

# M17 : Métaux

Rapport du jury : Ce montage doit mettre en évidence différentes caractéristiques propres aux métaux (conductivités thermiques et électriques, élasticité...), et leurs liens éventuels. L'étude de caractéristiques mécaniques, par exemple, nécessite une mise en perspective par rapport aux propriétés équivalentes d'autres matériaux. Notons que pour les mesures de résistance, le principe et l'intérêt d'un montage quatre fils doivent être connus : il subsiste une confusion chez de nombreux candidats entre ce montage à quatre fils et la distinction entre courte et longue dérivation. Un montage à quatre points n'a pas pour but de seulement s'affranchir de la résistance des fils, contrairement à ce que pensent de nombreux candidats. Les mesures doivent être particulièrement soignées. Il est intéressant de montrer la spécificité des valeurs obtenues. Les expériences présentées se réduisent souvent aux conductivités thermiques et électriques.

## Introduction:

L'état métallique est défini par ses propriétés électroniques dues à la liaison métallique qui est assurée par des électrons délocalisés. Les métaux présentent de nombreuses caractéristiques ( qui ne sont cependant pas partager par tous les métaux): ils reflètent la lumière, conduisent la chaleur et l'électricité. Le métal se distingue des isolant et des semi-conducteur, il n'a pas son niveau de fermi dans une bande interdite mais dans la bande de conduction, permettant un mouvement des électrons très facilement. Les métaux sont couramment utilisés aujourd'hui pour leurs caractéristiques originales, caractéristiques que l'on va déterminé au cours de ce montage.

## **I - Conduction électrique dans le cuivre : transport de charges.**

### M34-II.1

#### **1) Mesure de la conductivité électrique du cuivre**

On souhaite étudier le transport de charges dans un métal en mesurant la conductivité électrique d'un fil de cuivre.

-Utiliser rhéostat à 10 Ohm fixé (attention au branchement à vérifier avec multimètre)

Le rhéostat permet de réguler le courant et sert de résistance protectrice

-Fil de 3m dénudé tous les 40 cm.

-Le fil est alimenté par un courant continue de 2A (et d'une tension de 20V).

-On relie des pinces croco à un Keithley.

-On mesure la tension entre le point de départ et les points successifs (x est la distance par rapport au 1er point.)

-On trace U en fonction de x

→ Droite conforme à la Loi d'Ohm : On en déduit conductivité électrique du cuivre  $\sigma$  à l'aide de la pente de la droite linéaire:  $\alpha = I/\pi R^2 \sigma$  (R, rayon du fil déterminé avec pied à coulisse)

Comparer à la valeur tabulée.

#### Discussion sur les incertitudes :

-On peut calculer l'incertitude sur  $\sigma$ .

On compare l'incertitude quand on prend en compte  $\alpha$ , l et R et celle quand on prend uniquement en compte R.

→ On conclut que l'incertitude est essentiellement due au diamètre du fil

Voir Excel

## 2) Influence température sur résistance : (A faire si on a le temps.)

M34 - II.2

→ On plonge fil dans un b cher rempli d'eau dont on va faire varier la température et on va observer l'influence sur sa résistance.

-On prend un fil de cuivre de 15 m.

-Utiliser un Keithley pour pouvoir faire branchement 4 fils.

-Pour savoir l'incertitude sur le thermomètre, on peut prendre la température dans un mélange eau-glace et voir quel est le décalage par rapport à 0 (pour avoir l'erreur systématique). Ne pas utiliser un thermocouple car trop imprécis.

-On cherche à minimiser la distance des fils hors de l'eau + on évite que le fil ne touche les parois (on peut le surélever avec pinces + élastique).

-Prendre gros b cher rempli d'eau chaude, et on ajoute de la glace progressivement + agitateur magnétique pour homogénéiser.

-Attendre que T soit stabilisée avant de faire une mesure.

-On arrête l'agitation quand on veut relever R. (car l'agitation crée un champ magnétique)

-Pas prendre des points trop rapprochés (tous les 10 C entre 20 C et 70 C).

-On trace R en fonction de la température.

→ On en déduit la résistivité du fil à l'aide de la pente de la droite affine obtenue ( $= a \pi R^2/L$ ).

Un métal voit sa résistance augmenter avec la température, c'est la différence fondamentale avec les semi-conducteur.

## 3) Lien entre conductivité thermique et électrique

La conductivité thermique est liée à la conductivité électrique. Généralement un bon conducteur électrique, est un bon conducteur thermique, car comme la conductivité électrique, la conductivité thermique est d  due aux mouvements des électrons libres. En revanche la réciproque n'est pas vraie : un bon conducteur thermique n'est pas nécessairement un bon conducteur électrique (comme le diamant par exemple). Ceci est d  due au fait que le transport thermique peut aussi être assuré par les phonons se propageant dans le réseau cristallin. La rigidité des systèmes dépend de la cohésion (liaison covalente, métallique) du cristal.

→ Vérification de la loi de Wiedmann-Franz (relie conductivité thermique et électrique) :

$\lambda/\sigma = \pi^2 k_b^2 T / (3e^2)$  . Loi valable uniquement si le transport thermique dans le métal est assuré par les électrons de conduction.

Le rapport  $\lambda/\sigma$  est calculé avec la valeur tabulée de  $\lambda$  (  20 C) et le  $\sigma$  obtenu précédemment, comparer avec la valeur théorique.

-La loi de Wiedemann-Franz est donc correctement vérifiée avec le cuivre.

**Attention :** Tous les résultats sont à discuter, car les valeurs tabulées sont obtenus pour la température ambiante.

## II - Conductivité thermique

### M34 - I

La plupart des métaux sont de bons conducteurs de chaleur. Lorsqu'on applique un gradient de température, ils réagissent de façon linéaire par un flux de chaleur qui s'y oppose → loi de Fourier (phénomène de conduction).

On regarde le comportement de la diffusion de chaleur dans les barres (en laiton, en dural et en cuivre)

On travaille en régime permanent, hypothèses :

- barre infinie (=barre suffisamment longue pour que la température soit considérée fixe de chaque côté).
- h, coefficient latéral d'échange est commun à toutes les barres

### Utilisation d'un bain thermostaté:

#### Cf poly pour la mise en route.

-Petits trous le long des barres dans lesquels on mesure T avec un thermocouple (précis, sensible et capteur petit pour se mettre rapidement en équilibre thermique).

-Préciser à quelle  $T_c$  (l'idéal 40-50°C pour respecter au mieux l'hypothèse de la barre infinie) les mesures ont été faites, et  $T_{amb}$  dans Régressi.

Dans Regressi :

-Tracé de T en fonction de x.

-Modèle :  $T = (T_c - T_{amb})exp(-a.x) + T_{amb}$  ( $T_c$  = température en x=0)

### Incertitudes:

-Sur la mesure de la température, par rapport à l'incertitude du thermocouple.

-Incertitude de x: incertitude systématique par rapport à la position x=0 + position des trous.

On voit que les accords avec le modèle sont moins bon pour le Cuivre que pour le Laiton, on constate que l'hypothèse de température ambiante au bout de la tige est moins bien vérifiée (à comparer avec la température ambiante de la pièce). Plus le matériau est un bon conducteur, alors moins cette hypothèse est vérifiée, chose que l'on va vérifier avec les valeurs de conductivité thermique.

### Discussion sur les résultats par rapport au modèle:

-On peut mettre  $T_{amb}$  en paramètre variable pour améliorer le modèle, cependant on ne respecte plus vraiment les conditions de la modélisation, mais les écarts étant assez faibles on peut se le permettre.

On va en déduire les conductivités avec les  $\alpha$  donnés par Régressi, on utilise celle dans les tables pour le cuivre pour supprimer la constante h.

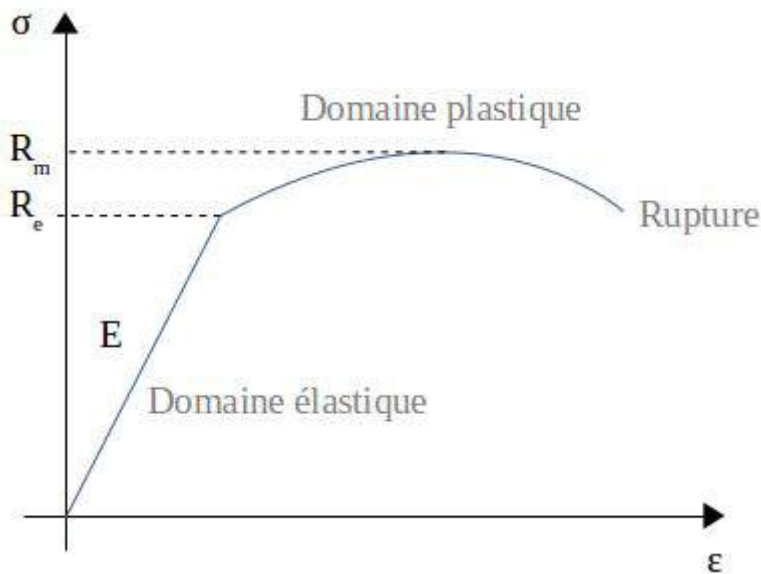
voir Excel

-Attention avec les mesures en direct car les conditions de température changent donc on peut trouver des résultats très différents.

### III- Propriétés mécaniques : Module d'Young

Les métaux sont des matériaux plutôt compacts. Ils sont donc difficilement compressibles. une autre propriété est leur malléabilité, cela s'explique par la délocalisation de la liaison métallique qui ne gêne pas le glissement des plans cristallographiques, c'est pourquoi on utilise des alliages (insertion d'impuretés bloquant le glissement).

Les métaux ont une grande plasticité (domaine de déformation plastique important par rapport au domaine élastique d'élongation).

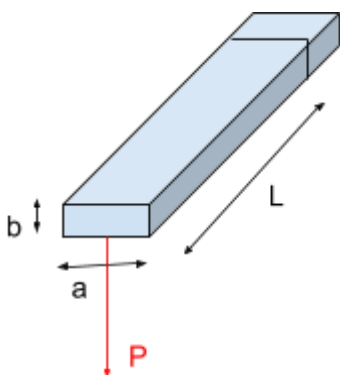


$\sigma$  est la contrainte (en unité de pression) et  $\epsilon$  est l'allongement relatif, ou déformation (adimensionnel) ; ( $\epsilon = l - l_0/l_0$ )

Le module de Young caractérise la résistance à l'allongement (et à la compression) d'un matériau dans son domaine de déformation élastique. Ainsi, plus le module d'Young d'un matériau est élevé, plus il faut d'effort pour l'étirer ou le comprimer.

→ Module d'Young = pente de la partie élastique E ( $\sigma = E\epsilon$ )

On va le déterminer pour le PVC (règle en plastique d'une longueur 30 cm) et le dural.



$$h = \frac{4gL^3}{ab^3} \frac{m}{E}$$

(Démonstration formule : page 61-62 :

<http://www.msc.univ-paris-diderot.fr/~elias/ENSEIGNEMENT/Elasticite.pdf>)

-On mesure la distance entre sol et bout de la poutre à l'aide d'un pointeur laser.

-D'abord sans ajouter de masse.

-Puis avec masse à l'extrémité.

→ Flèche  $h$  correspond à la différence entre la flexion sans et avec masse.

### Régressi :

-On trace  $h$  en fonction de la masse appliquée.

Modèle dans Régressi :

$h = (\alpha * m)/E$  et Régressi nous donne  $E$  (en GPa)

(où  $\alpha = \frac{4gL^3}{ab^3}$ )

-Comparer à valeur attendue dans Handbook

### **Conclusion:**

La grande diversité des métaux et leurs propriétés leur permettent aujourd'hui une grande variété d'applications. Ils sont d'une part ductiles, ce qui est un grand avantage dans la construction de véhicules, et ils ont aussi de grandes conductivités électrique et thermique.

Cela en fait une catégorie de matériau très utile pour nos sociétés contemporaines.

Nous utilisons des fils de cuivre afin de conduire l'électricité dans les circuits. Enfin l'aluminium est utilisé dans nos fours pour pouvoir améliorer la cuisson des aliments. Ainsi, du point de vue des physiciens, tout matériau réunissant un fort module d'Young et de fortes conductivités électriques et thermiques entre donc dans la famille des métaux.

### **Questions :**

-Métaux les + conducteurs (électriquement) : Argent et or

-Pq on peut pas souder le cuivre ? Contrairement à l'acier, le cuivre passe de l'état solide à l'état liquide sans devenir plastique.

-Comment marche un thermocouple ? Cf fichier "informations montages"

-Quel est le principe du montage 4 points ? Applications ? Cf fichier "informations montages"

-Comment savez vous que le grad  $T$  est homogène ?

-N'y a-t-il pas d'autre moyen de mesurer la conductivité thermique juste en connaissant les températures de chaque extrémité de la barre ?

-Qu'est ce que le module d'Young ? Rapport Contrainte appliqué/Déformation

-Ordres de grandeurs d'autres conductivités usuelles (gaz, bois, ...) ?

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Conductivit%C3%A9\\_thermique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Conductivit%C3%A9_thermique)