

# MP n°34 – Phénomènes de transport

Présentation : binome 4

Correction : J.Y. CHASTAING<sup>1</sup> / K. HELAL<sup>2</sup>

## I Extraits des rapports du jury

**2017 & 2015 & 2014** : Des transports autres que diffusifs peuvent faire l'objet de ce montage.

**2017 & 2015** : Lors de la mesure du coefficient de diffusion du glycérol, par la déviation d'une nappe laser, les candidats doivent être à même d'expliquer précisément la nature de l'image observée sur l'écran et son origine physique.

**2013 & 2012** : Le choix des expériences doit veiller à souligner l'aspect transport.

Il existe d'autres phénomènes de transport que ceux régis par une équation de type  $\vec{j} = \alpha \overrightarrow{\text{grad}V}$ .

**2012** : Ce montage est ouvert à de nombreux domaines, pouvant donner lieu à des études comparées ; on pensera à exploiter les régimes transitoires et les régimes permanents.

**2009** : La mesure de la conductivité thermique d'un métal par sa réponse en température à une excitation alternative a posé problème à de nombreux candidats par suite de l'analyse des mesures à l'aide d'une loi non valide avec les conditions aux limites concernées. Le régime permanent implicitement mis en jeu doit être précisé, de même que son temps d'établissement.

## II Commentaires généraux sur le montage présenté

Le montage a présenté

- \* Mesure de la conductivité thermique du cuivre,
- \* Mesure de la conductivité électrique du cuivre et confrontation à la loi de Wiedemann-Franz.
- \* Étude de la diffusion du glycérol dans l'eau.

Ce montage a été travaillé et bien préparé. Il ne contenait pas de hors sujet et a respecté la durée imposée. Il manquait un fil rouge et de nombreux commentaires physiques à ce montage : il faut faire ressortir nettement les caractéristiques des différents types de transport et éventuellement comparer leur efficacité. Le choix d'expérience est un peu étroit au regard de la diversité des phénomènes susceptibles d'être étudiés et trop de temps a été consacré à l'étude des phénomènes diffusifs ( $\sim \frac{3}{4}$ ). Il y a sans doute la place d'une quatrième expérience.

La mise en œuvre expérimentale et les mesures sont globalement satisfaisantes. La présentation était dynamique mais il manquait un fil conducteur ainsi que des commentaires physiques sur les caractéristiques des phénomènes de transport présentés.

Il faut faire attention au niveau de langue employé.

L'évaluation des incertitudes était parfois discutable.

Penser à éteindre le matériel bruyant (ventilateurs...) lorsqu'on n'en a plus besoin et éviter de rester dans le noir trop longtemps surtout lorsque ce n'est plus indispensable.

## III Commentaires détaillés sur le montage présenté

### III.1 Diffusion thermique

L'expérience consiste à étudier la diffusion thermique unidimensionnelle dans une barre métallique (cuivre) en régime permanent imposé par une cellule à effet Peltier délivrant un flux thermique sinusoïdal.

La vérification d'une solution progressive – avec atténuation –  $T(x, t) = T_0 + T_1 e^{-\frac{x}{\delta}} \cos\left(\frac{x}{\delta} - \omega t\right)$  a été correctement effectuée (absence d'onde « retour »).

---

1. jeanyonnel.chastaing@ens-lyon.fr

2. karim.helal@free.fr

Les mesures sont extrêmement bruitées et l'utilisation d'un logiciel python ad-hoc permet d'effectuer des mesures satisfaisantes mais sa maîtrise était insuffisante et les incertitudes ont été sous-estimées.

### utilisation d'un programme (python ou autre)

L'utilisation d'un programme nécessite d'en maîtriser le fonctionnement comme si on l'avait écrit soi-même. Le jury le vérifiera et il sanctionnera fortement le candidat si ce n'est pas le cas.

Le programme utilisé est trop sophistiqué donc « boîte noire ». Nous suggérons de le simplifier : conserver le lissage glissant mais faire varier le pas pour justifier qu'on ne perturbe pas trop le signal (introduction d'un curseur ?), utiliser l'optimisation pour déterminer les paramètres mais déterminer l'incertitude en faisant varier à la main la profondeur de pénétration et en déterminant un plage de valeurs satisfaisantes (introduction d'un curseur ?). Montrer explicitement que l'ajout d'un terme à fréquence double lié à l'effet Joule permet de mieux reproduire les données expérimentales (curseur on-off ?)

Intégrer l'erreur systématique des capteurs.

#### Questions :

- ❁ Justifier le choix de la fréquence.
- ❁ Qui de la mesure via l'amplitude ou le déphasage est la plus fiable a priori ?
- ❁ Comment tester la présence de pertes latérales ? Comment les prendre éventuellement en compte ?
- ❁ Est-on vraiment en régime permanent ? (ordre de grandeur + vérification expérimentale)

## III.2 Conduction électrique

Il s'agissait de mesurer la résistance d'une bobine de cuivre plongée dans un bain thermostaté à différentes températures et de comparer aux valeurs tabulées.

Les mesures effectuées en préparation et en direct sont très satisfaisantes, de même que la vérification d'une variation affine de la résistivité avec la température.

Compte tenu des incertitudes difficilement maîtrisables sur la longueur et le rayon du fil (constant ?), il est plus prudent de considérer qu'on mesure précisément le coefficient de dépendance en température  $\alpha$  (où  $\rho(T) = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$ ) et qu'on a seulement un ordre de grandeur de  $\rho_0$ .

La confrontation à la loi de Wiedeman-Franz est alors plus qualitative et il faut s'attendre à des questions du jury sur le modèle de Sommerfeld.

#### Questions :

- ❁ Rôle du montage 4 fils utilisé pour les mesures ?

## III.3 Diffusion du glycérol dans l'eau

Il s'agit de l'expérience décrite dans le BUP 819.

Bien indiquer que l'intérêt de cette mesure est de s'intéresser à un régime transitoire.

Sa mise en œuvre est satisfaisante mais l'exploitation des mesures s'est avérée moins pertinente car le choix d'intégrer la différence d'indice  $n_{\text{mélange}} - n_{\text{eau}}$  dans la valeur tracée a décuplé les incertitudes. Il faut préférer tracer directement  $\frac{1}{h^2}$  en fonction de  $t$  et vérifier la dépendance linéaire qui est caractéristique d'un phénomène diffusif ( $h$  : différence de hauteur lue sur l'écran).

La pente permet ensuite d'évaluer la diffusivité du glycérol dans l'eau et l'incertitude importante sur  $n_{\text{mélange}} - n_{\text{eau}}$  rendra sa valeur elle aussi imprécise mais ce n'est pas grave.

Le choix d'un mélange initial eau-glycérol à 50% est pertinent.

La maîtrise des hypothèses de cette expérience (faible déviation ; milieux semi-infinis et solution « *fonction erreur* », ...) n'était pas suffisante ; conformément aux rapports de jury, c'est pourtant indispensable d'autant qu'il s'agit désormais d'une expérience classique.

## IV Quelques expériences qui auraient toute leur place dans ce montage

- \* Convection : il y a une petite cellule de Rayleigh-Bénard dans la collection, qu'il faut utiliser avec du glycérol si on souhaite voir le seuil de convection (dans l'eau, on sera forcément au dessus du seuil). Il ne faut pas s'attendre à une précision extraordinaire si on souhaite estimer le nombre de Nusselt, mais on peut certainement obtenir une valeur acceptable du Rayleigh critique. L'observation peut se faire facilement par ombroscopie (en éclairant avec une lampe Quartz-Iode). Voir Guyon-Hulin-Petit pour la théorie. Voir "Physique expérimentale : Optique, mécanique des fluides, ondes et thermo", de Fruchart, Lidon, Thibierge, Champion, Le Diffon, qui présente la manip.
- \* Utilisation d'une caméra thermique pour la diffusion thermique (attention à bien prendre en compte l'émissivité du corps étudié : un matériau avec une émissivité proche de 1 dans l'IR comme le pyrex est un choix judicieux) : cela permet d'avoir une meilleure résolution spatiale ; de traiter aussi bien des régimes transitoires que de régime permanent. Cela permet également d'étudier la conducto-convection à la surface du matériau. Article à venir.
- \* Effet Seebeck et effet Peltier : l'intérêt est de présenter un phénomène réversible contrairement aux processus diffusifs. Voir MP de 2014 qui présente les manips.
- \* Diffusion de quantité de mouvement : il s'agit de l'expérience classique du « viscosimètre à bille » : vérification de la loi de Stokes pour la chute d'une bille dans un fluide visqueux (classiquement le Rotitherm) et mesure de la viscosité.
- \* Rayonnement thermique d'une ampoule à filament de tungstène et test de la loi de Stefan (Voir Quaranta et MP de 2014).