Métaux

Matériel

-émetteur d'impulsions ultrasonores + mallette avec sondes ultrasonores

-boîte transparente avec le tube test en plexiglas et avec les deux tubes en aluminium et en acier

-gel pour l'adaptation d'impédance

-oscilloscope 4 voies

-balance

-barres en aluminium et en cuivre avec les trous pour mesure en 4 fils

-alimentation 36V/10A

-voltmètre de précision Agilent 34410A (car tensions sont faibles)

-ampèremètre

-pied à coulisse

-banc de conductivité thermique du cuivre calorifugé + notice + boîtier Picolog

-GBF capable de fournir un signal de quelques mHz

Introduction

Un métal est un matériau dont la cohésion est assurée par des liaisons métalliques : les atomes mettent en commun un ou plusieurs électrons pour former ces liaisons. Les métaux composent la majorité des éléments du tableau périodique. Aux conditions normales de température et de pression, les métaux sont généralement sous forme solide. Ils possèdent des propriétés remarquables, par exemple une grande rigidité, une conduction thermique importante et une conduction électrique aussi importante.

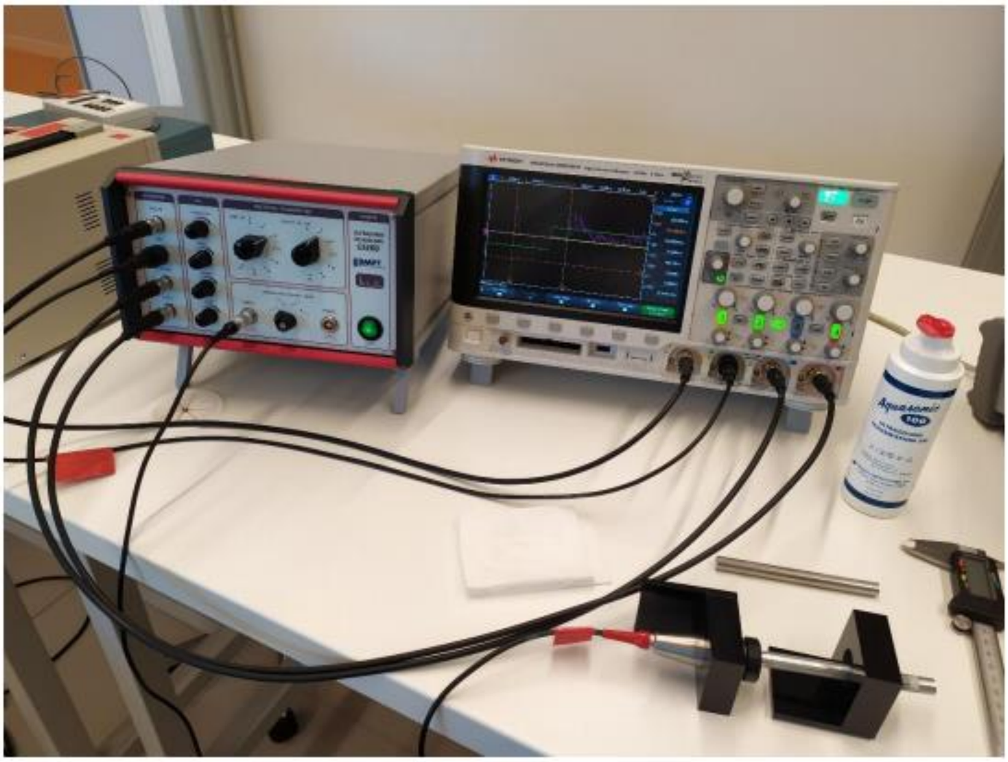
Lancement de la manip sur la conductivité du cuivre (dure longtemps)

I Module d'Young des métaux

L'idée est de mesurer la vitesse de propagation d'une onde ultrasonore dans un métal pour remonter à son module d'Young.

Grâce à un rapide calcul de force et un PFD, on peut montrer que l'élongation d'un métal suit l'équation de d'Alembert suivante : $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\rho}{E}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$, donc $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, E est le module d'Young du métal, ρ est sa masse volumique. Il suffit donc de mesurer la vitesse de propagation d'une onde dans le métal pour remonter à son module d'Young.

On mesure les dimensions du tube de métal étudié avec un pied à coulisse et on le pèse pour remonter à sa masse volumique. On branche le générateur d'impulsions ultrasonores sur l'oscilloscope : les quatre voies du générateur sur l'oscilloscope sont utilisées (la première sert pour le trigger, la deuxième représente la fenêtre d'observation du signal reçu que l'on peut déplacer grâce au générateur d'impulsions, la troisième représente le signal reçu et la quatrième représente l'enveloppe de celui-ci). Ensuite, on place l'émetteur ultrasonore sur son support et on réalise une adaptation d'impédance entre l'émetteur et le métal avec du gel. On se place dans le mode 1-1 où l'émetteur va aussi servir de récepteur et capter le signal réfléchi au bout du tube de métal. Enfin on peut mesurer sur l'oscilloscope la différence de temps Δt entre l'impulsion ultrasonore et sa réception (pour avoir un signal plus propre, on peut moyenner le signal).



On sait que $c = \frac{2L}{\Delta t}$ (aller-retour), L est la longueur du tube.

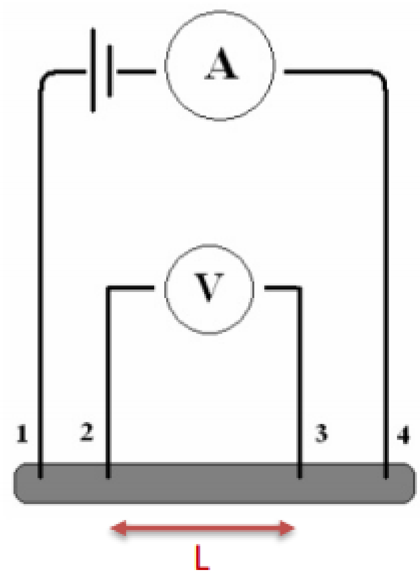
On peut faire la mesure pour différents types métaux : aluminium, acier ou encore d'autres matériaux comme le plexiglas.

Remarque : On peut réaliser une étude statistique en préparation de mesures de Δt et prendre un point de plus en direct pour améliorer l'incertitude de la mesure

II Conductivité électrique

La loi d'Ohm nous donne pour un cylindre de longueur L et de section S : $U = RI$, avec $R = \frac{L}{\sigma S}$, σ est la conductivité électrique du matériau. Il suffit donc de mesurer la tension dans un cylindre en métal pour différentes longueurs avec un courant que l'on impose.

On va réaliser un montage 4 fils dans cette expérience car on veut une mesure précise de la résistance du tube en métal et donc réduire l'impact des résistances des fils et des contacts entre ceux-ci et le métal sur nos mesures.



On envoie grâce à l'alimentation un courant d'environ 10A car la résistance est assez faible, et on relève la tension et le courant grâce aux voltmètre et ampèremètre. On trace ensuite $\frac{U}{I}$ en fonction de L et on en déduit la conductivité électrique grâce à la pente de la droite. On peut faire ceci pour deux métaux différents : aluminium et cuivre.

Les valeurs tabulées sont : $\sigma_{alu} = 3{,}77.10^7$ S.m^{-1} et $\sigma_{cuivre} = 5{,}96.10^7$ S.m^{-1}

On trouve des valeurs plus faibles car ce ne sont pas des barreaux purs.

Les métaux sont de bons conducteurs en général, c'est bien le cas pour ces deux métaux et c'est pour cela qu'on les utilise pour le transport d'énergie électrique. De bons conducteurs électriques sont aussi de bons conducteurs thermiques.

III Conductivité thermique

Avec la loi de Fick et l'équation locale du flux thermique, on obtient : $\frac{\partial T}{\partial t} = D\Delta T$, avec $D = \frac{\lambda}{\rho c}$, avec λ la conductivité thermique.

A partir de cette équation différentielle, on peut trouver l'équation des ondes thermiques dans la barre de cuivre : $T_i(z,t) = T_{i0} + ae^{-\frac{z}{\delta}}\cos\left(\omega t - \frac{z}{\delta}\right)$, avec $\delta = \sqrt{\frac{2D}{\omega}}$ et i le numéro du capteur, avec pour condition aux limites : $T(z = 0, t) = T_0 + a\cos(\omega t)$. Il nous suffit donc de mesurer δ pour remonter à la conductivité thermique.

Penser à allumer le banc 1h30 avant de prendre des mesures pour que le régime permanent soit atteint.

On impose grâce à un module Peltier une oscillation de température d'un côté de la barre de cuivre. Le module Peltier est lui-même commandé par un GBF qui envoie une sinusoïde de tension de fréquence 2mHz (amplitude entre 0 et 500 mV) afin que l'onde thermique puisse quand même pénétrer dans le barreau de cuivre. On choisit f de façon à ce que le temps d'acquisition ne soit pas trop long mais aussi pour que tous les thermocouples puissent mesurer une sinusoïde avec une amplitude mesurable : il faut que 5δ environ égal à la longueur de la barre.

Des thermocouples sont placés le long de la barre de cuivre afin de suivre l'évolution de la température à différentes positions de la barre (cf notice pour connaître la position précise des thermocouples). Il suffit donc de lancer une acquisition d'environ 2 périodes (environ 20 minutes pour une fréquence de 2mHz). On peut remonter au δ de deux manières différentes : soit avec la décroissance exponentielle, soit avec la phase des sinusoïdes.

En direct : mesurer les déphasages des 4-5 premiers capteurs directement sur le logiciel Picolog avec le pointeur et en zoomant sur les courbes.

Pour le cuivre, $\lambda = 390\ W.m^{-1}.K^{-1}$

On peut comparer avec l'aluminium ($237\ W.m^{-1}.K^{-1}$), le bois ($0{,}16\ W.m^{-1}.K^{-1}$) ou encore le polystyrène ($0{,}036\ W.m^{-1}.K^{-1}$).

Conclusion

On a pu vérifier les propriétés remarquables des métaux : rigide, de bons conducteurs électriques et thermiques.

Bibliographie

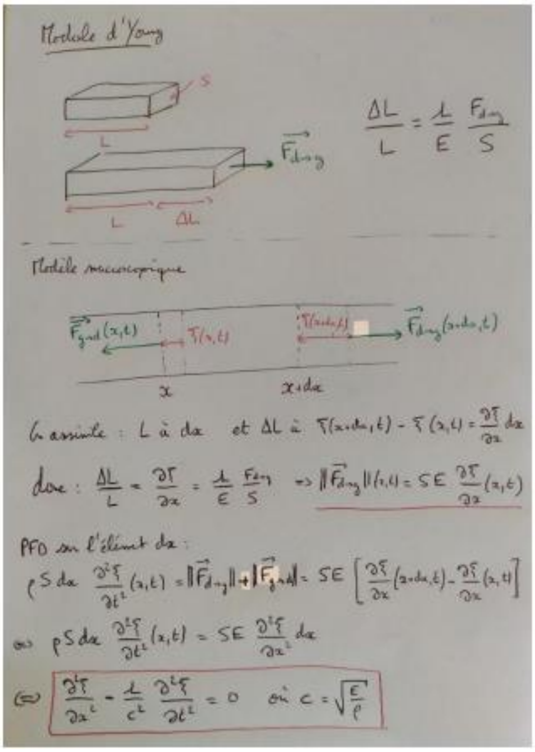
-Physique expérimentale, De Boeck

Questions

- Quelle est la fréquence des impulsions ultrasonores utilisées ?
- ➔ Elle est de l'ordre du MHz
- Pourquoi le choix des ultrasons ?
- ➔ Car le signal reçu est beaucoup plus propre avec des hautes fréquences
- Intérêt de moyenner le signal ?
- ➔ Réduire le bruit du signal et donc d'être plus précis
- Pourquoi on doit faire une adaptation d'impédance ?
- ➔ Car la densité de l'air et du métal sont très différentes donc l'impédance des deux milieux aussi et l'onde ne rentrerait que très peu dans le métal sans le gel (coefficient de réflexion très élevé)
- De quoi dépend la conductivité électrique ?
- ➔ Température
- Autres méthodes de mesure de σ ?
- ➔ Chute d'un aimant dans un tube, et l'effet d'écran
- Pourquoi mesurer le déphasage et pas les amplitudes ?
- ➔ Pour plus de précision

- Comment retrouver l'équation de D'Alembert et quelles sont les hypothèses ?

➔ On suppose que le métal reste dans le régime élastique.



Module d'Young

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{E}\frac{F_{d \to y}}{S}$$

Modèle macroscopique

On assimile : L à dx et ΔL à $\xi(x+dx,t) - \xi(x,t) = \frac{\partial \xi}{\partial x} dx$

donc : $\frac{\Delta L}{L} = \frac{\partial \xi}{\partial x} = \frac{1}{E}\frac{F_{d \to y}}{S} \Rightarrow \|\vec{F}_{d \to y}\|(x,t) = SE \frac{\partial \xi}{\partial x}(x,t)$

PFD sur l'élément dx :

$$\rho S dx \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}(x,t) = \|\vec{F}_{d \to y}\| + \|\vec{F}_{g \to d}\| = SE\left[\frac{\partial \xi}{\partial x}(x+dx,t) - \frac{\partial \xi}{\partial x}(x,t)\right]$$

$$\Leftrightarrow \rho S dx \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}(x,t) = SE \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} dx$$

$$\Leftrightarrow \boxed{\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = 0 \quad \text{où } c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}}$$