

**TP N° 3 : Le cycle d'hystérésis**

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Matière : TP ELT & ELE

Fond

Faculté De Technologie

Niveau : 2<sup>ème</sup> année licence

Département De Génie Electrique

Durée : 2 h

Option : AUT, ELM, ELT



**TP N°3**

**Le cycle d'hystérésis**

Nom et prénom	Groupe	Sous-groupe	Signature	Observation

Dirigé par l'enseignant : .....

Le : ..... / ..... / .....

Année universitaire 2019/2020

## I. Objectifs

1. Connaître la méthode expérimentale pour visualiser le cycle d'hystérésis.
2. Calcul des pertes par hystérésis.
3. Connaître la méthode de classification des matériaux ferromagnétiques (durs ou doux).

## 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 à utiliser 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.

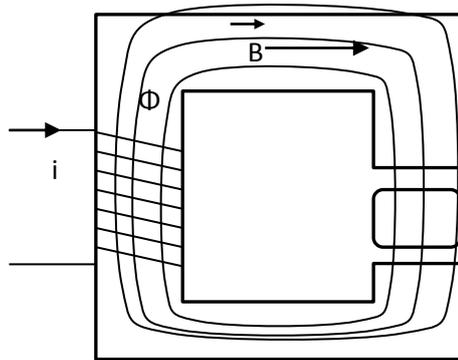


Figure 1

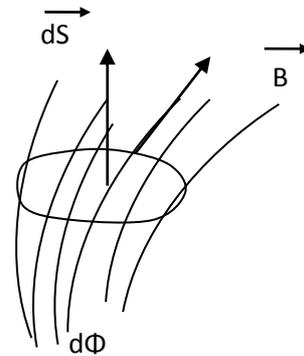


Figure 2

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  $\vec{H}$  circule dans un matériau ferromagnétique, il se crée, dans le matériau, une induction magnétique  $\vec{B}$  (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.

### II.3 Flux magnétique

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

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

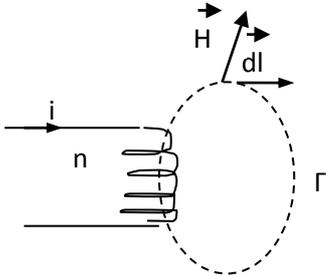


Figure 3

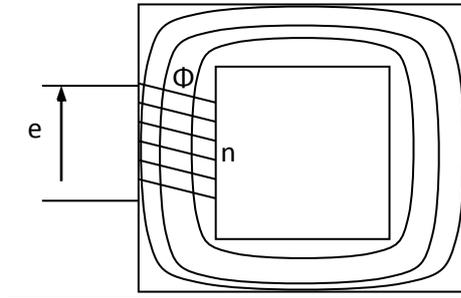


Figure 4

### 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 :

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot \vec{dl} = ni$$

$n$  : nombre de spires de la bobine.

### 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.

### 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)

### TP N° 3 : Le cycle d'hystérésis

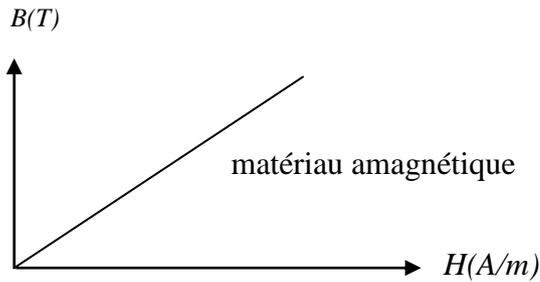


Figure 5

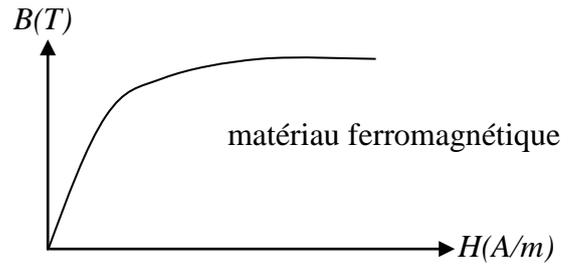


Figure 6

- 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)

#### **II.7 Phénomène d'hystérésis :**

Lorsque 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).

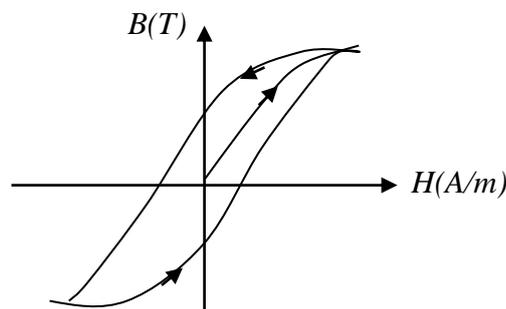


Figure 7

#### **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 matériaux 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 :

### TP N° 3 : Le cycle d'hystérésis

$$W = \int_0^T dW = \int_0^T H \cdot dB$$

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

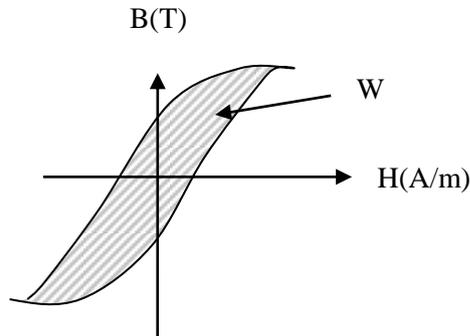


Figure 8

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 :

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

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

Soit le montage de la figure suivante :

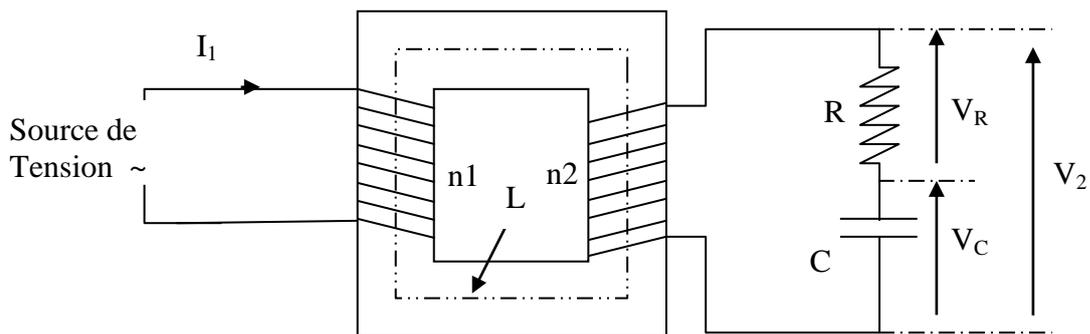


Figure 9

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.

### TP N° 3 : Le cycle d'hystérésis

- 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:

$$n_1 \cdot I_1 = H \cdot L \quad \text{où } L : \text{ est la longueur moyenne du circuit magnétique.}$$

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  $B$ . 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 :

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

#### **Conclusion :**

Nous constatons que le courant  $I_1$  et la tension  $V_c$  sont respectivement les images du champ magnétique  $H$  et de l'induction magnétique  $B$ . La visualisation sur CASSY Lab de la caractéristique  $B(H)$  revient donc à visualiser la caractéristique  $V_c(I_1)$ .

## IV. Etude pratique

### IV.1 But de la manipulation :

Le but de ce TP est la visualisation du cycle d'hystérésis  $B(H)$  d'un matériaux magnétique et l'évaluation des pertes par hystérésis de ce matériau pour un niveau d'induction donné.

### IV.2 Manipulation :

1. Réaliser le montage de la figure suivante :

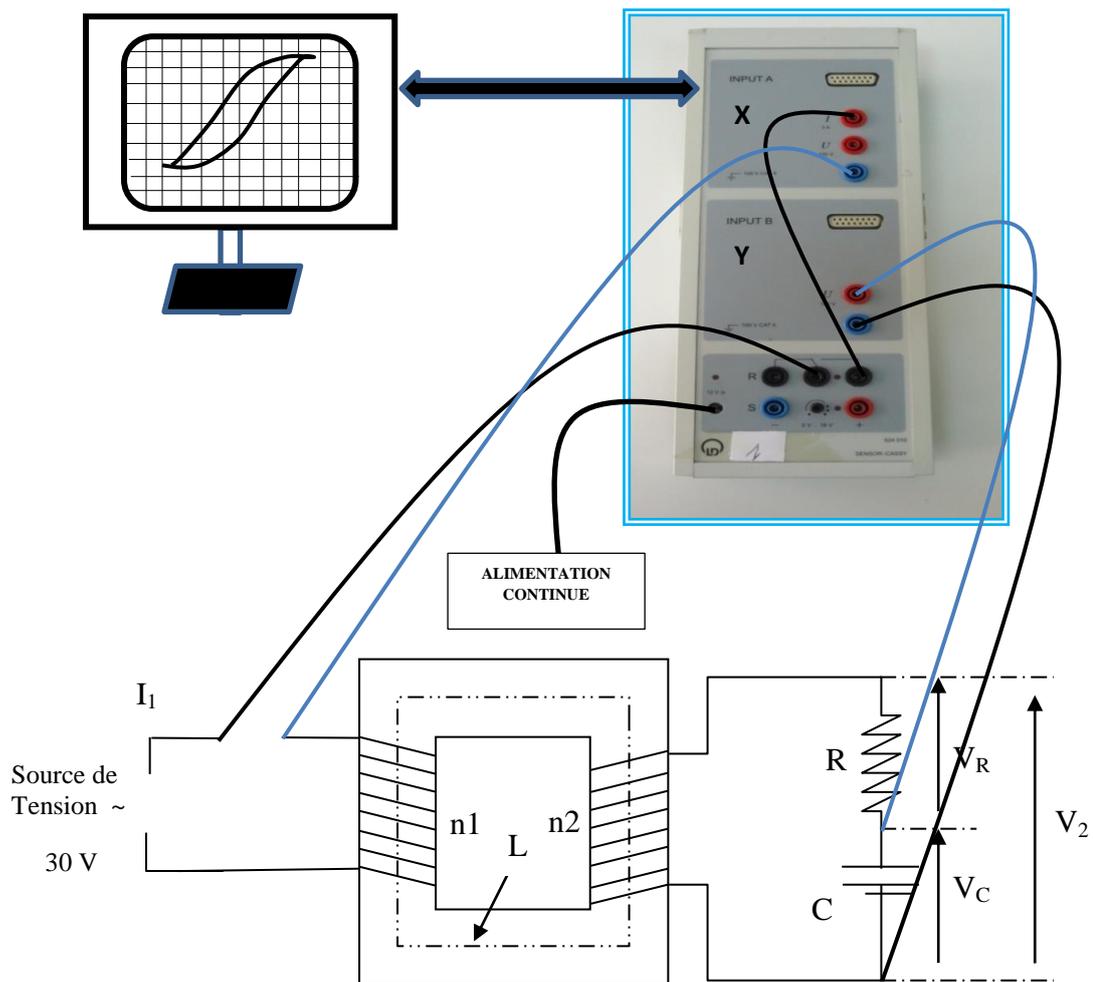


Figure 10

On donne :

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

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

$$n_1 = 300, \text{ nombre de spires primaires}$$

$$n_2 = 140, \text{ nombre de spires secondaires}$$

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

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

### TP N° 3 : Le cycle d'hystérésis

2. Relier le coté primaire du circuit magnétique avec la partie X du Cassy Lab (fig 10) pour la mesure du courant  $I_1$ .
3. Relier les deux bornes du condensateur C avec la partie Y du Cassy Lab (fig 10) pour la mesure de la tension  $V_c$ .
4. Alimenter le circuit avec une tension sinusoïdale de valeur efficace  $V = 30V$ .
5. Mètre, pour Cassy Lab la configuration suivante :
  - ✓ Calibre du courant : -3A à 3A, valeur instantanée.
  - ✓ Calibre de tension : -100 V à 100 V, valeur instantanée.
  - ✓ Pas d'échantillonnage :  $T_e = 10 \mu s$ .
  - ✓ Nombre des points :  $N = 2000$  pts.
  - ✓ Temps de mesure :  $T = N.T_e = 20$  ms.
6. Appuyer sur F9 pour visualiser la courbe  $V_c = f(I_1)$ .
7. A l'aide du Matlab ou Excel , copier les mesures :  $t(ms)$ ,  $I_1(mA)$ ,  $V_c(V)$  et compléter le tableau suivant :

<b>t(ms)</b>	<b><math>I_1(mA)</math>,</b>	<b>H(A/m)</b>	<b><math>V_c(V)</math></b>	<b>B(T)</b>

Tableau 2

8. A partir du tableau 1, tracer la courbe  $B(H)$  sur un papier millimétré.
9. Donner une interprétation pour cette courbe.
10. Mesurer la surface du cycle d'hystérésis et en déduire l'énergie dissipée, par période et par unité de volume du matériau ferromagnétique utilisé, pour ce niveau d'induction.
11. Calculer les pertes par hystérésis  $P_h$  du circuit utilisé.
12. Conclure.