

Année universitaire: 2022/2023

2eme année génie électrique et électronique

TP : Electrotechnique fondamentale I

السنة الجامعية: 2023/ 2022:

السنة الثانية هندسة كهربائية و إلكترونيك

أعمال تطبيقية في الكهروتقني الأساسية 1

## TP n°03 : Le cycle d'hystérésis

Volume horaire : 1<sup>h</sup>30.

Déroulement de l'expérience : ..... /...../..... .

Compte rendu fait par :

| Nom | Prénom | Groupe | S/groupe | Note Final |
|-----|--------|--------|----------|------------|
| -   | -      | -      | -        | -          |
| -   | -      | -      | -        | -          |
| -   | -      | -      | -        | -          |
| -   | -      | -      | -        | -          |

### Instructions :

- Il faut respecter les réglementations intérieures du laboratoire.
- La blouse (le tablier) est obligatoire.
- La présence des étudiants est obligatoire et contrôlée. Toute absence non justifiée ou un compte-rendu non remis entraineront la note de 0/20.
- Faites vérifier vos montages avant de brancher la source de tension.
- Il est strictement interdit de déplacer le matériel d'un poste vers un autre, en cas de panne ou en présence d'appareil défectueux, faire appel à l'enseignant.
- Le compte rendu sera effectué en trinôme.
- Le compte rendu sera remis au début de la séance suivante.
- Le compte rendu comportera impérativement les rubriques suivantes :
  - Page de garde du TP.
  - La date de la séance du TP.
  - Le nom et prénom du rédacteur principal,
  - Les noms et prénoms des participants du TP.
  - La préparation et le travail en document manuscrit.

**I. But de manipulation**

- Apprendre les méthodes correctes des mesures par l'interface CASSY Lab.
- Apprendre la visualisation du cycle d'hystérésis B(H) d'un matériau magnétique et l'évaluation des pertes par hystérésis de ce matériau a fait à l'aide du logiciel CASSY Lab.

**II. Rappel théorique**

**II.1 Définition du circuit magnétique**

Un circuit magnétique est le volume où se referment toutes les lignes de force d'un champ magnétique( Fig-1).

Dans tous les domaines où on aura l'utilisation des phénomènes magnétiques (exemple : machines, appareils de mesure...), on sera amené à canaliser les lignes de force dans un circuit bon conducteur du flux magnétique.

Ce circuit sera constitué par des matériaux dits *ferromagnétiques* et en particulier par du fer.

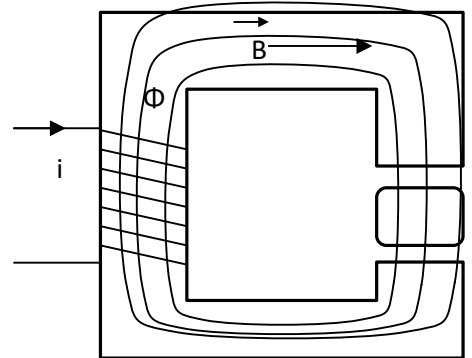


Figure 1

On obtient un champ magnétique grâce à des aimants permanents ou bien des circuits électriques parcourus par des courants

**II.2 Champs magnétique et induction magnétique**

Lorsqu'un champ magnétique **H** circule dans un matériau ferromagnétique il se crée, dans le matériau, une induction magnétique **B** (Fig-2), dont la variation suit la relation :

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \text{ avec } \mu = \mu_r \mu_0 \quad \text{où}$$

$\vec{H}$  : Champ magnétique ou intensité du champ magnétique (A/m)

$\vec{B}$  : Induction magnétique (Tesla)

$\mu$  : Perméabilité absolue d'un matériau magnétique

$\mu_0$ : Perméabilité du vide  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  H/m

$\mu_r$ : Perméabilité relative d'un matériau.

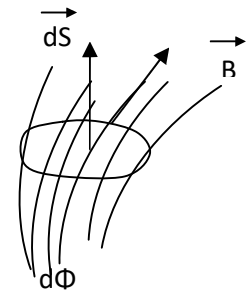


Figure 2

**II.3 Flux magnétique**

Le flux de l'induction magnétique  $\vec{B}$  à travers une surface **S** est

$$\Phi_s = \iint \vec{B} \cdot d\vec{s} \text{ ou bien } d\Phi = \vec{B} \cdot d\vec{s}.$$

**II.4 Relation courant – champ magnétique (Théorème d'Ampère)**

Le champ magnétique circulant le long d'une ligne d'induction fermée  $\Gamma$  qui traverse n fois un circuit électrique parcouru par un courant **i**(Fig-3) est lié au courant par le théorème d'Ampère :

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{l} = ni \quad n : \text{nombre de spires de la bobine.}$$

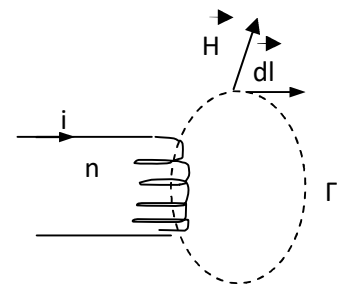


Figure 3

**II.5-Relation tension – flux magnétique**

Si un enroulement à n spires est traversé par un flux magnétique variable ou alternatif (Fig-4), il y aura création d'une force contre électromotrice (tension) entre les bornes de cet enroulement :

$$e = -n \, d\Phi / dt$$

$\Phi$  : Flux magnétique traversant la surface des spires.

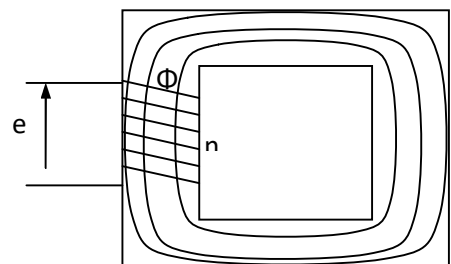


Figure 4

## TP N° 3 : Le cycle d'hystérésis

### II.6 Courbe d'aimantation :

Le champ et l'induction magnétique sont

liés par la relation :  $\vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_r \mu_0 \vec{H}$

- Dans les milieux et matériaux *amagnétiques* (air, cuivre, aluminium) où  $\mu_r = 1$  c à d  $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ , la caractéristique B (H) est linéaire (forme droite). (Fig-5)

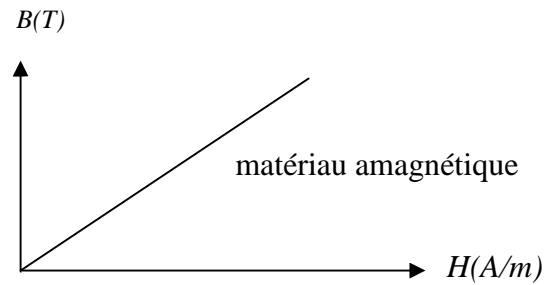


Figure 5

- Les substances *ferromagnétiques* (le fer par exemple) sont caractérisées par une courbe de magnétisation non linéaire, où la perméabilité relative  $\mu_r$  est variable suivant la valeur de l'induction B. (Fig-6)

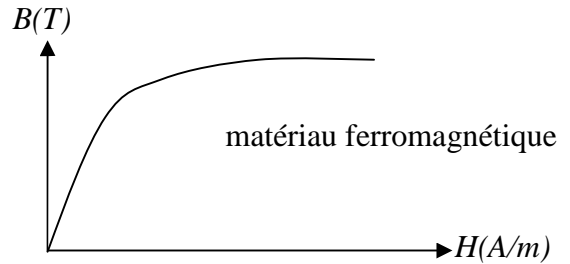


Figure 6

### II.7 Phénomène d'hystérésis :

Lorsqu'une substance ferromagnétique est soumise à un champ magnétique alternatif, la caractéristique B(H) suit des chemins différents pendant l'aimantation et la désaimantation. Pendant chaque période, la caractéristique B(H) décrit un cycle fermé appelé *cycle d'hystérésis* (Fig-7).

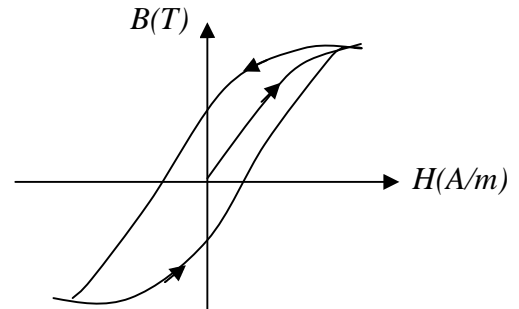


Figure 7

### II.8- Pertes magnétiques :

Elles représentent la puissance active dissipée dans un circuit magnétique parcouru par un flux magnétique variable ou alternative. Ces pertes sont dues essentiellement aux courants induits dans le matériau par effet de la variation du flux (courants de Foucault), et aussi au phénomène d'hystérésis.

### II.9 Pertes par hystérésis :

La variation de l'énergie magnétique par unité de volume dans

une substance magnétique est donnée par :  $dW = \vec{H} \cdot d\vec{B}$

L'énergie dissipée pendant une période T est :  $W = \int_0^T dW = \int_0^T \vec{H} \cdot d\vec{B}$

Cet intégral traduit la **surface** du cycle d'hystérésis décrit pendant une période (Fig-8).

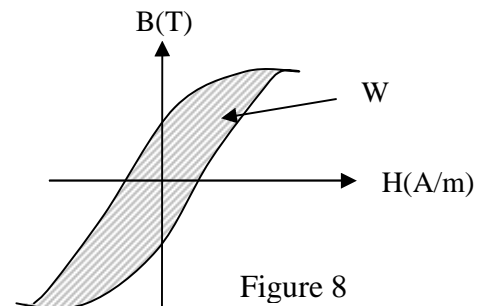


Figure 8

L'énergie magnétique totale dissipée dans la substance de volume V pendant une période se calcule par intégration de W sur le volume de la substance :

$$W_T = \int_V W dv = W \cdot V$$

En fin la puissance active dissipée (pertes par hystérésis) dans le matériau en question est :

$$P_h = \frac{dW_T}{dt} = \frac{W_T}{T} = W_T \cdot f$$

## II- Méthode de mesure du champ et de l'induction magnétique

Soit le montage de la figure suivante :

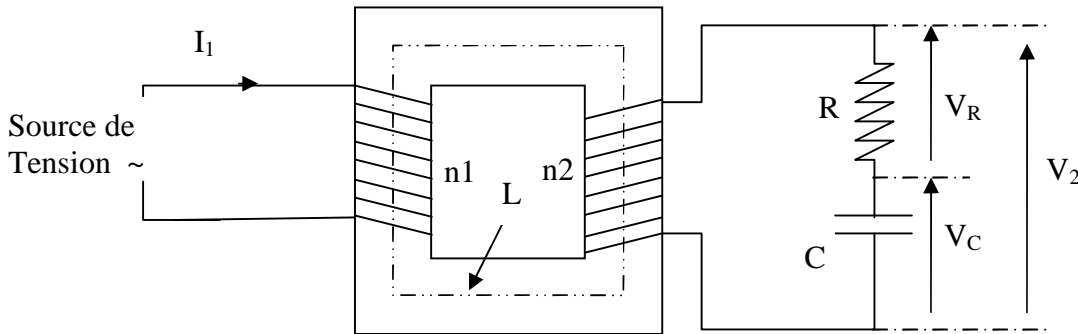


Figure 9

Il s'agit d'un circuit magnétique fermé constitué d'un matériau ferromagnétique. Ce circuit est menu de deux bobinages électriques de nombres de spires  $n_1$  et  $n_2$ . Le bobinage (1) est alimenté par une source de tension alternative de fréquence 50 Hz.

- **Côté primaire :**

L'application du théorème d'Ampère sur ce circuit permettra d'écrire la relation entre le champ magnétique  $\mathbf{H}$  dans le circuit magnétique et le courant  $\mathbf{I}_1$ .

En appliquant le théorème d'Ampère sur le circuit, nous aurons:  
 $n_1 \cdot I_1 = H \cdot L$  où  $L$  : est la longueur moyenne du circuit magnétique.

d'où :

$$H = \frac{n_1}{L} I_1$$

- **Côté secondaire :**

Nous avons aux bornes du bobinage (2) :  $V_2 = -n_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = V_R + V_C$

$\Phi$  est le flux de l'induction magnétique  $\mathbf{B}$ . La tension aux bornes de la capacité  $C$  est :  $V_C = \frac{1}{C} \int i_2 dt$

Le choix de  $R$  et  $C$  est tel que l'impédance  $1/C\omega$  soit négligeable devant  $R$ .

Ceci nous permettra d'écrire  $V_2 \cong V_R = R \cdot i_2$

D'où :

$$V_C = \frac{1}{RC} \int V_2 dt = -\frac{n_2}{RC} \int \left(\frac{d\Phi}{dt}\right) dt = -\frac{n_2}{RC} \Phi$$

Or, on a :  $\Phi = B \cdot S$  où  $S$  est la section du circuit magnétique. Nous aurons finalement :

$$V_C = -\frac{n_2 S}{RC} B \text{ d'où : } B = -\frac{RC}{n_2 S} V_C$$

**Conclusion :**

Nous constatons que le courant  $\mathbf{I}_1$  et la tension  $V_C$  sont respectivement les images du champ magnétique  $\mathbf{H}$  et de l'induction magnétiques  $\mathbf{B}$ . La visualisation sur **CASSY Lab** de la caractéristique  $\mathbf{B}(\mathbf{H})$  revient donc à visualiser la caractéristique  $V_C(I_1)$ .

## IV. Etude pratique

### IV.1 Manipulation :

1. Réaliser le montage de la figure suivante :

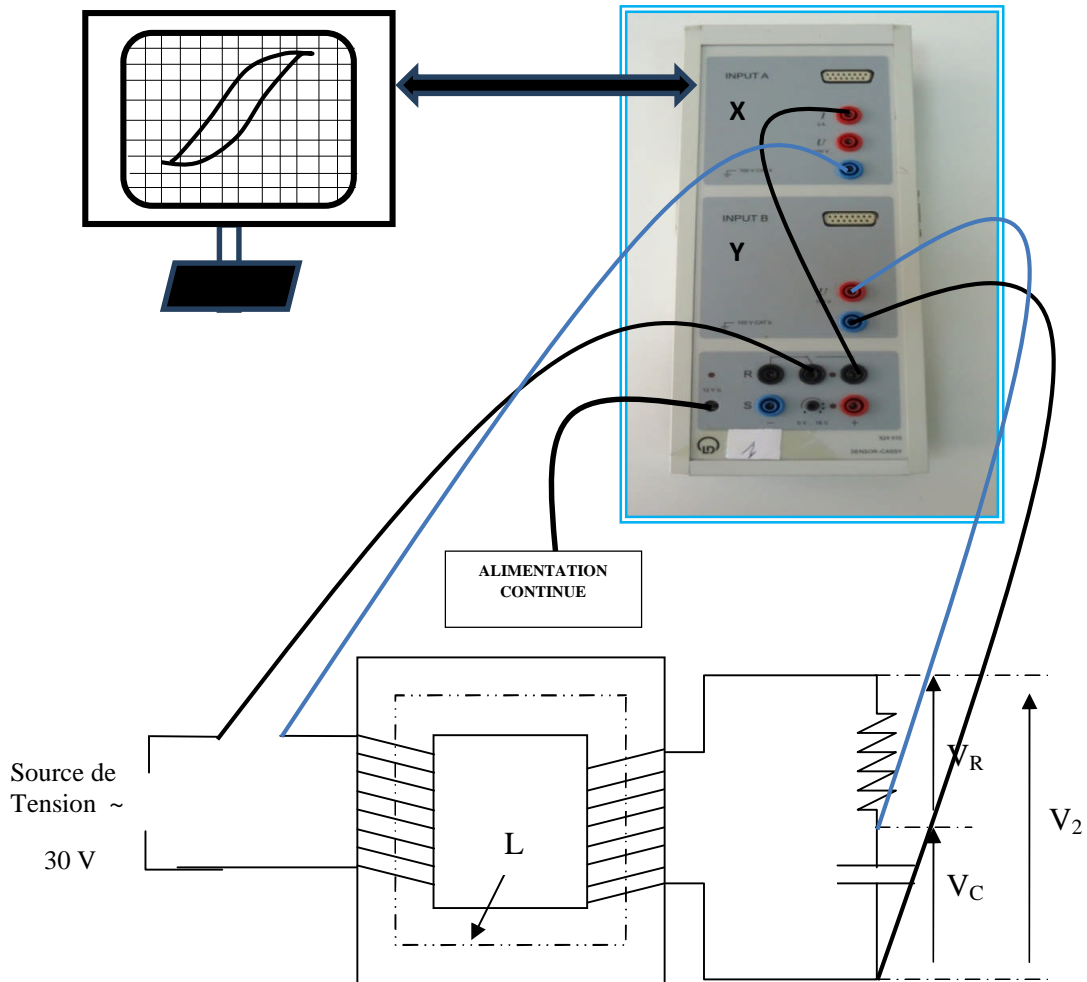


Figure 10

On donne :

$$R = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C = 16 \text{ }\mu\text{F}$$

$n_1 = 300$ , nombre de spires primaires

$n_2 = 140$ , nombre de spires secondaires

$S = 9 \text{ cm}^2$ , section du circuit magnétique

$L = 35,2 \text{ cm}$ , Longueur moyenne du circuit magnétique

### TP N° 3 : Le cycle d'hystérésis

- Appliquer sur l'entrée **X** de **CASSY Lab** courant  $I_1$ , et sur l'entrée **Y** la tension  $V_C$ .
- Visualiser la forme de la tension  $V_C$  aux bornes du condensateur **C**.
- Compléter le tableau suivant :

Tableau 1

|            |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|------------|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| t(ms)      | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| $V_C$ (mV) |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| B(T)       |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |

- Tracer les deux courbes  $V_C(t)$ ,  $B(t)$  sur le même papier millimétré.
- Visualiser la forme du courant des spires primaires.
- Compléter le tableau suivant :

Tableau 2

|            |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|------------|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| t(ms)      | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| $I_1$ (mA) |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| H(A/m)     |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |

- Tracer les deux courbes  $I_1(t)$ ,  $H(t)$  sur le même papier millimétré.
- Eliminer la base du temps sur **CASSY Lab** pour visualiser la caractéristique  $V_C(I_1)$ .
- A partir des deux tableaux **1** et **2**, tracer la courbe  $B(H)$  sur le papier millimétré.
- Donner une interprétation pour la courbe du cycle d'hystérésis
- Mesurer la surface du cycle d'hystérésis et déduire l'énergie dissipée, par période et par unité de volume du matériau ferromagnétique utilisé, pour ce niveau d'induction.
- Calculer les pertes par hystérésis  $P_h$  du circuit utilisé.
- donner une conclusion.