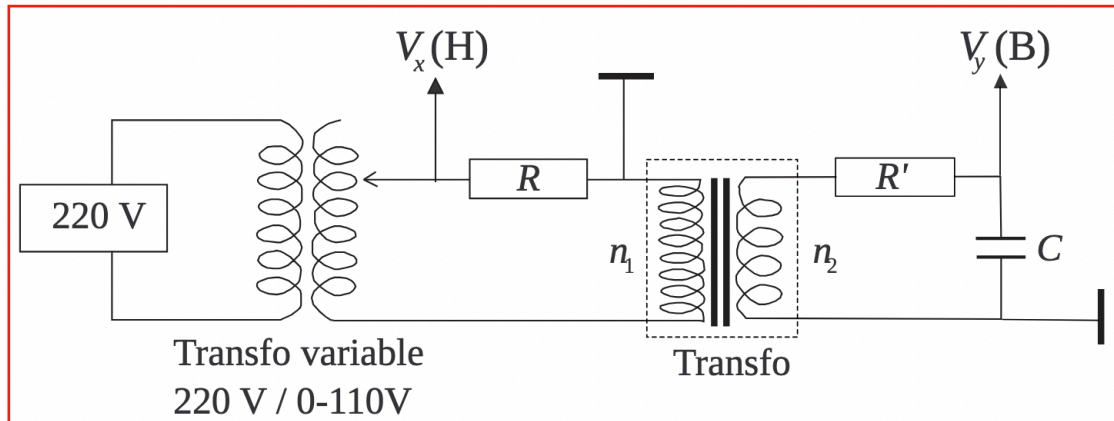


TP : Cycle d'hystérésis du fer

Différentes orientations des petits barreaux ferromagnétiques, paramagnétiques ou diamagnétiques dans l'entrefer.

TP : Cycle d'hystérésis du fer

Référence : Polycopié de TP – Série 3 – Conversion de Puissance



- Transfo = Transformateur Leybold démontable
- $n_1 = 500$ spires
- $n_2 \leq n_1$, pour des questions de sécurité
- $R = 20$ à 30Ω : RHEOSTAT et non boîte AOIP car $i_1 > 1$ A !
- $C = 4$ à $10 \mu\text{F}$
- $R' = \text{boîte AOIP} \times 10^5$

La courbe $B(H)$ est non linéaire et forme un cycle d'hystérésis. Le ferromagnétique canalise les lignes de champs jusqu'au circuit secondaire, donc c'est bien l'excitation magnétique H dans le ferromagnétique qu'il faut utiliser.

Pas de saturation dans la courbe $B(H)$. Elle est dans la courbe $M(H)$.

En entrée on n'utilise pas un GBF car ne permettra pas d'obtenir des grandes tensions. On utilise un transformateur qui se branche au réseau EDF et a un circuit secondaire qu'on peut régler et choisir Nb spires et donc changer la valeur de tension en sortie. On pourra alors avoir des hautes tensions (110V par ex) qui permet de saturer le milieu ferromagnétique et observer un beau cycle hystérésis.

V_x nous donne l'excitation magnétique :

Théorème d'Ampère est $\oint \vec{H} \cdot d\vec{L} = I_{\text{enlace}} \rightarrow HL = n_1 i \rightarrow H = \frac{n_1}{L} i$

Car H et dL sont toujours colinéaires puisque les lignes de champ sont canalisées dans le circuit ferromagnétique. Donc mesurer i nous donne H . Pour cela on l'attache à une R et on mesure la tension V_x aux bornes de cette R et $i = V_x/R$.

L'expérience montre que L = la longueur du circuit magnétique et pas la longueur de la bobine du primaire

Dans la 2e bobine, par la loi de Lenz-Faraday :

$$u = -e = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d}{dt}(n_2 \phi_{1spire}) = \frac{d}{dt} \left(n_2 \iint \vec{B} \cdot d\vec{S} \right) = n_2 S \frac{dB}{dt}$$

Car \vec{B} (// à \vec{H}) et $d\vec{S}$ sont colinéaires et en plus \vec{B} est homogène.

Tel que S est la surface de la section du fer et non pas des bobines.

Donc on utilise un intégrateur par un circuit RC et donc : $B = \frac{-1}{n_2 S} \int u dt$ et c'est V_y

Afin d'obtenir un vrai circuit intégrateur (et non pas pseudo-intégrateur), on doit prendre R' et C de telle sorte que $R'C \gg 1/\omega_0$, avec ω_0 la pulsation de u .

La tension aux bornes de C est :

$$V_C = \int \frac{i}{C} dt = \frac{1}{C} \int \frac{u}{R'} dt = \frac{1}{R'C} \int u dt = \frac{n_2 S}{R'C} \int dB = \frac{n_2 S}{R'C} B$$

Dans la 2e bobine, il y a un courant induit dans le sens opposé donc le théorème d'Ampère sera $HL = n_1 i - n_2 i_2$, et on aura pas de proportionnalité entre H et i !!

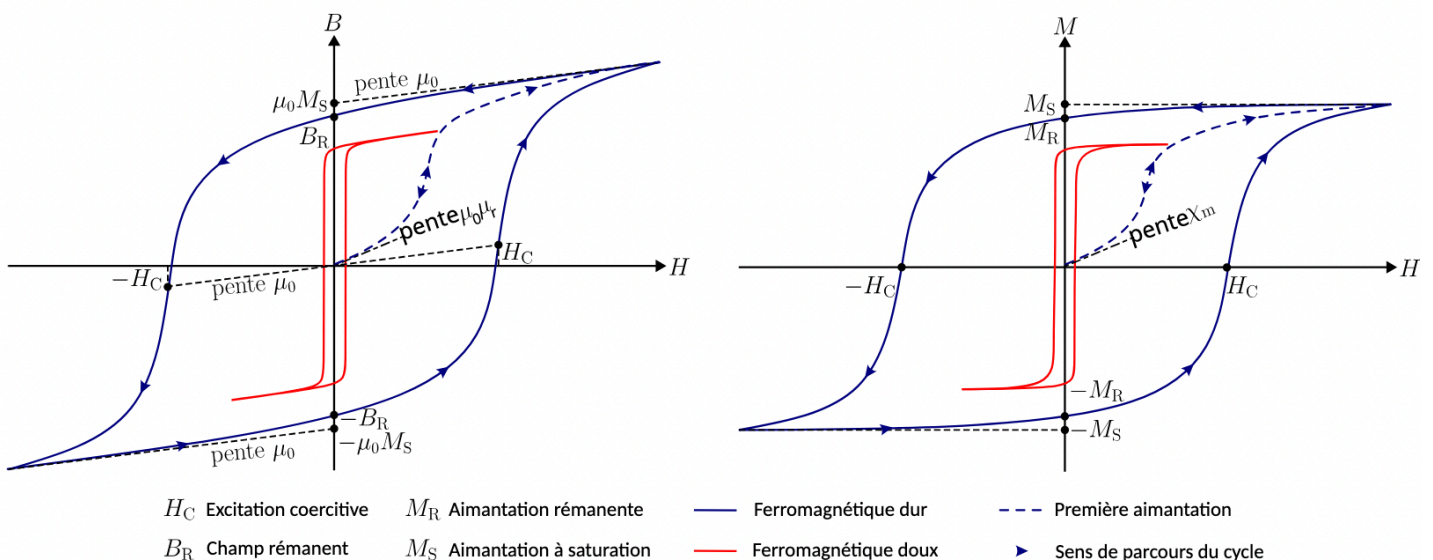
on choisit donc un R de l'intégrateur très grand alors i_2 sera très petit et on peut le négliger devant i

Je mesure R du rhéostat par un multimètre et je trouve $R=22.48\Omega$

Soit N le nb de carreaux du cycle. Les dimensions du carreau sont 390mV en x et 80mV en y . Donc aire d'un carré = $390 \times 80 \text{ (mV)}^2$. L'aire du cycle = $N \times A_{1carre}$

$$\text{La puissance des pertes } P = V_y i = V_y \frac{V_x}{R} = \frac{\text{Aire Cycle}}{R}$$

Pour un Nb de 43 carreaux, je trouve $P=60\text{mW}$



$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{M} + \vec{H})$$

- B pour le champ total à l'intérieur du matériau, il est appelé induction magnétique et s'exprime en tesla (T)

- H pour le champ magnétique appliqué ou extérieur, appelé excitation magnétique : le champ qu'il y a en l'absence du matériau. Il est exprimé en ampères par mètre (A/m).
- M pour la réponse magnétique du matériau lorsque ce dernier est mis en présence de H , et est appelée « aimantation » et est aussi exprimée en ampères par mètre (A/m)

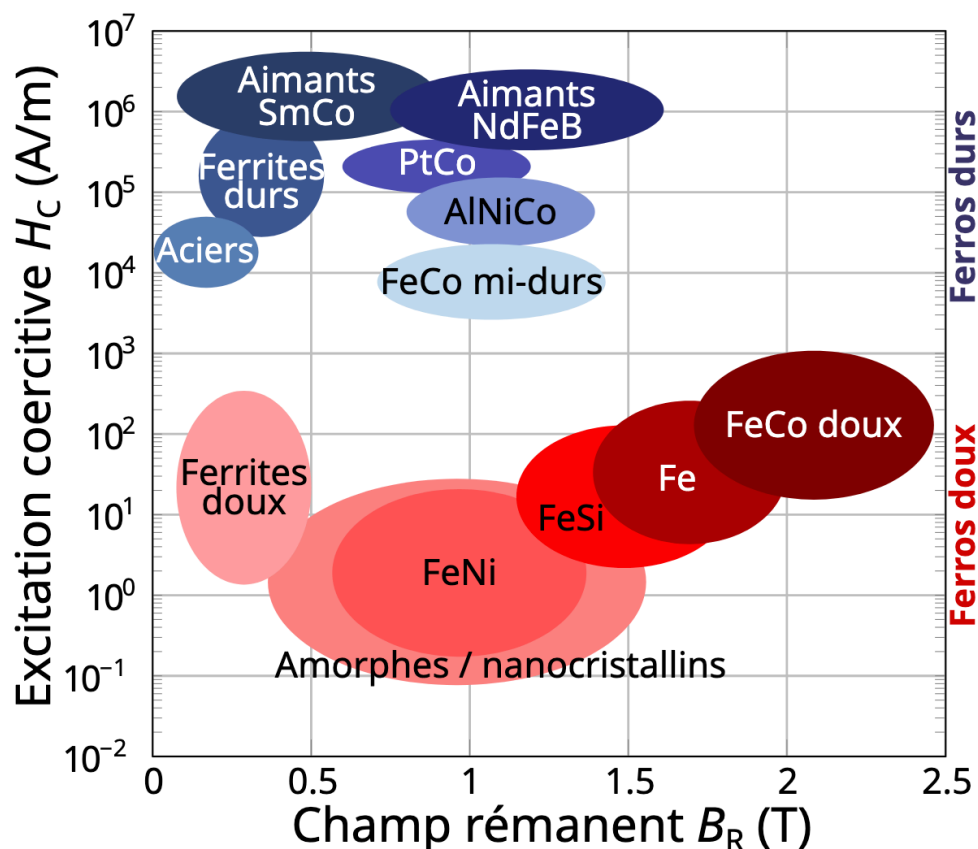
La susceptibilité magnétique $\chi_m = \frac{\partial M}{\partial H}$ C'est une grandeur sans dimension, elle ne reflète que le taux de variation de M par rapport à H autour de $H = 0$

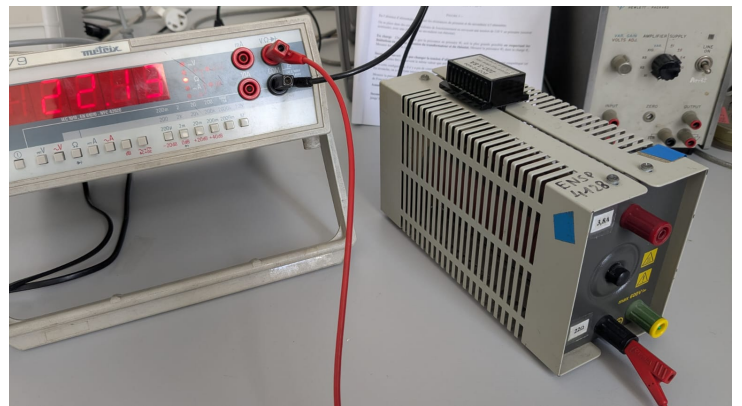
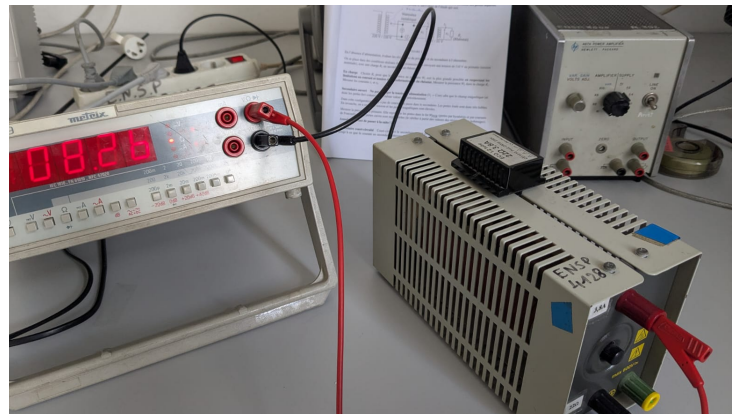
Si l'aimantation permanente du matériau est nulle ($\vec{M}_0 = \vec{0}$), et que les valeurs de M et H sont mesurées assez proches de 0 : $\chi_m = \frac{M}{H}$ donc $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \chi_m \vec{H}) = \mu_0 \mu_r \vec{H}$

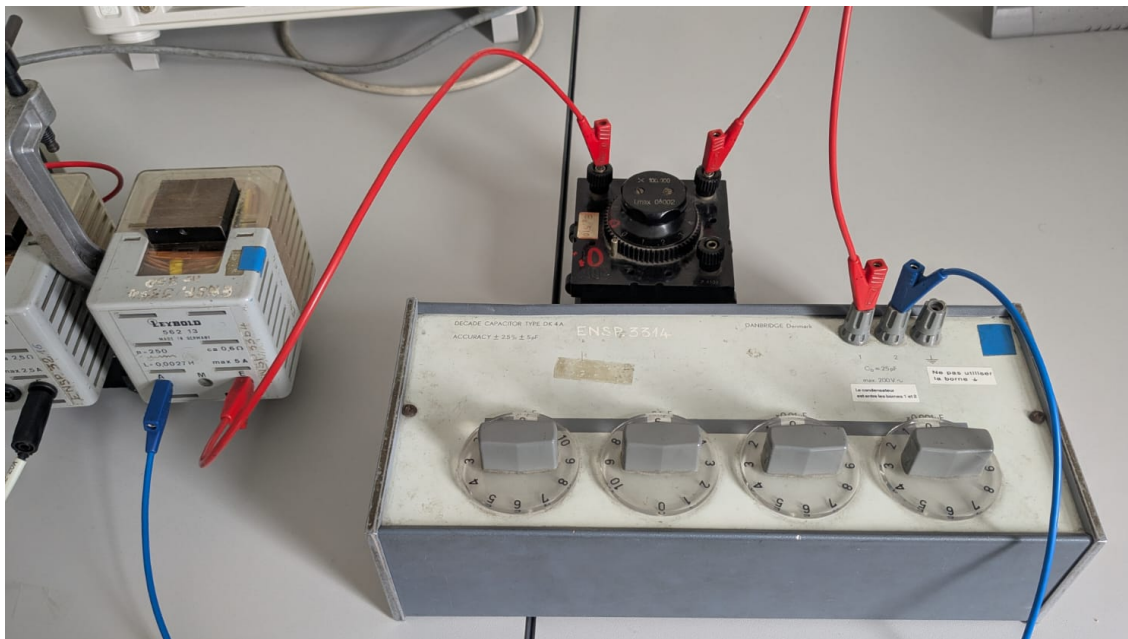
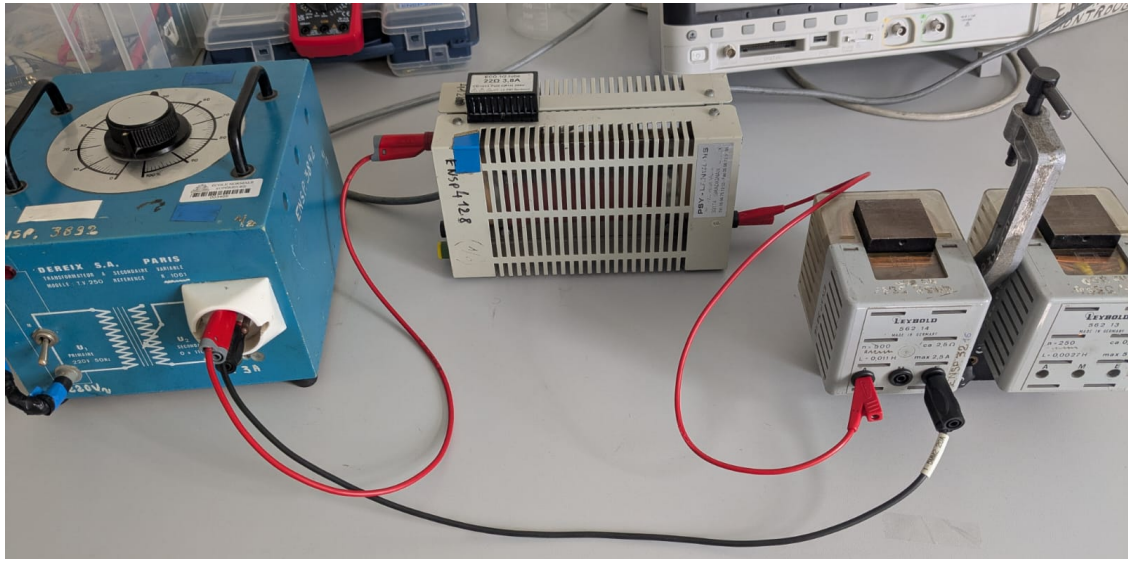
Avec la « perméabilité magnétique relative » du matériau : $\mu_r = 1 + \chi_m$ et la perméabilité magnétique absolue : $\mu = \mu_0 \mu_r$ donc $\vec{B} = \mu \vec{H}$

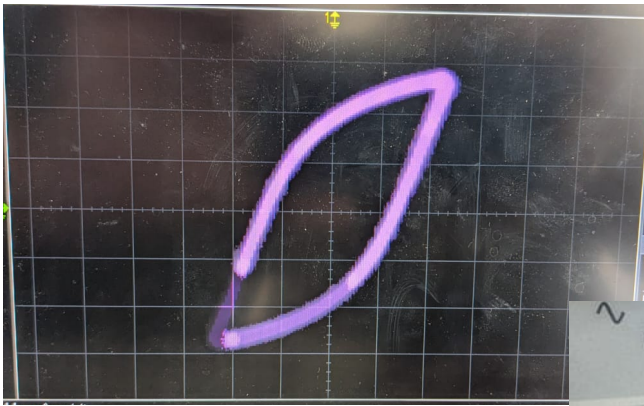
- On détermine l'aimantation à saturation M_S par la pente
- On détermine le champ et l'aimantation rémanents par $B_R = \mu_0 M_R$
- On détermine l'excitation magnétique coercitive H_C
- On détermine μ_r par la pente à 0 de la courbe de 1ère aimantation
- On trouve la susceptibilité par $\chi_m = \mu_r - 1$
- On trouve les pertes par hystérésis en calculant l'aire du cycle

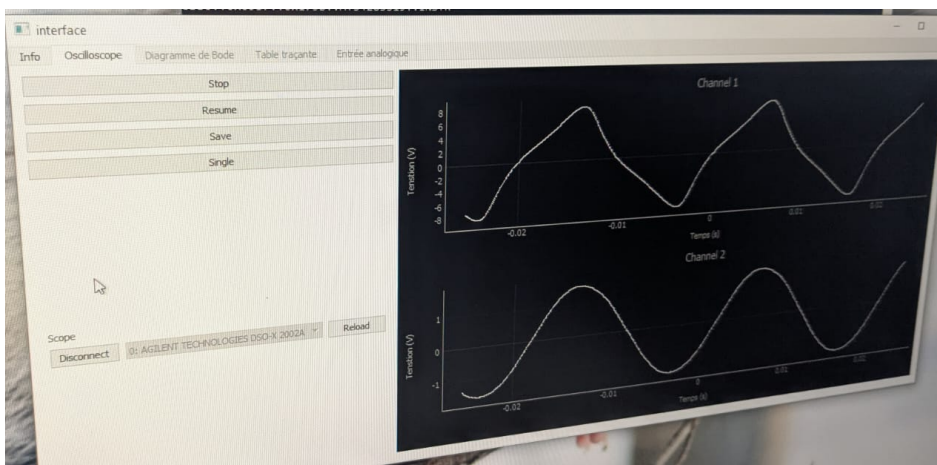
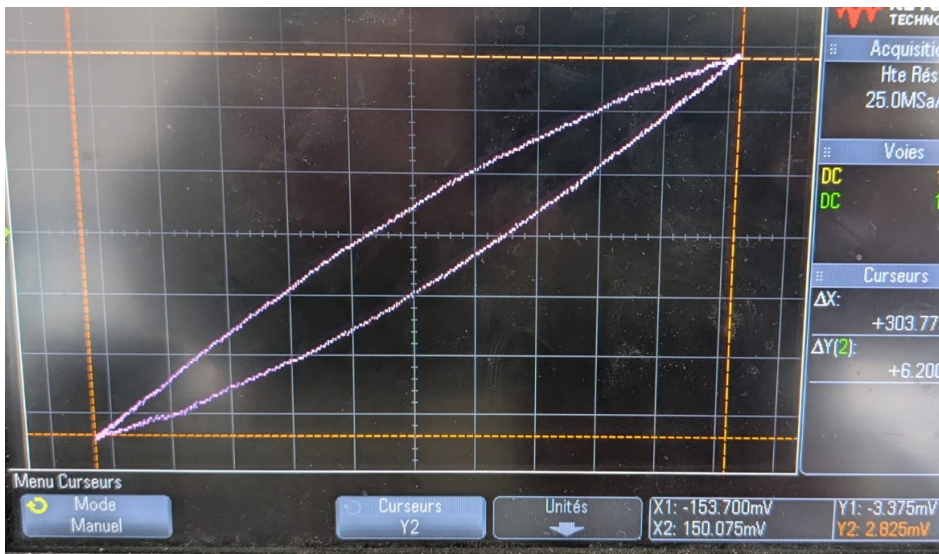
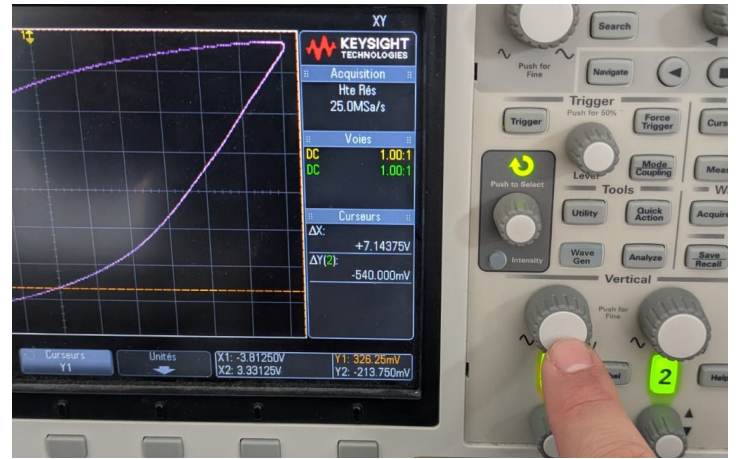
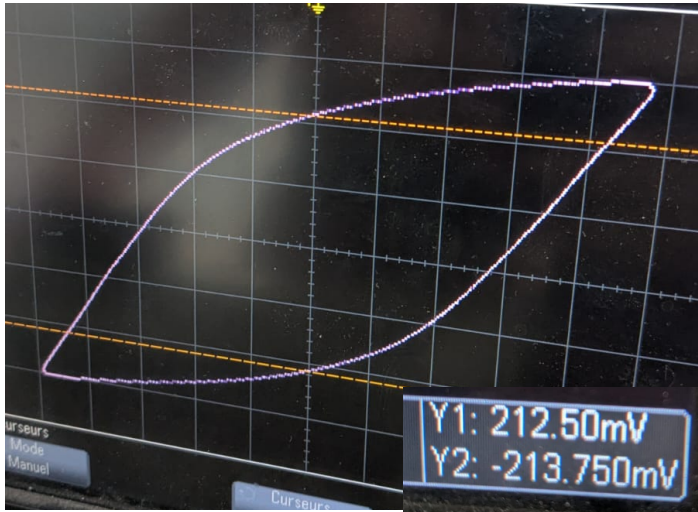
Normalement on a un fer (ferrite) doux











Q: Pourquoi on s'intéresse plutôt au ferromagnétisme ?

R: Grande susceptibilité, utilisation dans les transformateurs (ferromagnétiques doux) ou en aimant (ferromagnétiques durs)

Q: Pourquoi les pièces sont feuilletées dans le ferromagnétiques ?

R: Pour empêcher les courants de Foucault créés par le champ magnétique dans le ferromagnétique.

Q: Différence entre courants de Foucault et courants induits ?

R: Courants de Foucault sont des courants induits à l'intérieur du matériau -> pertes par effet Joule et on ne peut pas récupérer ces courants

Q: Que se passe-t-il si on coupe d'un coup le courant ? Tracer la courbe de première aimantation ?

R: On peut avoir un champ rémanent donc on aurait fabriqué un aimant.

Q: Pourquoi ne pas utiliser un ferromagnétique dur pour un transformateur ?

R: Pour éviter les pertes par hystérésis, le cycle est plus grand pour les ferromagnétiques durs donc il y a plus de pertes.

Q: Est-ce qu'en augmentant les tensions on augmente les pertes ?

R: Lorsque le champ magnétique H oscille au sein du ferromagnétique, il y a une perte d'énergie liée à la réaction de l'aimantation M à ce forçage. Sur une période, en supposant que l'aimantation réagit de manière instantanée, le travail fourni W_M au matériau est l'aire $H.M$ sur le domaine d'hystérésis de la réponse magnétique du matériau

Soit, à la fréquence f une perte de puissance $f W_M$. Pour limiter les pertes, il faut utiliser un ferromagnétique pour lequel le cycle d'hystérésis est aussi peu marqué que possible, on parle de ferromagnétique doux. On peut constater que si l'on augmente très fortement les tensions, et donc les champs H appliqués, on entre dans un régime dans lequel le travail des pertes par cycle ne varie plus, et par conséquent, les pertes relatives à la puissance échangée diminuent. Cependant, ce régime n'est pas désirable en pratique car la saturation implique aussi une forte non linéarité (en particulier l'excitation d'harmoniques impaires) ce qui peut être aussi considéré comme une perte.

Q: Quel paramètre du ferromagnétique permet de guider les champs magnétiques ?

R: C'est la perméabilité μ_r , avec $\mu_r \sim 1000$ pour le fer. A noter que cette perméabilité correspond à la pente de la courbe $M(H)$, pour la courbe de première aimantation (qui n'est pas représentée dans le schéma ci-dessus) c'est-à-dire partant du point $M=0, H=0$. Ça dépend, ça peut aussi être la dérivée de la courbe du cycle près de $H=0$.