

MP34 : Phénomènes de transport

Creux Amélie, Guichardant Clarisse

27/02/14

Biblio :

- [*Quaranta*] : Thermodynamique et applications, II
[*BUP827*] : Pour le corps noir
[*BUP941*] : Pour la cellule Peltier
[*Perez*] : Thermodynamique ou
[*Diu*] : Thermodynamique pour la théorie
([*BUP819*] : Pour la diffusion de particule avec le glucose)

Table des matières

1	Transport d'énergie thermique	2
1.1	Diffusion dans un métal	2
1.2	Transport par rayonnement	4
2	Conduction électrique	5
2.1	Mesure de la conduction électrique	5
2.2	Vérification de la loi de Wiedmann-Franz	6
3	Couplage de deux phénomènes : effet Thermoélectrique	6
3.1	Effet Seebeck	6
3.2	Effet Peltier	7

Introduction

Phénomène de transport : Déplacement d'une grandeur sans qu'il n'y ait disparition ou création de celle-ci. Ils naissent dans les systèmes hors équilibre. Il existe différents types de transport : la convection, la diffusion et la rayonnement. Ils mettent en jeu différents types de grandeur comme la quantité de matière, l'énergie thermique, l'énergie électrique ou la quantité de mouvement.

Manip : *Convection des sciures de bois dans un tube chauffé.*

Explication : Il y a déplacement de la matière sous l'effet d'un gradient de température.

L'eau chauffe et va monter dans la colonne en entraînant les fines particules. Petit à petit elle se refroidit et prend la place laissée par le fluide qui était sous le gaz. (Une variation de température modifie localement la masse volumique de l'eau, les parties les plus légères vont s'élever et les parties froides plus denses vont descendre.)

Dans ce montage, nous allons mettre en évidence différents types de transport mettant en jeu différentes grandeurs physique.

1 Transport d'énergie thermique

1.1 Diffusion dans un métal

[Quaranta p94]

Dans cette partie, nous allons étudier le transport d'énergie thermique des parties chaudes d'un corps vers les parties froides du même corps sans mouvement de matière. Ce qui est différent du cas de la convection vu en introduction ou il y avait mouvement de matière.

Nous allons mesurer la conductivité thermique du cuivre en régime permanent sinusoïdal.

Manip : *Tige de cuivre calorifugée.*

– on branche les ventilateurs pour diminuer les pertes par effet Joule dans le Peltier.

– on amplifie le courant, attention à ne pas dépasser la limitation en courant du Kepco

– on met un sinus en entrée et on attend 1heure que le régime permanent soit atteint.

– GBF : 7mHz, 5V

Attention à la fréquence : si la fréquence est trop basse, l'épaisseur de peau est trop grande et on a des réflexions parasites et si elle est trop grande, l'épaisseur de peau n'est pas assez grande et les derniers capteurs ne voient rien.

Théorie [Quaranta p110], [Garing p192]

Diffusion thermique :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

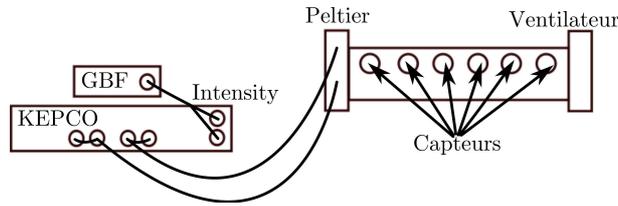


FIGURE 1 – Mesure la diffusion thermique.

$$D = \frac{\lambda}{\rho C_p}$$

avec D le coefficient de diffusion thermique, λ la conductivité thermique, ρ la masse volumique et C_p la capacité thermique à pression constante.

La solution peut s'écrire sous la forme : $T = T_0 e^{-\frac{x}{\delta}} \sin(\omega t + \frac{\pi}{8}) + T_{amb}$ avec $\delta = \sqrt{\frac{2D}{\omega}}$ l'épaisseur de peau.

Pour remonter à l'épaisseur de peau, il y a deux techniques :

– soit on travail avec les température maximale et minimale.

$$T_M = T_0 e^{-\frac{x}{\delta}} + T_a \text{ et } T_m = -T_0 e^{-\frac{x}{\delta}} + T_a \text{ alors } T_M - T_m = 2T_0 e^{-\frac{x}{\delta}}.$$

On s'affranchit de la constante comme cela. En passant au logarithme on a directement accès à la profondeur de peau et donc au coefficient de diffusion.

$$\ln(T_M - T_m) = \ln(2T_0) - \frac{x}{\delta} = f(x)$$

– soit on travail avec la phase : $x = \delta\phi$ avec ϕ la phase du sinus.

Pour obtenir cette équation des hypothèses ont été faites :

– Barre infinie : comparaison de $\delta \leq L$

– parfaitement calorifugée

– Peltier donne un sinus autour de T_{amb} : Non, pertes par effet Joule

Explication

On enregistre le signal de chaque capteur : on obtient un sinus dont l'amplitude diminue en fonction de la distance du capteur. Cette tension est proportionnelle à la température, on observe donc que la température diminue plus le capteur est loin.

Le module Peltier reçoit une différence de potentiel qui crée un gradient de température. La barre est collée à la partie qui fournit une forte température.

On trace $x = \delta\phi$ et on obtient une droite de pente δ .

$$\delta = \sqrt{\frac{2D}{\omega}}$$

$$D = \frac{\omega\delta^2}{2} =$$

On compare à la valeur théorique $D = 1,14 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

On peut aussi remonter à la valeur de la conductivité thermique du cuivre à température ambiante grâce à la formule : $D = \frac{\lambda}{\rho C_p}$. Cela nous servira pour

plus tard.

$$\lambda =$$
$$\lambda_{theo} = 390 W.m^{-1}.K^{-1}$$

1.2 Transport par rayonnement

[Quaranta p374, p381], [BUP 827]

Dans cette partie, nous allons étudier le transport d'énergie sans support matériel. D'après la loi de Stefan, la puissance d'origine thermique rayonnée par un corps noir varie en T^4 . Nous allons vérifier cela en étudiant le rayonnement d'une lampe à filament de Tungstène qui est assimilée à un corps noir.

En prenant les valeurs de résistivité du Tungstène en fonction de la température dans les tables, on peut trouver une relation entre la résistance du filament et sa température.

$$R = K(aT^2 + bT)$$
$$a = 2,54.10^{-14} \Omega.m.K^{-2}$$
$$b = 23,0.10^{-11} \Omega.m.K^{-1}$$
$$K = \frac{R(T_0)}{aT_0^2 + bT_0}$$
$$T = \frac{-b + \sqrt{b^2 + \frac{4aR}{K}}}{2a}$$

K est obtenu pour la température de 2400K, c'est à dire au fonctionnement nominal de la lampe.

Manip : On mesure la tension et l'intensité aux bornes de l'ampoule. On a alors la résistance et la puissance reçue par l'ampoule.

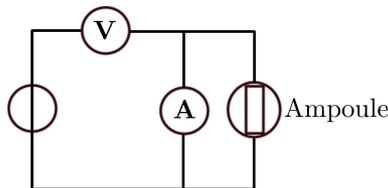


FIGURE 2 – Vérification de la loi du corps noir.

On fait l'hypothèse que le filament absorbe une puissance électrique $P = UI$ et que les pertes thermiques du filament se font exclusivement par rayonnement. Cette puissance est proportionnelle à T^4 .

$$P = UI = \sigma S_{lat}(T^4 - T_a^4)$$

$$\ln(P) = cte + 4 \ln(T)$$

Critique du modèle :

- le tungstène n'est pas réellement un corps noir, il a une émissivité différente de 1.
- échange d'énergie avec le gaz par convection : terme en plus

2 Conduction électrique

2.1 Mesure de la conduction électrique

Dans un premier temps nous allons mesurer la conductivité électrique du cuivre et étudier l'effet de la température sur celle-ci.

Dans ce cas, il y a un transport des porteurs de charges (électrons) sous l'effet d'un courant.

Manip : Grâce à une mesure 4 fils, on mesure la tension U au borne du fil de cuivre pour différentes valeurs de l'intensité I parcourant celui-ci.

On place la bobine de cuivre dans un bain thermostaté pour avoir une température constante lors des mesures, ici la température ambiante.

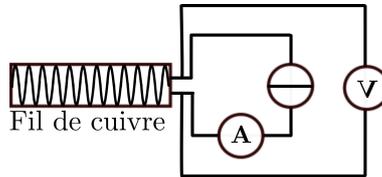


FIGURE 3 – Mesure de la caractéristique de la bobine de cuivre.

Dans ce cas, on fait une mesure 4 fils car la résistance de la bobine de cuivre est assez faible, on veut éviter de mesurer la résistance des fils en plus.

Théorie : On sait que la résistance du fil de cuivre est :

$$R = \frac{\rho l}{S} = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{S}$$

$$U = RI$$

$$U = \rho \frac{l}{S} I$$

avec ρ la résistivité électrique, σ la conductivité électrique, l la longueur du fil et S sa surface.

Dans notre cas :

$$l = 1710cm$$

$$r = 0,4mm$$

En traçant $U = f(\frac{U}{S})$, on obtient une droite de pente ρ .

$$\rho =$$

$$\sigma =$$

En théorie, $\rho = 1,71.10^{-8}\Omega.m$.

Maintenant, nous allons voir l'effet de la température sur la conductivité électrique.

Manip : On fait la même étude pour différentes températures : $40^{\circ}C$ et $25^{\circ}C$.

On obtient alors la résistivité pour deux autres températures. On observe que celle ci augmente légèrement avec la température, ce qui signifie que la conductivité électrique diminue quand la température augmente. En effet, en augmentant la température, on augmente les chocs dans le métal et on diminue la conductivité.

2.2 Vérification de la loi de Wiedmann-Franz

C'est une loi selon laquelle le nombre de Lorentz $L = \frac{\lambda}{\sigma T} = 2,30.10^{-8}W.\Omega.K^{-2}$ ne dépend pas de la température pour un métal donné (et très peu du métal considéré). Cela vient du fait que la conduction électrique et la chaleur ont la même origine physique : le déplacement des électrons.

3 Couplage de deux phénomènes : effet Thermo-électrique

[Quaranta p177] [BUP 941]

Il existe des phénomènes de transport qui couple deux phénomènes présentés précédemment : la conduction électrique et thermique. Nous allons mettre en évidence ces phénomènes grâce à une cellule Peltier.

Description de la cellule : C'est une plaquette munie de deux bornes. Entre les deux, on peut observer beaucoup de barreaux qui sont des semi-conducteurs de type p et n associés deux par deux. Les extrémités de ces semi-conducteurs sont mises en contact avec des plaques de métal (cuivre?). Le courant circule de la face chaude à la face froide dans les semi-conducteurs de type n et inversement dans le type p. Il y a transfert thermique de la face froide vers la face chaude.

3.1 Effet Seebeck

Il y a création d'une différence de potentiel dans un matériau sous l'effet d'un gradient de température.

Manip : on utilise la cellule Peltier. On la branche à un voltmètre, et on observe l'apparition d'une différence de potentiel en collant sa main sur un des côtés (on crée le gradient de température).

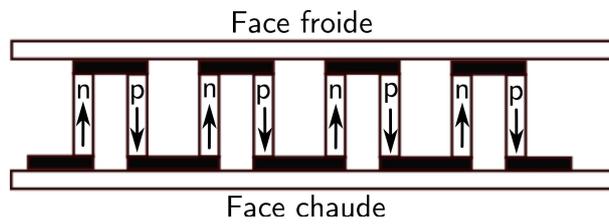


FIGURE 4 – Principe d'une cellule Peltier.

3.2 Effet Peltier

C'est un effet thermique autre que l'effet Joule lié au passage du courant à travers une jonction uniforme. Cela crée un gradient de température entre les deux jonctions. Une partie est refroidie et l'autre est chauffée. En général on les utilise pour refroidir les systèmes mais nous nous l'avons utilisé pour chauffer la barre de cuivre.

Manip : on utilise la cellule Peltier. On la branche à un générateur de courant, et on observe la différence de température entre les deux jonctions avec un thermomètre.