

Objectif de l'expérience :

Le but de l'expérience est de créer un moyen de faire fondre du métal sans générer de chaleur. Le métal considéré sera la seule partie du dispositif qui verra sa température augmenter. Par conséquent, l'environnement risque de chauffer légèrement aussi. Nous ne pouvons pas éviter cette conséquence, en considérant les hautes températures atteintes.

Nous voulons également mettre en lumière le lien entre la température atteinte par le métal chauffé en fonction de l'intensité du courant électrique qui circule.

Notions physiques et explication de l'expérience :

La loi d'Ampère nous dit que tout courant électrique produit un champ magnétique autour de l'objet dans lequel il circule.

$$\mathbf{B}(t) = \mu_0 \mu_r n I(t) \text{ où } n = \frac{N}{L} \text{ (N le nombre de spires et L la longueur du solénoïde) et } I(t) = I_0 \cos(\omega t + \phi)$$

De plus, la loi de Faraday, nous dit que la variation du flux magnétique produit une force électromotrice ; c'est-à-dire que si la « quantité de champ magnétique » (flux magnétique) n'est pas constante, un courant est créé dans tout objet métallique proche.

$$\epsilon(t) = -\frac{d\phi(t)}{dt} = -\frac{S dB(t)}{dt}$$

$$\epsilon_0 = S \mu n I_0 \omega$$

Notre générateur ne fournissant que du courant continu, nous avons ajouté des transistors pour que le courant qui circule soit alternatif, nous permettant d'obtenir une variation du flux du champ magnétique et donc une force électromotrice non nulle. Ce courant circule dans un solénoïde pour maximiser le flux du champ magnétique, et le morceau de métal chauffé est une barre en acier (directement accrochée au thermomètre). La tige chauffe très rapidement, vers des températures de l'ordre de 500K en seulement quelques secondes. Bien évidemment, la température maximale est proportionnelle à l'ampérage sélectionné.

Nous pouvons quantifier l'effet joules par $P = \sigma |E|^2$ où P est la puissance électrique, σ est la conductivité thermique de l'objet et $|E|$ le module du champ électrique. N'oublions tout de même pas que des pertes, dues à la propagation de chaleur par convection, conduction et rayonnement, font refroidir légèrement le dispositif. Les pertes sont définies par :

$$P_{convection} = h A (T - T_{extérieur})$$

$$P_{rayonnement} = \epsilon \sigma_{SB} A (T^4 - T_{extérieur}^4)$$

$$P_{conduction} \text{ (négligeable dans notre cas)}$$

Il est certain que le métal ne va pas chauffer indéfiniment, il doit donc exister une température d'équilibre, qui est atteinte lorsque $P_{perte} = P_{induit}$. Cette condition d'équilibre est atteinte lorsque l'amplitude du courant vaut :

$$I_0 = \sqrt{\frac{h A (T - T_{extérieur}) + \epsilon \sigma_{SB} A (T^4 - T_{extérieur}^4)}{\frac{r^2}{8} \sigma \mu^2 n^2 \omega^2 V}}$$

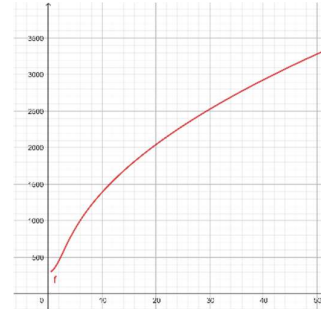
L'induction est un phénomène électromagnétique extrêmement commun. On peut la retrouver dans nombreuses des cuisines modernes, dans les plaques de cuisson à induction. Il est également possible de voir des forges à induction dans le domaine de la métallurgie, cette méthode permettant d'avoir un meilleur contrôle sur la température de chauffage du métal, ainsi qu'un meilleur rendement.

Résultat théorique attendu :

En ajustant toutes les données pour l'acier inoxydable, nous avons dessiné un graphe de la température d'équilibre en fonction de l'ampérage. On peut voir que la courbe est séparée en deux courbes différentes, en fonction de si T^4 est plus petit ou plus grand que T . Explicitement :

$$\text{Si } T^4 \ll T, \text{ alors } T \approx \frac{aI^2+b}{h} \text{ et si } T \gg T^4, \text{ alors } \sqrt[4]{\frac{aI^2+b}{c}}$$

pour a, b, c et h des constantes.



Résultats expérimentaux :

Nous avons mesuré la température de la tige toutes les 5 secondes à différents ampérages pour pouvoir dessiner un graphe de la température en fonction du temps ainsi que la température de stabilisation en fonction de l'intensité du courant. Un ampérage élevé fait augmenter trop rapidement la température, nous nous sommes donc limités à de bas ampérages. Les mesures ont été effectuées avec de l'acier inoxydable, dans une pièce à 293,95K. Voici le graphique de la température d'équilibre en fonction de l'ampérage à partir de nos mesures expérimentales :

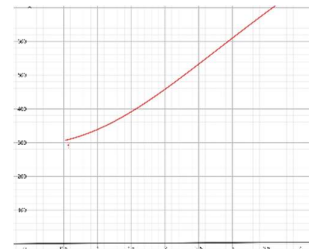
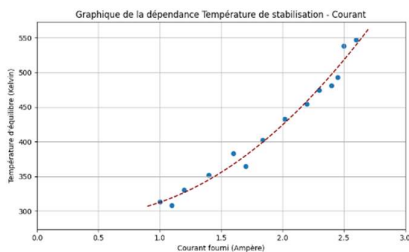


Figure 1 : Graphe théorique centré sur 0-4 ampères

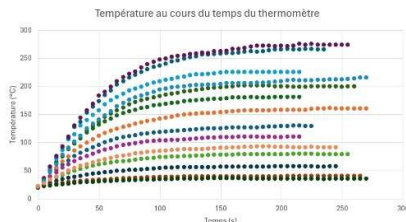


Schéma expérimental :

