

Expériences : profil de température dans une barre chauffée

I Étude en régime stationnaire

Description de l'expérience :

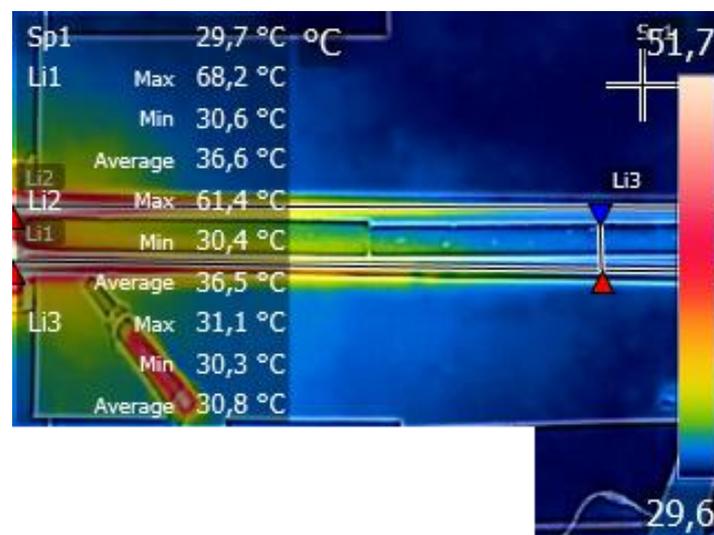
On dispose d'une barre d'aluminium et d'une barre de laiton. Elles sont placées à l'horizontale, avec une extrémité qui repose sur une plaque chauffante, et l'autre extrémité maintenue par une pince.

On chauffe la plaque (thermostat 150) et on attend assez longtemps afin que le régime stationnaire s'établisse.

Les barres sont séparées l'une de l'autre par un polystyrène pour éviter les réflexions infrarouges de l'une sur l'autre.

On prend ensuite une image vue de dessus à l'aide de la caméra thermique.

Données : longueur des barres $L = 130$ cm, rayon $R = 0.9$ cm.



- 1 - Quel est le temps caractéristique d'établissement du régime permanent pour une longueur $L = 1$ m et un coefficient de diffusion de l'ordre de $5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$? Combien de temps faut-il attendre (environ) pour que le régime stationnaire soit atteint ?

Côté théorie :

- 2 - a - Modéliser la situation expérimentale par un schéma. Choisir en particulier un axe x .
- b - Effectuer les hypothèses nécessaires afin d'obtenir le profil de température $T(x)$ dans la barre chauffée. On pourra directement utiliser les résultats d'un exercice du TD traité récemment.

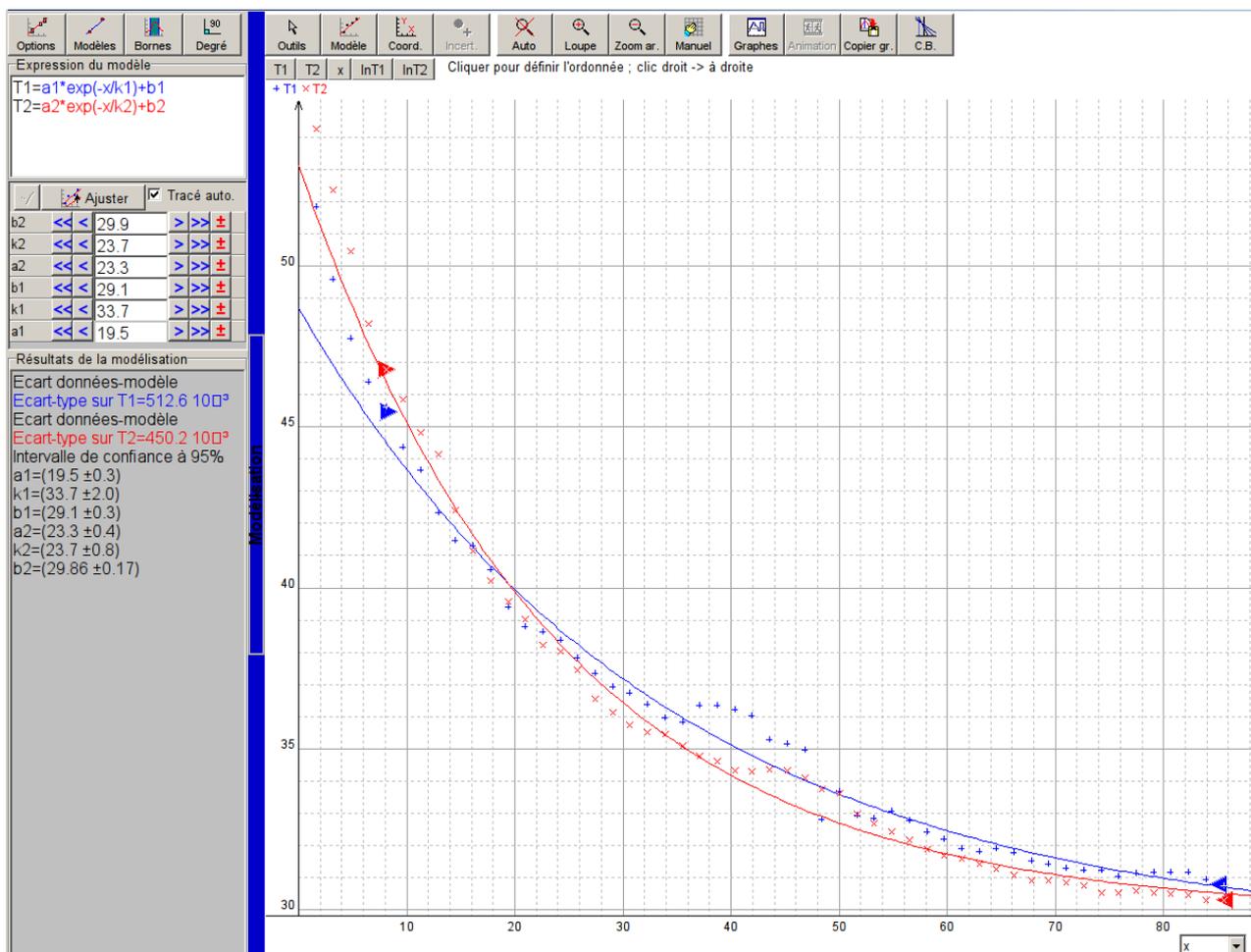
Côté expérience :

Un tracé et une exploitation des données expérimentales à l'aide du logiciel Régressi donne les figures suivantes.

On a effectué un fit avec un modèle en $T(x) = ae^{-x/\delta} + b$. On exclut à chaque fois du domaine du fit la zone la plus à gauche, car elle contient la fin de la plaque chauffante et la zone de la barre la plus chaude (h peut être non constant à haute température).

On obtient $b = 29^\circ\text{C}$ et 29.5°C pour chacune des barres, ce qui est raisonnable car la température ambiante était autour de 27°C , et de plus les valeurs de l'émissivité et de la température ambiante ne sont pas correctement entrées dans la caméra (voir annexe), ce qui donne des températures mesurées sur chacune des barres différentes entre elles et différentes de la température réelle.

Puis on conserve la valeur de b et on trace $\ln(T(x) - b)$ en fonction de x .



$T(x)$ en fonction de x (cm). Aluminium en bleu, laiton en rouge.



$\ln(T1 - 29.5)$ et $\ln(T2 - 29)$ en fonction de x (cm). Aluminium en bleu, laiton en rouge.

- 3 - a - Pourquoi avoir fait le choix particulier de tracer $\ln(T(x) - b)$ en fonction de x ?
 b - Indiquer si oui ou non la forme théorique est conforme au profil expérimental.
 c - Si oui, en déduire la valeur du paramètre δ de l'exponentielle pour chacune des barres.

Concernant l'incertitude, différents essais avec des valeurs de b différentes mais suggérées par le fit de la première figure, où différents essais sur des zones plus ou moins grandes, montrent qu'on peut l'estimer à ± 3 cm (incertitude élargie).

Conclusion

On peut mesurer la valeur du coefficient conducto-convectif h à l'aide d'une seconde expérience, en régime non stationnaire cette fois. On admet qu'on trouve alors $h = (11 \pm 3) \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ pour les deux barres.

- 4 - a - En déduire les valeurs expérimentales des conductivités thermiques de chacune des barres.
 b - Les valeurs tabulées sont : $\lambda_{\text{Lai}} = 1.1$ à $1.3 \times 10^2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ selon l'alliage pour le laiton, et $\lambda_{\text{Al}} = 2.37 \times 10^2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ pour l'aluminium.
 Conclure sur l'accord théorie-expérience.

II Annexe : À propos de la caméra thermique

On utilise le modèle C2 de la marque FLIR.

En chaque point de l'image, la caméra enregistre une tension proportionnelle à l'énergie du rayonnement qu'elle reçoit dans la gamme spectrale 7.5 - 14 μm .

Or il existe une relation qui fait le lien entre la température T d'un objet et l'énergie thermique W du rayonnement qu'il produit : la loi de Stephan indique que $W = \sigma T^4$, avec σ une constante.

La caméra peut donc en déduire la valeur de la température.

Les choses ne sont toutefois pas si simples : la loi de Stephan n'est valable que pour un "corps noir", c'est-à-dire un objet parfaitement non réfléchissant. Ici les barres de métal réfléchissent une partie du rayonnement ambiant, et présentent donc des écarts à la loi de Stephan. Il est possible de corriger en partie ceci avec les réglages de la caméra thermique. Mais pour la gamme de températures utilisées, cette correction est en bonne approximation une correction affine, ce qui ne change pas le paramètre δ d'un profil du type $T(x) = ae^{-x/\delta} + b$, qui est justement le paramètre que l'on mesure.

Attention en revanche, la présence d'une source très chaude à proximité de l'objet d'intérêt peut donner lieu à un rayonnement infrarouge renvoyé vers la caméra et donc à une fausse mesure. Voir par exemple l'image ci-dessous. C'est pourquoi il est important de mettre un polystyrène entre les deux barres.

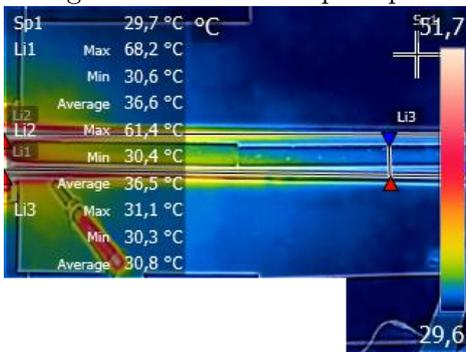


Illustration des effets d'une réflexion infrarouge : observer à gauche de l'image le pied du trépied de l'appareil photographique. Il apparaît chaud, à une température allant jusqu'à 50°C, alors qu'il est à température ambiante lorsqu'on le touche. Le rayonnement infrarouge en provenance de la barre et de la plaque chauffante se réfléchit en fait sur le trépied et va vers la caméra, lui donnant l'illusion que le trépied est chaud.