

Métalure . MP 17

biblio : - Kittel
- Ascroft et Mermin
- Landau (élasticité)

Introduction: Donner une définition d'un métal n'est pas aisé, on les caractérise surtout par leurs propriétés ils sont:

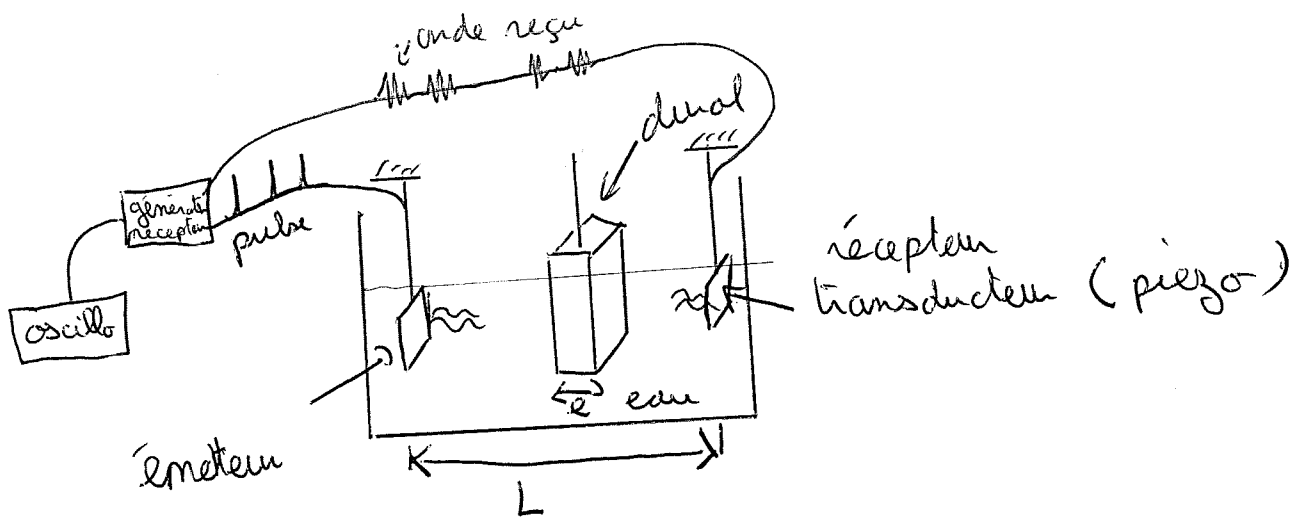
- * ductiles et malléables
- * bon conducteurs thermiques
- * bon conducteurs électriques
- * éclatants

I] Propriétés mécaniques.

Les métaux ont été utilisés dès -7000 avant JC. On peut supposer que c'était à cause de leurs propriétés mécaniques. En effet, une épée en fer sera plus efficace qu'une épée en bois ou en pierre...

Je propose donc d'étudier les propriétés mécaniques du métal et notamment son module d'Young et son coefficient de Poisson.

②



On étudie la propagation d'ondes acoustiques au sein d'une plaque de métal.

→ 2 types d'ondes: de compression
de cisaillement

$$c_{//} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \sqrt{\frac{1-\sigma}{(1+\sigma)(1-2\sigma)}}$$

$$c_{\perp} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \sqrt{\frac{1}{2(1+\sigma)}}$$

On mesure le temps de vol de l'impulsion:

$$\Delta t_{//} = 172,8 \mu s \pm 0,4 \mu s$$

$$\Delta t_{\perp} = 180,0 \mu s \pm 0,4 \mu s$$

$$c = \frac{e}{\Delta t - \frac{(L-e)}{c_{H_2O}}}$$

avec

$$e = 4,05 \pm 0,01 \text{ cm}$$

$$L = 28,5 \text{ cm}$$

$$c_{H_2O} = 1470 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{D'où } c_{//} = 6521 \text{ m s}^{-1} \pm 300 \text{ m s}^{-1}$$

$$c_{\perp} = 3000 \text{ m s}^{-1} \pm 150 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{or } c_{//\text{tab}} = 6400 \text{ m s}^{-1}$$

$$c_{\perp\text{tab}} = 3040 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{D'ac } E = 68 \text{ GPa} \pm 7 \text{ GPa}$$

$$\sigma = 0,34 \pm 0,03$$

$$E_{\text{tab}} = 716 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{tab}} = 0,34$$

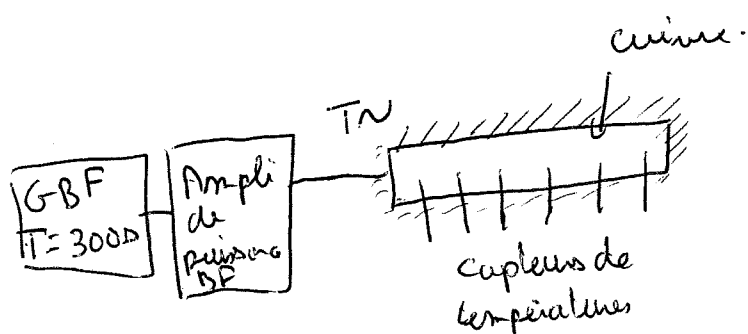
$$\rho_{\text{alum}} = 2697 \text{ kg m}^{-3}$$

(3)

Ensuite, comme les hommes maîtrisent le feu depuis 400000 ans, ils ont très vite fait de la métallurgie et se sont rendus compte que les métaux conduisaient bien la chaleur. C'est ce que je propose d'illustrer.

II] Bons conducteurs de chaleur

Utilisation de la cellule Pelletier.



on a $T = T_0 + \theta e^{-\frac{x}{\delta}} \cos(\omega t - \frac{x}{\delta})$
 on choisit ω pas trop grand parce que la chaleur diffuse et pas trop petite parce que la barre ne soit pas constamment en équilibre thermique.

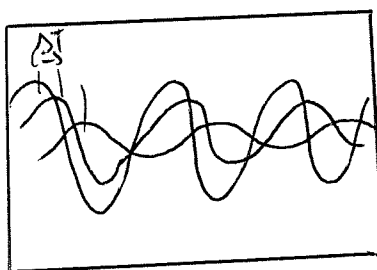
avec $\delta = \sqrt{\frac{2\lambda}{\rho C_p \omega}}$

λ : conductivité thermique

C_p : capacité thermique $C_p = 384 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$

ρ : masse volumique ($\rho_{\text{Cu}} = 8960 \text{ kg m}^{-3}$)

après $\sim 30 \text{ min}$ on a une synchronie:
 $(T = \frac{2T}{\omega} = 3000)$



on mesure $\Delta T \rightarrow \langle \Delta T \rangle_{\text{capteurs}} = 25 \pm 2$

D'air $\langle \delta \rangle = 96 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$

D'air $\lambda = 330 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1} \pm 50 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

$\lambda_{\text{tab}} = 350 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

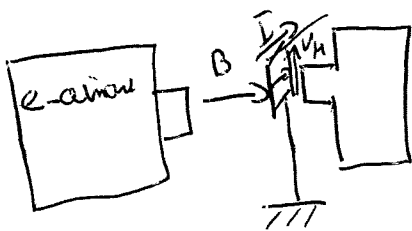
remarque : $\lambda_{\text{métal}} \sim 400 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
 $\lambda_{\text{bois}} \sim 2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
 $\lambda_{\text{gaz}} \sim 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

C'est les électrons de conduction qui sont en partie responsable de la conduction thermique (c'est $e^- + \text{phonons}$).

C'est en 1752 que le premier paratonnerre a été réalisé par B. Franklin. C'est donc vers cette époque les hommes ont pensé à utiliser les métaux pour conduire le courant. Nous allons voir ici quelles sont les charges responsables de la conduction de l'électricité et quelle en est la densité.

III) Effet Hall et densité de porteurs

On utilise l'effet Hall pour connaître le signe et la densité des porteurs de charges. On cherche juste l'ordre de grandeur.



on mesure la tension de Hall (transverse au sens du courant).

On alimente les bobines avec $I = 8,0 \text{ A}$

La lame d'argent est traversée d'un courant $I = 10 \text{ A}$.

On utilise un microvoltmètre pour mesurer V_H .

(5)

On a
$$V_H = \frac{IB}{nqe} \Rightarrow \frac{1}{nq} = \frac{V_H R}{IB}$$

avec e l'épaisseur du lam d'Ag.
 I le courant qui la traverse
 n : densité de porteurs
 q : charge des porteurs.

On ~~mesure~~ $V_H = \frac{IB}{nqe} = -10 \text{ mV}$

D'où $\frac{1}{nq} = -8,3 \cdot 10^{-11} \text{ C}^{-1} \text{ m}^3$

$\rightarrow$ c'est les électrons qui conduisent le courant.

et $n \approx 6 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$

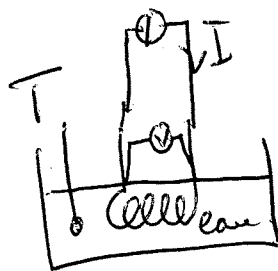
$n_{\text{bob}} = 8 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$.

Pour des semi-conducteurs $n \sim 10^{21} \text{ m}^{-3}$.

Maintenant intéressons nous à la conductivité électrique du cuivre

IV] Bons conducteurs de courants électriques.

On s'intéresse à $R(T)$, la résistance d'une bobine en fonction de la température. On utilise la méthode 4 fils.



On impose I faible pour ne pas finir comme Claude François et pour ne pas trop chauffer la bobine par effet Joule.



on obtient une loi linéaire,

On peut s'intéresser à la loi de Wiedemann-Franz:

$$\frac{\rho}{T} = LT$$

avec $L = 2,44 \times 10^{-8} \text{ W}\Omega\text{K}^{-1}$
 et $\rho = \frac{L}{SR}$

L : longueur de la bobine: 120m
 S : section du fil: $\pi(0,5)^2 \text{ mm}^2$

On obtient effectivement une droite, on en déduit $L = 2,4 \pm 0,2 \text{ W}\Omega\text{K}^{-1}$

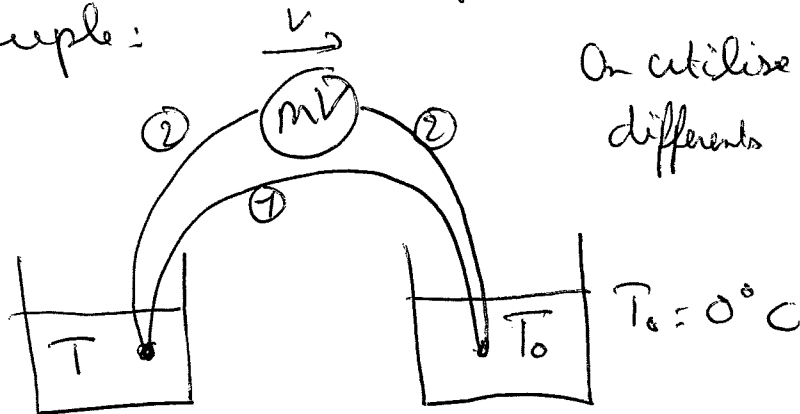
Etudions maintenant un effet couplant conduction thermique et électrique.

Effet Seebeck

On a 2 paucun métal dans un gradient de T .

$$V = E \Delta T$$

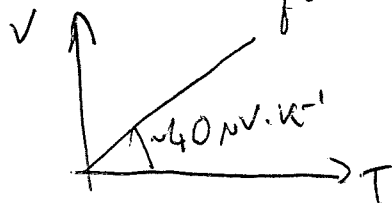
thermocouple:



On utilise 2 métaux avec des E différents

$$V = (E_1 - E_2)(T - T_0)$$

En préparation on a fait la courbe d'étalonnage.



On mesure la température ambiante et on la compare à la température donnée par le thermomètre à alcool $\rightarrow$ c'est la même! ⑦

remarque: l'effet Seebeck, comme l'effet Peltier ou Thomson sont des cas particuliers des relations d'Onsager $\rightarrow$ (même principe de la Thermo)

$$\begin{pmatrix} \vec{J}_{\text{elec}} \\ \vec{J}_{\text{therm}} \end{pmatrix} = \hat{M} \begin{pmatrix} \vec{\nabla} V \\ \vec{\nabla} T \end{pmatrix}$$

Conclusion: . C'est les électrons de conduction qui sont importants!
. Si on n'a pas parlé des propriétés optiques
. En 1996 on a synthétisé de l'hydrogène métallique, ça peut faire un cartouche génial!"

