MP 17 Métaux

"Lucile me touche pas avec la verge de Sousou !!"
Pierre Adroguer

1er avril 2016

Soulard Pierre & Favreau Lucile

Bibliographie

- ✍ *Quaranta*, **Thermodynamique et applications** ⟶ La barre de cuivre et conductivité thermique
- ✍ *Quaranta*, **Électronique et applications** ⟶ Montage quatre fil
- ✍ *Milieux magnétique*,**Garing** ⟶ Pb de la chute d'un aimant
- ✍ *Vibration*, **Rocard** ⟶ Dynamique de la verge encastrée

Prérequis

➢

➢

➢

➢

Expériences

- Conductivité électrique en fonction de T
- Conductivité thermique
- Vibration

Table des matières

1 Introduction

Prenons un bout de bois, de plastique et de fer. Si on demande à quelqu'un lequel est un métal, il nous répondra sans hésiter le fer. Mais si on lui demande pourquoi, il sera probablement plus embêté. A travers ce montage npus allons nous interroger sur la notion de métal. Qu'est-ce qu'un métal ? Un matériau qui conduit l'électricité ? Le bois conduit l'électricité mais très mal. Un matériau qui conduit bien l'électricité ? On commence à voir une idée apparaître.
Definition Un métal est un corps dont la structure électronique comporte, même à température nulle, une bande partiellement remplie par les électrons. Les électrons sont alors mobiles et peuvent conduire le courant électrique, lorsqu'on lui applique un champ externe.
Cette définition, pas vraiment pratique à mettre en évidence en montage, entraîne des propriétés particulières que je vous propose de mettre en évidence.

Démarche : Montrer le lien entre conductivité électrique et thermique, propre aux métaux.

2 Conductivité électrique

2.1 Conductivité du cuivre

On va en premier lieu s'intéresser à la conductivité électrique d'un métal : le cuivre qui nous servira de "métal test" pour toute la leçon. Ce qu'on mettra en évidence sur le cuivre sera généralisable aux autres métaux. On prend une bobine, un fil de cuivre de section S et de longueur L enroulé sur lui même et on va mesurer sa résistance en fonction de la température en le mettant dans un bain thermostaté. On appelle ρ sa résistivité : $\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{RS}{L}$.

Conductivité électrique

✍ ⏲

Matériel

- bobine de cuivre immergeable
- voltmètre de précision Fluke 8466A
- bain thermostaté
- thermocouple de type K

On trace R=f(T).

Remarques techniques

- Le fil étant enroulé, il aura un effet inductif. La mesure du courant doit être faite en courant continu pour éviter les effets inductifs. C'est ce que fait le Fluke.
- Pour s'affranchir des résistances du circuit autres que celles de la bobine (l'ampèremètre principalement) on réalise un montage quatre fils (**Quaranta** *Électricité* à Résistance).

Incertitudes :

- Incertitude sur R : mesure du Fluke, 0.1% du calibre de 10Ω : $u(R) = 1m\Omega$
- Incertitude sur T : mesure du thermocouple : $\frac{u(T)}{T} = 3\%$
- Masse volumique : valeur tabulée, incertitude négligeable.
- L : On néglige l'expansion linéaire du cuivre due à la température, L constante $L = 18 \pm 1m$
- S : $S = (5.7 \ \pm 0.1)10^{-7}m^2$

Résultats : On obtient $R = aT + b$ avec $a = (2.05 \pm 0.2)m\Omega K^{-1}$ et $b = (587 \pm 8)m\Omega$. On a alors $\rho = \alpha T + \rho_0$ avec $\alpha = \frac{aR}{L}$ soit $\alpha = 6.5\ 10^{-11}\Omega m K^{-1}$ avec $u(\alpha) = \alpha\sqrt{(\frac{u(R)}{R})^2 + (\frac{u(S)}{S})^2 + (\frac{u(L)}{L})^2} = 0.5\Omega m K^{-1}$ et $\rho_0 = (1.72 \pm 0.04)10^{-8}$
On peut comparer à la valeur tabulée $\alpha_{tab} = 6.76\Omega m K^{-1}$ à et $\rho_0^{tab} = 1.543\ 10^{-8}\Omega m$.

2.2 Comparaison entre deux métaux

On va comparer les conductivités du cuivre et de l'aluminium en faisant chuter un aiment de masse m à l'intérieur d'un tube de rayon a et d'épaisseur e. On a un moment magnétique M, l'aimant qui tombe à l'intérieur d'un milieu de conductivité électrique σ crée un courant $\sigma\vec{j}$ qui va créer à son tour un champ $\vec{B_i}$ qui va agir sur l'aimant. On obtient une vitesse limite théorique : $v_l = \frac{1024a^4mg}{45\mu_0^2\sigma eM^2}$. En régime permanent on obtient un temps de chute proportionnel à σ.

Comparaison de conductivités électriques

Matériel

- tube de cuivre
- tube d'aluminium
- fluxmètre
- oscilloscope

On mesure Δt à l'aide des fluxmètres qui mesurent le passage de l'aimant en envoyant un signal sur l'oscilloscope en mode roll.

Incertitudes : On réalise la manipulation 3 fois, on obtient $u(\Delta T) = \frac{u_{exp}}{\sqrt{3}} =$. On mesure ainsi : $\Delta t(Cu) = \pm s$ et $\Delta t(Al) = \pm s$.
Nos mesures ne sont pas suffisamment précises pour être exploitées afin de mesurer la conductivité d'un autre métal par rapport à celle du cuivre. Néanmoins, on illustre bien le fait que la conductivité électrique dépend du métal considéré. On ne peut pas caractériser un métal par une valeur de conductivité électrique.

Les propriétés des électrons des métaux leur donnent une bonne conductivité électrique. Ces électrons interviennent aussi dans la conductivité thermique et c'est sur cet aspect qu'on va se pencher maintenant.

3 Conductivité thermique

3.1 Conductivité thermique d'une barre de cuivre

On va étudier la conductivité thermique du cuivre. Pour cela on place à l'intérieur d'une une barre de cuivre des thermocouples à intervalles réguliers qui nous indiquerons la température de celle-ci. La barre est calorifugée sur ses côtés et on applique d'un côté une condition limite sur le flux de chaleur à l'aide d'un module Pelletier. Il est constitué de deux matériaux différents, ici du cuivre et ? ? ? (impossible de trouver de quoi il est composé, secret de fabrication) mis en contact par deux jonctions. On impose aux bornes du ? ? ? une tension. Son principe de fonctionnement est à voir dans le **Quaranta** *Thermodynamique et applications* à Effets Thermoélectriques. Le module Pelletier permet de fixer le flux de chaleur à l'une des extrémités.

Conductivité thermique

Matériel

- Barre de cuivre calorifugée
- Une tonne de fils
- Amplificateur Kepco
- Des alims continues pour les ventilos et les thermocouples

On trace T=f(t) pour les thermocouples en imposant une tension sinusoïdale de 7mHz en entrée.

Modèle théorique : La barre étant calorifugée sur ses côté, on utilise un modèle unidimensionel en fonction de la position z sur la tige. L'équation de propagation de la chaleur s'écrit alors :

$$D\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\partial T}{\partial t} \tag{1}$$

avec D la diffusivité thermique $D = \frac{\lambda}{\rho c}$. En prenant comme condition limite pour z=0 celle imposée par le module Pelletier, et en considérant la barre comme infinie, on obtient une expression de la température :

$$T = T_0 + \Delta e^{-\frac{x}{\delta}} sin(2\pi ft - \frac{x}{\delta}) \quad (2)$$

On a propagation d'une onde qui s'atténue sur une longueur caractéristique $\delta = \sqrt{\frac{D}{\pi f}}$. On peut alors mesurer l'épaisseur de peau à partir de l'atténuation et le déphasage.

Mesure : On enregistre les signaux sur l'ordinateur à l'aide de Latis Pro, on mesure le déphasage après avoir trouvé la valeur moyenne de chaque fonction et on mesure l'amplitude entre le max et le min. On définit le zéro pour le premier capteur car on ignore à quelle distance il se trouve du module Pelletier, et on trace.

Incertitudes :

- Capteur de température $u(V) = 5mV$ donc $u(U_{max}) = 5mV$
- Pour le passage à zéro, on regarde l'écart entre $t(\pm u(V))$ et $u(\Delta t) = \frac{t(u(V)-t(-u(V)}{\sqrt{3}}$

On obtient alors $\lambda = \pm W m^{-1}$ qu'on compare à la valeur tabulée de $\lambda_{tab} = 401 W.m^{-1}$.

Retour sur le modèle et approximation Dans notre modèle on a considéré la barre comme semi-infinie. Or elle ne l'est pas. Néanmoins on pourra dans notre expérience la considérer comme telle si l'amplitude de variation de la température de notre dernier capteur est nulle ou inférieure à notre incertitude. L'amplitude de notre premier capteur est environ de $120mV$, comme l'amplitude décroît en $e^{-\frac{x}{\delta}}$ on obtient comme condition que $\frac{L}{\delta} = 5$. Ca donne une fréquence minimale de $25mHz$ mais ici à $7mHz$ ça marche. Je ne sais pas pourquoi.

3.2 Loi de Wiedemann Franz

Comme la conduction thermique et la conduction électrique sont principalement assurées par les électrons libres du métal, il existe une loi reliant les coefficients de conduction thermique et électrique. La valeur $L = \frac{\sigma}{\lambda T}$ est indépendante du métal et de la température. On peut montrer que $L = \frac{\pi^2 k_b^2}{3e^2}$. Dans le cas du cuivre on obtient bien que le rapport est constant et vaut :

$$L_{exp} = \pm \text{ avec } u(L) = ??$$

A comparer avec $L_{théo} = 2.4410^{-8} \Omega W K^{-2}$.

4 Propriétés mécaniques

On va maintenant s'intéresser aux propriétés mécaniques des métaux et notamment à leur module d'Young. Une propriété intéressante des métaux est leur capacité à se déformer tout en restant dans la limite élastique. Une plaque de graphite par exemple conduit le courant mais est cassante. Pour étudier le module d'Young, on va faire vibrer librement une barre de laiton (cuivre/zinc) en bloquant une des extrémités et en laissant une libre. Ainsi bloquée, la barre doit vibrer selon les multiples pairs de sa fréquence propre. On va ainsi mesurer ces fréquences en enregistrant le son produit par la barre en vibration.

Théorie On obtient une fréquence de résonance $f_0 = \frac{3.515}{2\pi l^2}\sqrt{\frac{Ee^2}{12\rho}}$

Module d'Young

Matériel

- Barre de laiton
- Un micro

Remarques : On compte mesurer la fréquence d'un signal par transformée de Fourier sur un signal numérique, il convient alors de choisir la fréquence d'échantillonnage du signal la plus élevée possible pour avoir l'incertitude la plus petites sur la fréquence. Suivant le temps qu'il reste, on mesure soit pour une longueur et on remonte au module d'Young, soit on le fait sur plusieurs longueurs et on réalise une régression linéaire $f_0 = f(\frac{1}{l^2})$.

Incertitudes :

- Incertitude sur f : dépend de la fréquence d'échantillonage, $u(f) = 1.1Hz$. Ca dépend si vous mesurez f_0 avec une seule valeur ou en utilisant les différentes harmoniques. Un facteur $\sqrt{N}$ apparaîtra au dénominateur.
- Longueur L de la barre, $u(L) = 2mm$.
- Du fait de la dépendance en puissance 2 de E vis-à-vis de α et e mesurée au palmer (voir après) $e = 2.0 \pm 0.1mm$ (l'erreur principale vient du fait qu'on ignore si la barre est réellement plate), la principale incertitude de E est due à ces deux facteurs.

Avec $f_0 = \alpha l^{-2} + \beta$ avec $\alpha = (957 \pm 5)10^{-3}Hzm^2$ et $\beta = (-276 \pm 176)10^{-3}Hz$. On a alors $(\frac{u(e)}{e})^2 >> (\frac{u(\alpha)}{\alpha})^2$ donc l'incertitude de E ne dépendra que de celle de e. On obtient alors $E = (2\pi)^2 \frac{12\alpha^2\rho}{3.515^2 e^2}$ soit $E = 76 \pm 4GPa$.

5 Conclusion

A travers ce montage on a réussi à mettre en évidence quelques propriétés qui caractérisent les métaux : ils sont bons conducteurs thermiques et électriques. Ces deux propriétés sont liées par la loi de Wienmann Franz qui caractérise un métal. Le bois et le plastique ne répondent pas à cette loi, ce ne sont pas des métaux. Néanmoins, l'utilisation massive des métaux par l'homme vient beaucoup du fait de leur propriétés mécaniques, notamment le module d'Young, ainsi que de leur abondance sur Terre.