diffusion thermique : $\frac{\partial T}{\partial t} = D_{th}\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$

Q10. En déduire l'expression de $T(x)$ en régime stationnaire.

Une fois l'acquisition terminée (si une erreur est survenue, utiliser les courbes d'un autre groupe), imprimer le réseau de courbes $T(x = x_n, t)$.

Méthode – Validité d'un modèle ?

Une modélisation expérimentale est valide si l'ajustement par régression linéaire passe par toutes les barres d'erreur.



II.3 Exploitation (MAX 20 min)

Exploitation des mesures

Q11. Justifier que l'allure des courbes $T(x_n, t)$ permette de valider le régime stationnaire.

Q12. En régime stationnaire, représenter le profil de température $T = f(x_n)$ où x_n est la position le long de la barre.

Q13. Justifier en superposant une modélisation pertinente que le modèle d'une barre calorifugée n'est pas valide.

III Évolution de la température dans une boîte isolée ou non *(MAX 50 min)*

Données –

- Épaisseur du métal : $e = 0,25$ mm
- Conductivité thermique du fer : $\lambda_{Fe} = 80$ W · K^{-1} · m^{-1}
- Conductivité thermique du dépron : $\lambda_{Dep} = 30.10^{-3}$ W · K^{-1} · m^{-1}
- Capacité thermique massique du fer : $c_{Fe} = 440$ J · K^{-1} · kg^{-1}
- Capacité thermique massique de l'air à 293 K : $c_{air} = 1,0.10^3$ J · K^{-1} · kg^{-1}
- Coefficient conducto-convectif pour l'air en convection libre : $h_{air} = 10$ W · m^{-2} · K^{-1}.

III.1 Principe et chauffage

Vous disposez de deux boites en fer dont l'intérieur peut être chauffé par effet Joule grâce à une ampoule.
L'une des deux boites est isolée par une couche de Dépron de 6 mm d'épaisseur l'autre non.
Un thermomètre numérique peut être reliés au convertisseur analogique-numérique de l'ordinateur (galette Sysam-PCI).

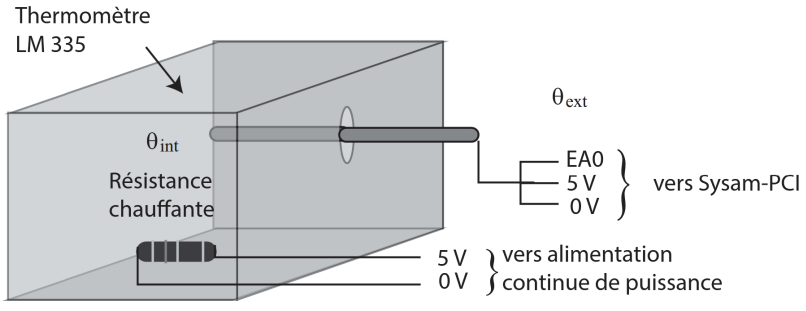


FIGURE 2 – Schéma de principe

Attention – Précautions expérimentales

La résistance chauffante est constituée d'une ampoule à filament ne devant pas être alimentée avec une tension supérieure à 6 V et une intensité supérieure à 1 A.

Expérience n°2 – Chauffage de la boite (20 min)

☞ Répartissez vous avec un autre groupe une boîte isolé et une autre non isoler. Vous partagerez vos valeurs.
☞ Placer un thermomètre à l'intérieur en veillant à ce qu'il **ne soit pas en contact avec l'ampoule**, sinon l'expérience sera faussée.
☞ Connecter le thermomètre à la carte d'acquisition Sysam-PCI.
☞ Alimenter l'ampoule à l'aide de l'alimentation continue de puissance (max 6 V et max 1 A).
☞ Effectuer une acquisition de la température intérieure pour une durée de 30 min (vous pourrez l'arrêter si vous voyez que le régime stationnaire est atteint) en présence de chauffage.
☞ Relever la valeur de la tension et de l'intensité fournie à l'ampoule.

III.2 Pendant ce temps-là... (MAX 20 min)

Pour les estimations demandées ci-dessous, un seul chiffre significatif est attendu. Le but sera de comparer ensuite les valeurs mesurées aux estimations effectuées.

Pendant ce temps-là...

Q14. Estimer la résistance thermique équivalente à la boite en fer en évaluant sa surface.

Q15. Estimer la résistance thermique équivalente à la convection autour de la boite.

Q16. Proposer un modèle équivalent simplifié.

Q17. Estimer grossièrement la capacité thermique de la boite et de son contenue C_{th} en évaluant sa masse. En déduire le temps caractéristique d'évolution de la température.

Q18. Déterminer la puissance de chauffage.

Les exploitations nécessiteront l'utilisation des courbes pour les boites isolées et non-isolées, mettez vos mesures en commun avec un autre groupe.

III.3 Exploitation (30 min)

Exploitation des mesures

Q19. À partir de la température maximale atteinte à l'intérieure, déterminer la résistance thermique totale de votre dispositif et de celui de l'autre groupe.

Q20. En déduire la résistance thermique du Dépron et sa conductivité. Comparer à la valeur tabulée.

Q21. À partir du régime transitoire, estimer la capacité thermique de l'ensemble.

Q22. Valider les estimations faites pendant la durée de l'acquisition.