



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE AMMAR THILLIJI – LAGHOUAT-

Faculté : Sciences Et Technologie

Projet De Fin D'étude

En Vue De L'obtention Du Diplôme Master De Génie Mécanique

Option : Sciences Des Matériaux

Thème :

**EFFET DE LA DEFORMATION PLASTIQUE D'UN ACIER
DOUX SUR LA VARIATION DU CYCLE D'HYSTERESIS**

Présenté par :

➤ **BOUCHERIT MOUHAMMED-ELHADI**

Soutenu publiquement devant le jury compose de :

Nom Et Prénom

Qualité

Mr ALLAOUI Omar

Président

Mr NOUREDDINE Mustapha

Examineur

Mr HADJADJ AbdeChafik

Examineur

Mr BENHORMA hadj Aïssa

Encadreur

Année universitaire :2023/2024

Remercîment

Nous remercions avant tout Dieu Tout-Puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a données tout au long de ces longues années et pour son aide dans la réalisation de ce mémoire.

*Ensuite, les travaux présentés dans cette thèse ont été réalisés au Laboratoire de Mécanique du Département de Mécanique et au Laboratoire de Physique de la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université Laghouat sous la direction du **PROFESSEUR BENHORMA HAJ AÏSSA**. à notre encadrant pour leur présence et la confiance qu'ils nous ont accordée. Nous tenons également à remercier nos encadrants pour l'indépendance qu'il nous a accordé et les précieux conseils qu'il nous a donnés qui nous ont permis de réaliser ce travail.*

*Nous remercions vivement **DR HADJADJ ABDEL SHAFIQ** pour la participation qu'il a dirigé à ces travaux, ainsi que pour sa présence*

*Nous remercions également **MME FATTOUM MUSTFAOUI** et nous remercions également **M. BARKAT RADOUANE**, qui a eu la gentillesse de m'aider et de nous aider au laboratoire de physique et de mécanique.*

*Nous exprimons toute notre gratitude au **Dr ALLAoui OMAR** Ammar pour avoir accepté de présider le comité d'arbitrage de cette thèse. Nous tenons également à remercier tous nos professeurs du Département de Mécanique pour leur soutien, leurs encouragements et leur patience au cours de ces années, tous ceux qui directement ou indirectement. vous a indirectement demandé de réaliser ce travail.*

DEDICACE

Et quelle expression du ciel, je dédie humblement cet ouvrage à ceux qui, quels que soient les termes qu'ils adoptent, je ne pourrai jamais exprimer mon amour sincère pour eux

. A ma chère mère

, peu importe ce que tu fais ou dis, je ne pourrai pas te remercier convenablement. Ta compassion me donne et ta gentillesse me restaure, comme si ta présence à mes côtés était toujours la source de ma force face aux obstacles.

Pour mon cher père,

tu as toujours été à mes côtés. côté, le soutenant et l'encourageant. Nous espérons que ce travail reflète ma gratitude et mon amour envers mes chers frères et sœurs pour leur soutien moral et leurs précieux conseils.

Liste des figures

figure 1: dislocations vis et coin	12
figure 2: dislocation mixte.....	13
Figure 3: le cycle d'hystérésis	13
Figure 4 : dispositif de laminage dans le laboratoire de mécanique.....	16
Figure 5 : pied à coulisse.....	16
Figure 6 : four de laboratoire de mécanique	19
Figure 7 : générateur de fréquence	19
Figure 8 : Dispositif Oscilloscope	20
Figure 9: refroidissement des échantillons dans le four.....	22
Figure 10: fixe la température a 800 c	22
Figure 11: processus de déformation plastique par laminage	23
Figure 12: forme de l'échantillon de l'acier doux	24
Figure 13: Mesurer des échantillons après laminage.....	24
Figure 14: bobine 2.....	25
Figure 15: bobine 1	25
Figure 16 : Les deux bobines ensemble	25
Figure 17: dispositif complet de traçage de la courbe de cycle hystérésis	26
Figure 18: Échantillon non déformé	27
Figure 19: échantillon déformé a 10 %	28
Figure 20: échantillon déformé a 20 %	28

Figure 21: échantillon déformé a 30 %	29
Figure 22: échantillon déformé a 40 %	29
Figure 23: échantillon déformé a 50 %	30
Figure 24: échantillon déformé a 60 %	30
Figure 25: les différentes surfaces des courbes de cycle de hystérésis.....	31
Figure 26: courbe de la variation de la surface de cycle d'hystérésis en fonction du taux de formation plastique.....	31

Liste des tableaux

Table 2 :Aspects Clés De La Ferrite Et De La Perlite..... 7

Table 3 : Comparaison des trois types de dislocations..... 12

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
I. Introduction.....	3
I.1. Définition Des Aciers Doux	3
I.1.1. Les Types Des Acier Doux	3
I.1.2. Propriétés De L'acier Doux	4
I.1.3. Microstructure de l'acier doux.....	5
I.2. Aciers Ferromagnétiques	7
I.2.1. Types d'aciers ferromagnétiques	7
I.2.2. Propriétés des aciers ferromagnétiques	9
I.3. Dislocation	10
I.3.1. Types de dislocations dans les matériaux cristallins	10
I.4. Cycle d'hystérésis magnétique : comprendre les bases	13
I.4.1. Explication du phénomène	14
I.4.2. Caractéristiques importantes	14
II. Introduction.....	15
II.1. Matériel Utilise.....	15
II.1.1. Dispositif de laminoir	15
II.1.2. Pied à coulisse digital (Calibre électronique)	16
II.1.3. Four de laboratoire mécanique :.....	18
II.1.4. Générateur De Fréquence :.....	19
II.1.5. Dispositif Oscilloscope	19
II.1.5.1. Avantages de l'oscilloscope numérique	21
II.2. Traitement thermique	22

II.3. Opération De Déformation Plastique	23
II.4. Analyse du cycle hystérésis :	24
II.4.1. Système coaxial à deux bobines :	25
III. résultat obtenu sur les échantillons déformés :	27
III.1. Discussion des résultats :	32
Conclusion.....	34

Introduction générale

INTRODUCTION

L'ingénierie des matériaux constitue la pierre angulaire des progrès dans de multiples domaines, notamment l'ingénierie électrique, chimique et mécanique. Cette discipline s'attache à l'exploration scientifique de la sélection et de la manipulation des matériaux afin d'optimiser leurs propriétés pour des résultats supérieurs.

Le magnétisme revêt une importance considérable dans l'ingénierie des matériaux, en particulier dans les industries électroniques, où les fabricants accordent une priorité à cette propriété. Les ingénieurs doivent sélectionner soigneusement des matériaux qui garantissent un flux optimal et une conduction magnétique fiable afin de répondre aux normes de l'industrie et aux exigences technologiques.

Les blocs magnétiques trouvent une application omniprésente dans presque tous les appareils électriques, qu'ils fonctionnent de manière dynamique, comme dans les moteurs électriques, ou statique, pour la conduction ou la génération de flux magnétique par excitation via un champ magnétique externe. Pour évaluer et comprendre de manière complète la qualité de la magnétisation, les ingénieurs s'appuient sur l'analyse des courbes du cycle d'hystérésis.

Cette étude représente une analyse des courbes du cycle d'hystérésis pour un ensemble des échantillons de fer doux, basée sur la variation des taux de déformation plastique sur les courbes du cycle d'hystérésis.

Ce travail se compose de trois chapitres :

Le premier chapitre présente les définitions du matériau utilisés et les dispositifs mis en œuvre au cours du processus.

Le deuxième chapitre présente les techniques expérimentales mises en œuvre dans les deux laboratoires (le laboratoire de mécanique et le laboratoire de physique ; de l'Université de Laghouat).

Introduction générale

Et en fin on finalise le travail avec un troisième chapitre dans lequel nous présentons les résultats, tout en analysant la relation entre la déformation plastique (introduction des contraintes) et la variation des cycles d'hystérésis

I. Introduction

Depuis l'aube de la civilisation, l'humanité s'est illustrée par son ingéniosité à exploiter les richesses de la Terre pour subvenir à ses besoins. Parmi ces trésors naturels, l'acier se distingue comme un alliage hors du commun, ayant joué un rôle prépondérant dans notre marche vers le progrès. [1]

I.1. Définition Des Aciers Doux

L'acier doux contient un pourcentage relativement faible de carbone, généralement entre 0,05 % et 0,25 %. Il peut également contenir de petites quantités d'autres éléments comme le manganèse, le silicium, le soufre et le phosphore. [1]

I.1.1. Les Types Des Acier Doux

- **Acier à bas carbone**

L'acier doux (acier à bas carbone) est classé en trois catégories principales en fonction de sa teneur en carbone : [2]

- **Acier à très bas carbone (SAE 1000-1020)**

Contient 0,05 à 0,20 % de carbone.

Se caractérise par une bonne formabilité et une grande ductilité.

Utilisé dans la fabrication de tôles, de barres et de fils.

- **Acier à bas carbone (SAE 1021-1030)**

Contient 0,20 à 0,30 % de carbone.

Offre une résistance plus élevée que l'acier à très bas carbone.

Utilisé dans la fabrication de boulons, de vis et de pièces mécaniques.

- **Acier à bas carbone moyen (SAE 1031-1050)**

Contient 0,30 à 0,50 % de carbone.

Présente une résistance et une dureté accrues par rapport à l'acier à bas carbone.

Utilisé dans la fabrication d'engrenages, d'arbres et de pièces soumises à des charges.

En plus de ces trois catégories, il existe d'autres sous-types d'acier doux

Acier à traitement thermique : Peut être traité thermiquement pour améliorer ses propriétés, telles que la résistance et la dureté.

Acier inoxydable : Contient une teneur élevée en chrome, ce qui le rend résistant à la corrosion.

Acier résistant à la chaleur : Supporte des températures élevées sans se déformer.

1.1.2. Propriétés De L'acier Doux

- **Résistance et Ductilité**

L'acier doux est connu pour son équilibre entre résistance et ductilité. Bien qu'il ne soit pas aussi résistant que les aciers à haute teneur en carbone ou les aciers alliés, il offre une bonne ductilité, lui permettant d'être facilement formé, soudé et usiné.

- **Soudabilité**

L'acier doux est hautement soudable, ce qui le rend adapté à diverses techniques de soudage telles que le soudage à l'arc, le soudage MIG et le soudage TIG. Il peut être assemblé facilement à d'autres métaux sans risque important de fragilité.

- **Usinabilité**

En raison de sa teneur en carbone relativement faible, l'acier doux est facile à usiner à l'aide de procédés d'usinage courants tels que le perçage, le tournage, le fraisage et le meulage. [2]

- **Polyvalence**

L'acier doux trouve des applications dans un large éventail d'industries et d'usages en raison de sa polyvalence. Il est couramment utilisé dans la construction, la fabrication automobile, l'ingénierie générale, les pipelines, etc.

I.1.3. Microstructure de l'acier doux

La microstructure de l'acier doux est principalement composée de deux constituants principaux :

La ferrite (α -Fe) et la perlite (α -Fe + Fe₃C).

- **Ferrite (α -Fe)**

C'est le constituant le plus doux et le plus ductile de l'acier doux. Il s'agit d'une phase de fer pur avec une structure cristalline cubique centrée (CC). La ferrite apparaît de couleur gris clair au microscope optique.

- **Principales propriétés de la ferrite**

Souple et malléable : Grâce à sa structure cristalline, la ferrite peut se déformer facilement sans se briser. Cela en fait un bon matériau pour les applications nécessitant une mise en forme facile.

- **Ferromagnétique**

La ferrite est la forme de fer la plus magnétique. Cela signifie qu'il peut être attiré par un aimant et conserver un certain magnétisme même en l'absence de champ magnétique. Les propriétés ferromagnétiques de la ferrite résultent de l'alignement des moments magnétiques de ses atomes de fer.

- **Perlite (α -Fe + Fe₃C)**

Il s'agit d'une structure lamellaire composée de couches alternées de ferrite et de cémentite (Fe₃C). La cémentite est une phase de carbure de fer dure et cassante. La perlite apparaît plus foncée que la ferrite en raison de la présence de cémentite.

L'espacement des lamelles de ferrite et de cémentite détermine les propriétés mécaniques globales de l'acier. [3]

Les proportions relatives de ferrite et de perlite dans la microstructure dépendent de la teneur en carbone de l'acier. L'acier doux a généralement une faible teneur en carbone (entre 0,05 % et 0,25 %), ce qui se traduit par une microstructure dominée par la ferrite. Cette microstructure confère à l'acier doux ses propriétés caractéristiques de bonne formabilité, soudabilité et usinabilité.

- **Principales propriétés de la perlite**

La perlite est une structure fibreuse (stratifiée) biphasée constituée de couches alternées de ferrite (environ 87,5 % en poids) et de cémentite (environ 12,5 % en poids) que l'on trouve dans certains aciers et fontes. Cette composition confère à la perlite un ensemble unique de propriétés :

- **Résistance et dureté moyennes**

La perlite offre un équilibre entre la douceur de la ferrite et la dureté de la cémentite. Elle est plus résistante et plus dure que la ferrite mais moins dure et cassante que la cémentite.

- **Bonne résistance aux frottements**

La perlite possède une résistance élevée au frottement, ce qui la rend adaptée à une utilisation dans des applications impliquant un contact permanent (telles que les roulements).

- **Manque d'élasticité**

Malgré sa résistance, la perlite est considérée comme un matériau inélastique. Il ne se déforme pas bien sous pression et peut se briser relativement facilement.

- **Fragilité à la rupture**

En raison des couches dures et cassantes de cémentite, la perlite peut être susceptible de se briser soudainement.

Caractéristique	Ferrite (α-Fe)	Perlite (α-Fe + Fe₃C)
Composition	Fer pur	Couches alternées de ferrite et cémentite (Fe ₃ C)
Structure cristalline	Cubique centré (CC)	Structure lamellaire
Aspect (microscope optique)	Gris clair	Plus foncé que la ferrite
Dureté	Doux	Dur et Cassant
Ductilité	Élevée	Faible

Table 1 :Aspects Clés De La Ferrite Et De La Perlite

I.2. Aciers Ferromagnétiques

Soumises à une induction magnétique, certaines substances se mettent à produire elles-mêmes, dans le volume qu'elles occupent et à l'extérieur, une induction magnétique. On dit qu'elles s'aimantent ou se polarisent magnétiquement. Il s'agit-là d'une propriété générale de la matière. Toutefois, cette propriété ne se manifeste très visiblement que dans certains matériaux appelés matériaux magnétiques. [4]

I.2.1. Types d'aciers ferromagnétiques

Les aciers ferromagnétiques sont des alliages de fer qui présentent des propriétés magnétiques. Cela signifie qu'ils peuvent être attirés par un aimant et conserver un champ magnétique résiduel après élimination du champ externe.

La ferromagnétique de l'acier est due à la présence de fer dans sa structure cristalline (la phase α). Les atomes de fer possèdent un moment magnétique intrinsèque, et dans les aciers ferromagnétiques, ces moments sont alignés les uns avec les autres, créant un champ magnétique global.

Les types d'aciers ferromagnétiques les plus courants sont

Aciers alliés

Un acier allié est un type d'acier qui contient plus d'un élément d'alliage, à part le carbone et le fer dans l'acier au carbone. De tels éléments d'alliage aident à améliorer certaines caractéristiques non présentes ou faibles dans les matériaux d'acier de base. Les exemples incluent la résistance, la résistance à l'usure, la ténacité et la dureté. [5]

- **Aciers inoxydables ferromagnétiques**

Les aciers inoxydables sont des aciers contenant au minimum 10,5 % de chrome et au maximum 1,2 % de carbone. On distingue les aciers inoxydables qui contiennent moins de 2,5 % de nickel de ceux qui contiennent au moins 2,5 % de nickel. [3]

Les aciers ferromagnétiques sont utilisés dans une large gamme d'applications, notamment

- **Électroaimants**

Les électroaimants sont des bobines de fil de cuivre entourant un noyau d'acier ferromagnétique. Lorsqu'un courant électrique traverse la bobine, il crée un champ magnétique qui attire l'armature en fer. Les électroaimants sont utilisés dans de nombreux appareils, tels que les moteurs électriques, les relais et les solénoïdes. Donc le champ magnétique total sera la somme vectorielle des champs extérieur appliqué par la bobine et celui de la somme vectorielle des différents grains du matériau.

$$\vec{b}_{\text{tot}} = \vec{b}_{\text{ext}} + \sum \vec{b}_i$$

→

b_{ext} : intensité du champ magnétique de la bobine (dépend de l'intensité du courant électrique appliqué).

→

b_i : intensité de champ magnétique de chaque grain.

- **Transformateurs**

Les transformateurs sont des dispositifs qui transfèrent l'énergie électrique d'un circuit à un autre. Ils utilisent un noyau d'acier ferromagnétique pour créer un champ magnétique variable qui induit une tension dans un enroulement secondaire.

- **Moteurs électriques**

Les moteurs électriques utilisent un champ magnétique rotatif pour créer un mouvement mécanique. Le champ magnétique rotatif est créé par des électroaimants ou des aimants permanents et il agit sur un rotor en fer doux pour le faire tourner.

- **Stockage de données magnétiques :**

Les aciers ferromagnétiques sont utilisés dans les supports de stockage de données magnétiques, tels que les disques durs et les bandes magnétiques. Les informations sont stockées sous forme de motifs magnétiques sur la surface de l'acier.

I.2.2. Propriétés des aciers ferromagnétiques

- Le moment dipolaire des atomes est permanent et existe dans des domaines.
- L'alignement des dipôles atomiques et des champs magnétiques externes va dans le même sens.
- Il existe une force significative du moment dipolaire magnétique.
- L'intensité de la magnétisation varie linéairement avec le champ magnétique. De plus, l'intensité de magnétisation est assez élevée et positive.
- La susceptibilité magnétique est relativement élevée et positive.
- La densité de flux magnétique est également élevée et positive. Les lignes de champ magnétique à l'intérieur des matériaux ferromagnétiques sont denses.

- La perméabilité relative est également relativement élevée. Elle varie linéairement avec le champ magnétique. Le champ magnétique à l'intérieur du matériau est nettement plus vital qu'à l'extérieur du matériau. Ils ont tendance à tirer de nombreuses lignes de force du matériau.
- Le champ attire de manière agressive les matériaux ferromagnétiques. Ils ont tendance à adhérer aux pôles où le champ est plus puissant dans un champ non uniforme.
- Parce que le champ est plus vital aux pôles, si la poudre ferromagnétique est placée dans un verre de montre entre deux pôles bien éloignés, la poudre s'accumule sur les côtés et le centre est abaissé.
- À haute température, une substance ferromagnétique perd ses caractéristiques ferromagnétiques. [6]

I.3. Dislocation

Dans le domaine de la mécanique, une dislocation est un défaut cristallin linéaire dans la structure atomique d'un solide. Ces défauts perturbent l'arrangement régulier des atomes et peuvent affecter les propriétés physiques du matériau, telles que sa résistance, sa ductilité et sa fragilité [7]

I.3.1. Types de dislocations dans les matériaux cristallins

Parmi les différents types de dislocations, on distingue trois catégories principales [8]

a) Dislocations vis

Les dislocations vis, comme leur nom l'indique, présentent un vecteur de Burgers parallèle à la ligne de dislocation. Elles se déplacent de manière similaire à un tire-bouchon qui s'enfonce dans un matériau.

Mouvement : Les dislocations vis se déplacent perpendiculairement à la ligne de dislocation, sous l'effet d'une contrainte de cisaillement.

Impact : Les dislocations vis contribuent à la déformation plastique des matériaux en permettant aux plans atomiques de glisser les uns sur les autres.

b) Dislocations coin

Les dislocations coin, quant à elles, ont un vecteur de Burgers perpendiculaire à la ligne de dislocation. Elles se propagent en ouvrant ou en fermant un plan atomique, comme un coin qui s'enfonce dans du bois.

Mouvement : Les dislocations coin se déplacent dans la direction de la ligne de dislocation, sous l'effet d'une contrainte de cisaillement.

Impact : Les dislocations coin contribuent également à la déformation plastique des matériaux, mais elles peuvent également créer des fissures et fragiliser le matériau.

c) Dislocations mixtes

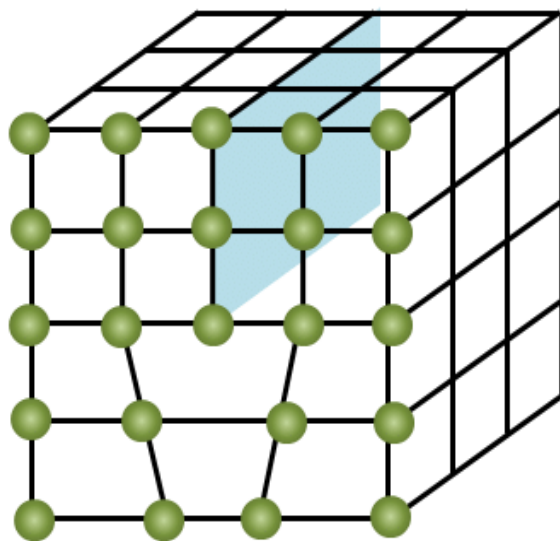
Les dislocations mixtes, comme leur nom l'indique, présentent un vecteur de Burgers qui a une composante à la fois parallèle et perpendiculaire à la ligne de dislocation. Elles combinent les caractéristiques des dislocations vis et coin.

Mouvement : Le mouvement des dislocations mixtes est une combinaison des mouvements des dislocations vis et coin.

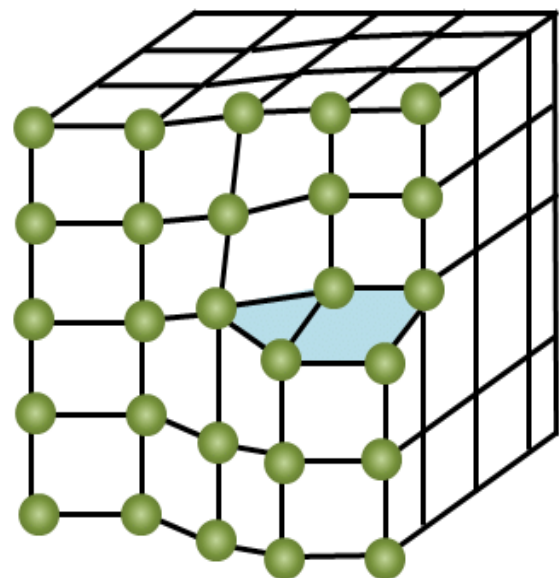
Impact : Les dislocations mixtes ont un impact similaire à celui des dislocations vis et coin, mais leur comportement peut être plus complexe en raison de leur nature mixte.

Caractéristique	Dislocation vis	Dislocation coin	Dislocation mixte
Vecteur de Burgers	Parallèle à la ligne de dislocation	Perpendiculaire à la ligne de dislocation	Combinaison des deux
Mouvement	Perpendiculaire à la ligne de dislocation	Dans la direction de la ligne de dislocation	Combinaison des deux
Impact	Déformation plastique	Déformation plastique et fragilisation	Combinaison des deux

Table 2 : Comparaison des trois types de dislocations



Dislocation coin



Dislocation vis

figure 1:dislocations vis et coin [9]

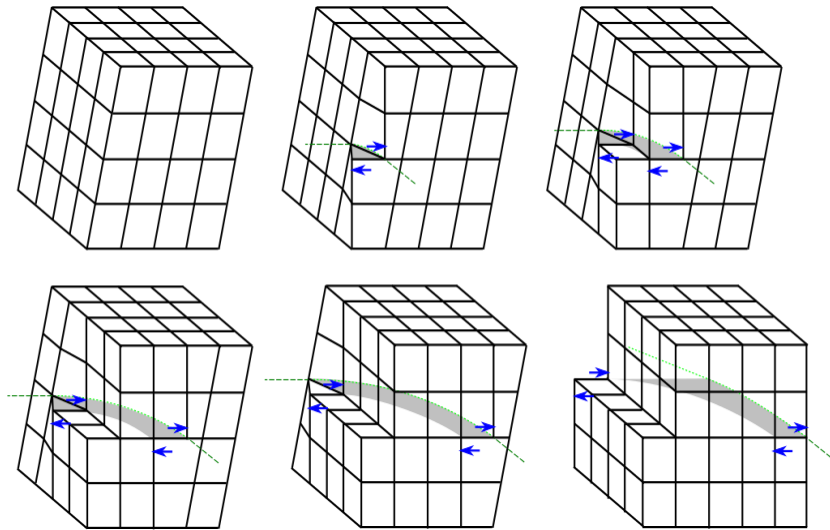


figure 2: dislocation mixte [10]

Le cycle d'hystérésis magnétique est un phénomène fondamental dans le domaine du magnétisme, car elle représente la relation entre l'intensité du champ magnétique (B) et la densité de flux magnétique (H) dans un matériau magnétique lorsqu'il est soumis à des processus de magnétisation et de démagnétisation. Ce phénomène revêt une grande importance dans de nombreuses applications, telles que les transformateurs électriques, les dispositifs de stockage magnétique et les supports d'enregistrement magnétique, les capteurs des vitesses de rotation, les capteurs de positions (pour synchronisation) etc... [11]

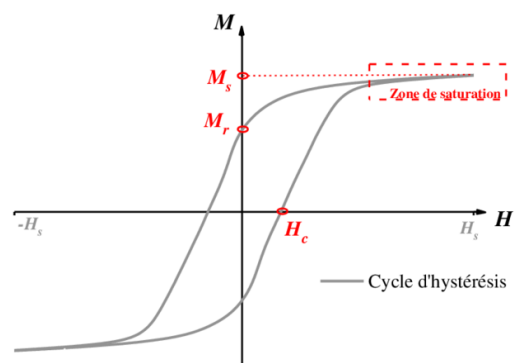


Figure 3: le cycle d'hystérésis

I.4.1. Explication du phénomène

Magnétisation : Lorsqu'un matériau magnétique est exposé à un champ magnétique externe (B), il devient magnétisé, ce qui signifie tous les vecteurs du champ magnétique des différents grains s'alignent suivant la direction du champ externe. L'augmentation de l'intensité du champ magnétique externe amène le matériau à devenir plus magnétisé jusqu'à ce qu'il atteigne le point de saturation magnétique, où tous les minuscules champs magnétiques à l'intérieur du matériau s'orientent dans la même direction du champ externe. [12]

Démagnétisation : Lorsque le champ magnétique externe est supprimé, l'orientation des vecteurs des champs magnétiques des différents grains ne reprend pas complètement leurs orientations initiales ce qui signifie que le matériau a un champ magnétique résiduel. Certains minuscules champs magnétiques à l'intérieur du matériau conservent leur orientation, produisant ce que l'on appelle un magnétisme résiduel.

Boucle d'hystérésis : La relation entre l'intensité du champ magnétique (B) et la densité de flux magnétique (H) pendant le cycle de magnétisation et de démagnétisation forme une boucle fermée connue sous le nom de boucle d'hystérésis. Cette boucle montre le chemin du changement dans la magnétisation de la matière en réponse aux changements du champ magnétique externe.

I.4.2. Caractéristiques importantes

Zone de boucle d'hystérésis : représente l'énergie dissipée sous forme de chaleur pendant le cycle de magnétisation et de démagnétisation. Plus la surface de l'anneau est grande, plus la quantité d'énergie dissipée est importante.

Coercivité : représente le champ magnétique nécessaire pour démagnétiser complètement le matériau, c'est-à-dire ramener la densité de flux magnétique (B) à zéro.

Magnétisme résiduel : quantité de magnétisme qu'un matériau maintient après la suppression du champ magnétique externe.

II. Introduction

L'opération de l'expérimentation se fait en deux étapes principales. La première étape est la préparation des échantillons, où on les a avec des dimensions spécifiques en utilisant un acier très doux (matériau ferromagnétique). Comme notre matériau est un fil de fer doux étiré (dont l'historique de mise en œuvre est inconnue) ; nous procédons à un traitement thermique de relaxation des contraintes internes, par la suite nous nettoyons la surface des échantillons pour éliminer toutes impuretés ou oxydes, pour ne pas affecter l'analyse. Par la suite nous procédons à la déformation plastique des échantillons par laminage, avec différents taux de déformation (10,20,30,40,50 et 60%). La deuxième étape consiste à faire des mesures sur la variation du cycle d'hystérésis.

II.1. Matériel Utilisé

II.1.1. Dispositif de laminoir

Un laminoir est une machine qui utilise des rouleaux pour réduire l'épaisseur d'une pièce métallique en la faisant passer entre eux.

Le principe de base d'un laminoir est que la pièce à usiner passe entre deux rouleaux tournant dans des sens opposés. Les rouleaux sont généralement en acier trempé ou en fonte et ont une surface légèrement convexe. La convexité des rouleaux permet de garantir que la pièce est uniformément comprimée lors de son passage dans le broyeur.

L'épaisseur de la pièce est réduite par l'espace entre les rouleaux. L'écart entre les rouleaux peut être ajusté en soulevant ou en abaissant l'un des rouleaux. La vitesse des rouleaux peut également être ajustée, ce qui affecte la vitesse à laquelle la pièce passe dans le broyeur.



Figure 4 : dispositif de laminage dans le laboratoire de mécanique

II.1.2. Pied à coulisse digital (Calibre électronique)

Le calibre numérique (calibre électronique) est une version électronique du pied à coulisse (calibre à vernier) traditionnel. Il offre plusieurs avantages par rapport à son homologue mécanique [13]



Figure 5 : pied à coulisse

- **Affichage numérique**

La mesure s'affiche sur un écran LCD, ce qui facilite la lecture et élimine les erreurs de parallaxe courantes avec les verniers.

- **Conversion d'unités**

La plupart des calibres numériques permettent de basculer facilement entre les millimètres et les pouces

- **Sortie de données**

Certains calibres numériques peuvent transmettre leurs mesures à des ordinateurs ou à d'autres appareils, ce qui permet d'enregistrer et d'analyser les données plus facilement.

- **Fonctions supplémentaires**

Certains modèles possèdent des fonctions supplémentaires telles que la mise à zéro automatique, la mémoire de stockage des mesures et la possibilité de mesurer des éléments spécifiques comme la profondeur d'un trou ou la distance entre deux points.

- **Fonctionnement d'un calibre numérique**

Un calibre numérique fonctionne de manière similaire à un pied à coulisse traditionnel. Les mâchoires mobiles et fixes glissent le long d'une règle graduée. Cependant, au lieu d'un vernier, un encodeur linéaire est utilisé pour convertir le mouvement physique des mâchoires en une valeur numérique. Cette valeur numérique est ensuite affichée sur l'écran LCD. [13]

Les parties d'un calibre numérique sont similaires à celles d'un pied à coulisse traditionnel :

Règle principale

Graduée en millimètres ou en pouces.

- **Mâchoires mobiles et fixes :**

Servant à serrer l'objet à mesurer.

- **Curseur :**

Glissant le long de la règle principale et actionnant les mâchoires mobiles.

- **Écran LCD :**

Affichant la mesure numérique.

- **Boutons de commande :**

Permettant la mise à zéro, la conversion d'unités et l'activation d'autres fonctions.

- **Précision des calibres numériques :**

Les calibres numériques sont généralement aussi précis, voire plus précis, que les pieds à coulisse traditionnels. La précision typique d'un calibre numérique se situe entre 0,01 mm et 0,001 pouce.

II.1.3. Four de laboratoire mécanique :

Un four de laboratoire mécanique est un appareil utilisé pour chauffer des matériaux à des températures précises dans un environnement contrôlé.

Les fours de laboratoire mécaniques fonctionnent en utilisant une source de chaleur pour chauffer l'air à l'intérieur de la chambre du four. L'air chaud est ensuite circulé par un ventilateur, ce qui permet de répartir uniformément la chaleur dans la chambre. La température du four est contrôlée par un thermostat



Figure 6 : Four De Laboratoire De Mécanique

II.1.4. Générateur De Fréquence :

Cet appareil contient deux parties, la première partie émet des fréquences ou du courant électrique, et la seconde partie traduit ces fréquences et les traduit vers un oscilloscope

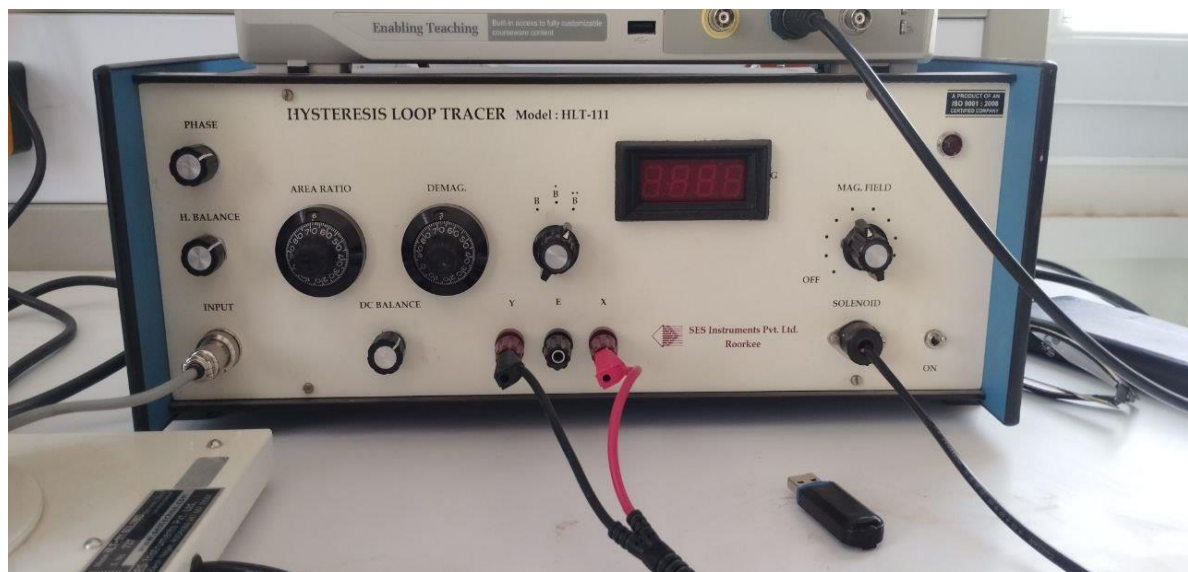


Figure 7 : Générateur De Fréquence De Laboratoire De Physique

II.1.5. Dispositif Oscilloscope

Un oscilloscope est un instrument électronique utilisé pour visualiser et analyser des signaux électriques variant dans le temps.

dix fois. Si une tension de 5 V est présente à l'extrémité de la sonde lorsque le deuxième type fonctionne, la tension entre dans l'oscilloscope sous la forme de 0,5 V. Ceci doit être pris en compte si la taille du signe doit être déterminée. Toutes les sondes modernes utilisent des connecteurs (fiches) de type BNC. La partie mobile à l'extérieur de ces bouchons est tournée dans le sens des aiguilles d'une montre et verrouillée après avoir été placée dans leurs fentes respectives. Ceci doit être pris en compte lors de la détermination de la taille du panneau. [14]

Mesure de tension

L'axe vertical permet de mesurer l'amplitude du signal sur l'écran. Sur l'écran, des carrés sont utilisés pour déterminer l'amplitude dans un premier temps. La valeur réelle de la tension est ensuite calculée en multipliant la fréquence d'images par la valeur indiquée par le signal sur le commutateur atténuateur d'entrée VOLTS / DIV. Sur l'axe horizontal, les mesures de période sont prises. En comptant les carrés, on peut déterminer la durée d'une période de la forme d'onde dans la direction de l'axe X.

Dans les oscilloscopes numériques, la période est mesurée plutôt que la fréquence. Sur l'axe X (horizontal), des mesures de période sont effectuées. En comptant les carrés, on peut déterminer la durée d'une période de la forme d'onde dans la direction de l'axe X. En multipliant la quantité de frames, on peut déterminer la valeur du bouton time/div. Le coefficient d'atténuation est doublé et pris en compte cependant en cas de détérioration de la sonde.

II.1.5.1. Avantages de l'oscilloscope numérique

La possibilité de stocker des données numériques pour une visualisation rapide, de les télécharger sur un ordinateur, d'en faire des copies papier ou de les stocker sur des disquettes et de mesurer instantanément sur des données numériques sont quelques-uns des avantages de l'oscilloscope numérique par rapport à l'oscilloscope analogique. Les oscilloscopes numériques peuvent afficher les formes d'onde immédiatement après un événement déclencheur, tandis qu'un oscilloscope analogique nécessite un déclenchement avant de pouvoir commencer la visualisation. Les meilleures caractéristiques des oscilloscopes numériques sont leur mémoire de stockage élevée et la précision du signal en temps réel. Disposant de techniques DSP de pointe, ils sont adaptés à l'étude des transitoires haute fréquence. [14]

II.2. Traitement thermique

Tout d'abord, nous traitons thermiquement nos échantillons en les plaçant dans un bol en poterie, rempli de poudre de plâtre (opération consiste à éviter l'oxydation des éprouvettes lors du chauffage), puis on les plaçant dans un four à une température de 800 degrés pendant une heure. Le refroidissement des échantillons se fait à l'intérieur du four pour éviter tout trompe à l'air.

Le procédé de traitement thermique a été réalisé dans le four du Laboratoire de Mécanique de l'Université de Laghouat.



Figure 10: fixe la température a 800 c



Figure 9: refroidissement des échantillons dans le four

II.3. Opération De Déformation Plastique

Pour réaliser le processus de déformation dans les paramètres spécifiés, nous utilisons la technique de déformation plastique par le processus de laminage. Cette méthode se caractérise par le fait que la vitesse de déformation soit constant le maximum, car elle dépend de la vitesse de rotation des rouleaux et de leur pression sur l'échantillon métallique.

Le laminage est une méthode de déformation qui applique une pression sur un échantillon de métal, modifiant sa forme et son épaisseur. La variation d'épaisseur des échantillons est mesurée après le processus de laminage pour évaluer l'ampleur de la déformation survenue.

Le matériau se présente initialement sous la forme d'un fil de fer très doux de diamètre 1,10 millimètres, et il est coupé à l'aide d'une pince sectorielle en morceaux d'une longueur de 4 centimètres (exigences de l'appareil d'analyse d'hystérésis).

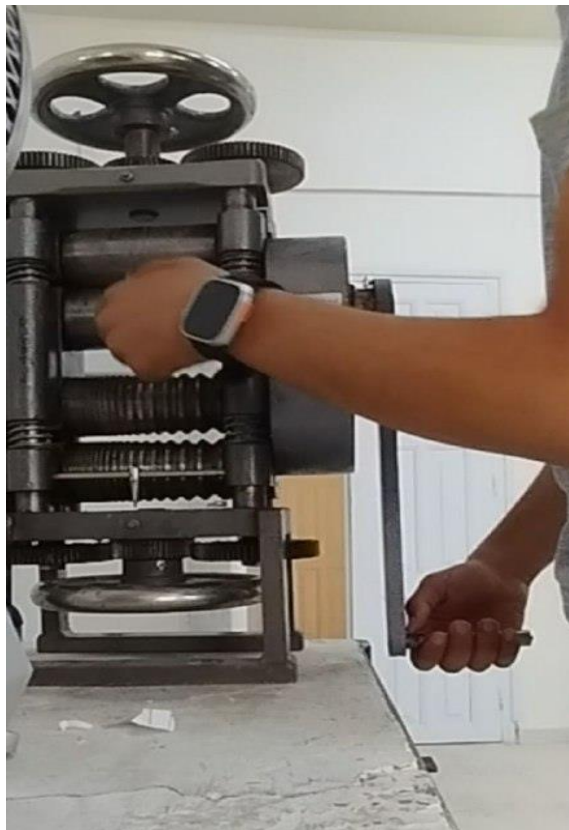


Figure 11: processus de déformation plastique par laminage

Après avoir effectué le processus de traitement thermique et le refroidissement, notre expérience comprend un lot de six échantillons déformés à différents taux de déformation, (10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %), et l'un des échantillons sans déformation plastique a été trempé dans l'eau au moment de sa sortie du four. Puis on procède à la déformation par torsion par (le technicien du laboratoire) tout en maintenant la vitesse d'enroulement pour obtenir de bons résultats, puis avant de les placer dans le dispositif à cycle de décélération. Vérifier les mesures à l'aide d'un pied à coulisse électronique, puis nous plaçons ces échantillons dans

l'appareil d'analyse du cycle de décélération.



Figure 12: forme de l'échantillon de l'acier doux



Figure 13: Mesurer des échantillons après laminage

II.4. Analyse du cycle hystérésis :

Exigences et dispositifs

L'analyse du cycle hystérétique nécessite deux bobines de base :

II.4.1. Système coaxial à deux bobines :

Ce système est constitué de deux bobines superposées sur un même axe.

Un courant alternatif sinusoïdal traverse la première bobine, produisant un champ magnétique constant dans le premier tube.

Le champ magnétique crée un courant induit dans la bobine interne (dans laquelle l'échantillon est placé), qui mesure à son tour le changement magnétique et le renvoie à l'appareil pour mesurer le cycle d'hystérésis.

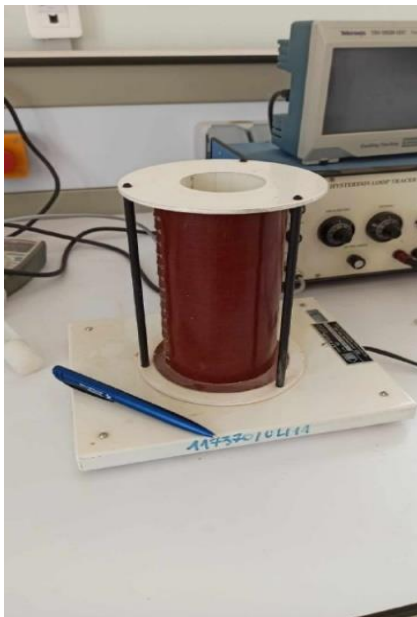


Figure 15: bobine 1

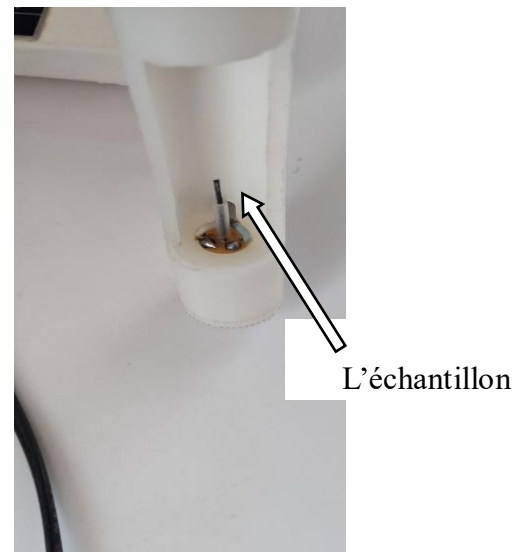


Figure 14: bobine 2



Figure 16 : Les deux bobines ensemble

Équation de calcul du courant induit :

L'équation de calcul du courant induit dans la deuxième bobine est donnée comme suit :

$$di = \frac{d\Phi}{dt}$$

I : courant induit

Φ : flux magnétique (Weber)

T : temps (secondes)

Le dispositif d'analyse est doté par un oscilloscope numérique qui trace le signal de courant induit qui est directement proportionnel à la valeur de champ magnétique. La caractéristique de ce type d'oscilloscope numérique est l'affichage sur écran à cristaux liquide, dont les données sont directement enregistrées numériquement.

Qui par la suite permet de faire des mesures de surface de la courbe de cycle hystérésis de chaque éprouvette, d'une manière plus ou moins précis.

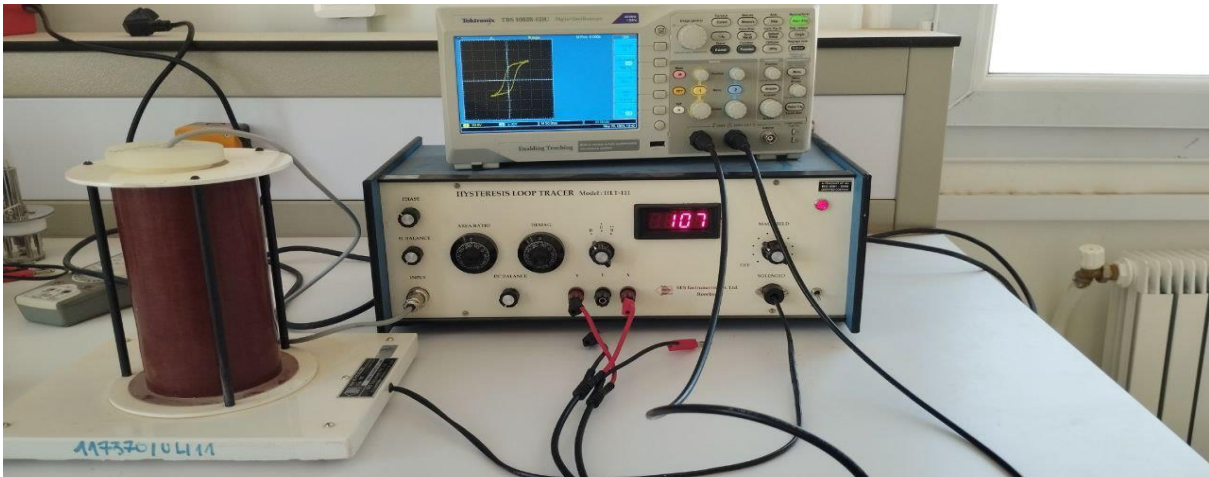


Figure 17: dispositif complet de traçage de la courbe de cycle hystérésis

III. résultat obtenu sur les échantillons déformés :

Après avoir mesuré les résultats sur un oscilloscope et les avoir analysés, les formes du cycle d'hystérésis sont apparues pour sept échantillons que nous avons chacun traités thermiquement, dont six étaient déformés et un non déformé.

En regardant le graphique, nous voyons que le cycle de ralentissement est apparu sous sa forme idéale, puis nous résumerons les valeurs de hauteur et de largeur qui apparaissent dans chaque courbe.

Le premier échantillon est celui qui n'a pas été déformé

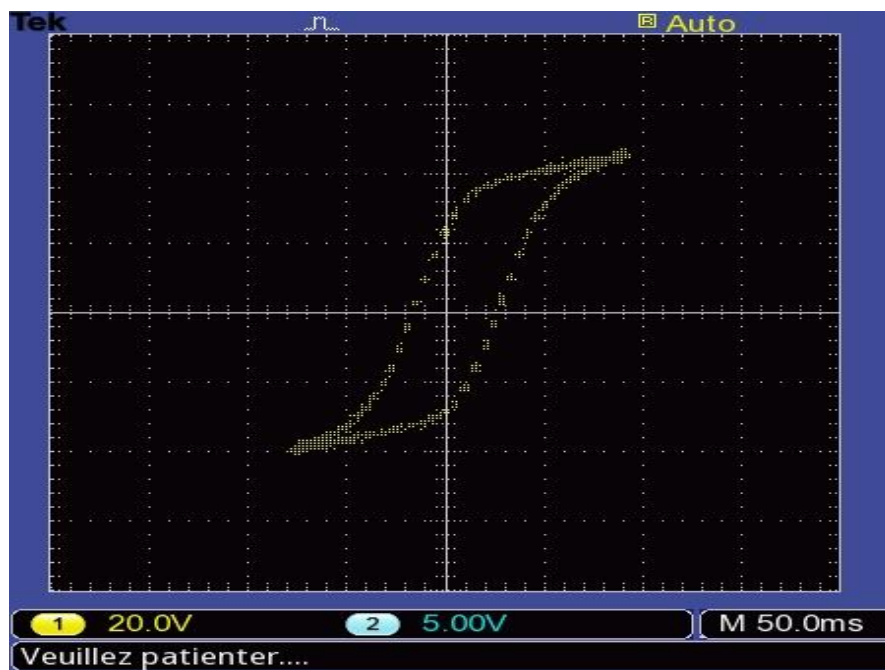


Figure 18: Échantillon non déformé

Passons maintenant aux échantillons qu'il a déformés et nous commençons avec 10% de déformation.

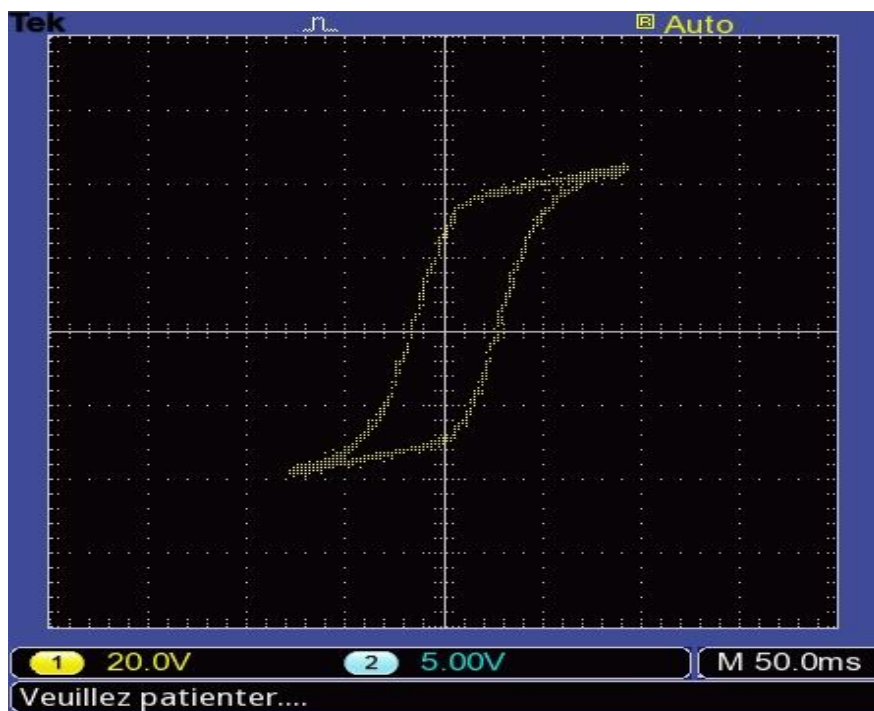


Figure 19: échantillon déformé a 10 %

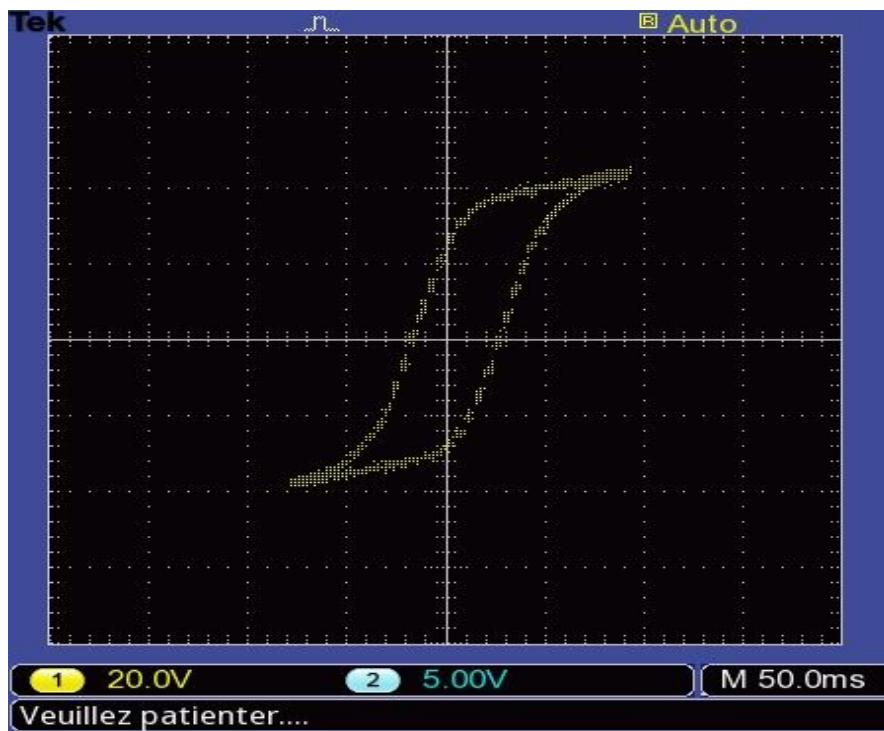


Figure 20: échantillon déformé a 20 %

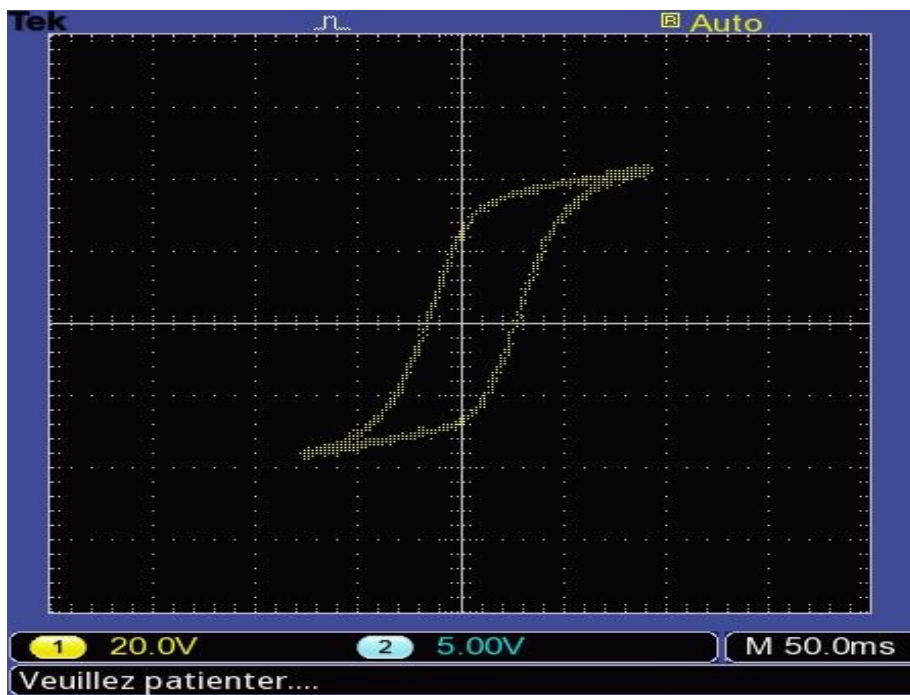


Figure 21: échantillon déformé a 30 %

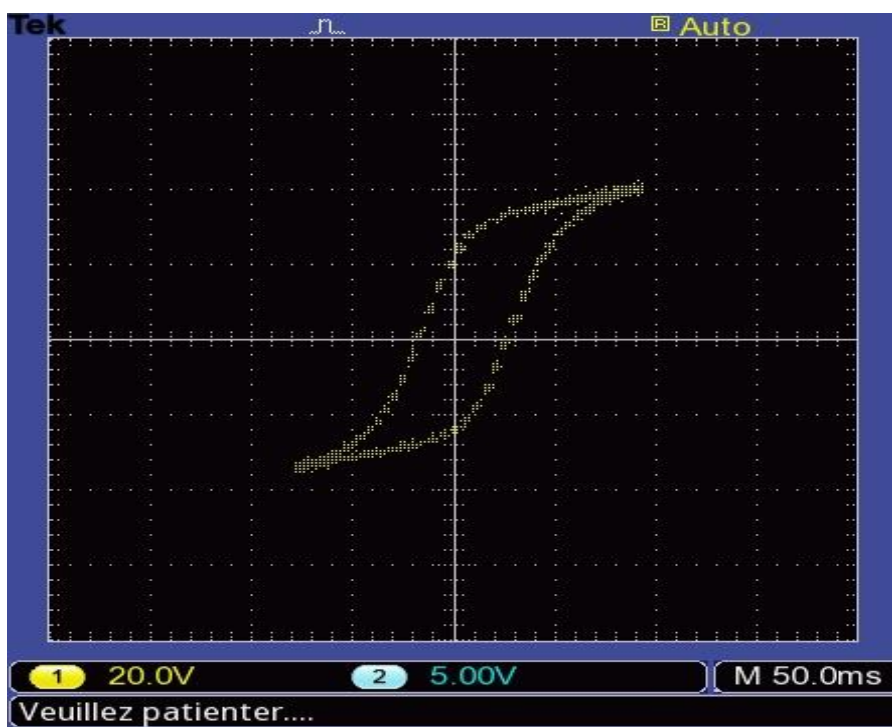


Figure 22:échantillon déformé a 40 %

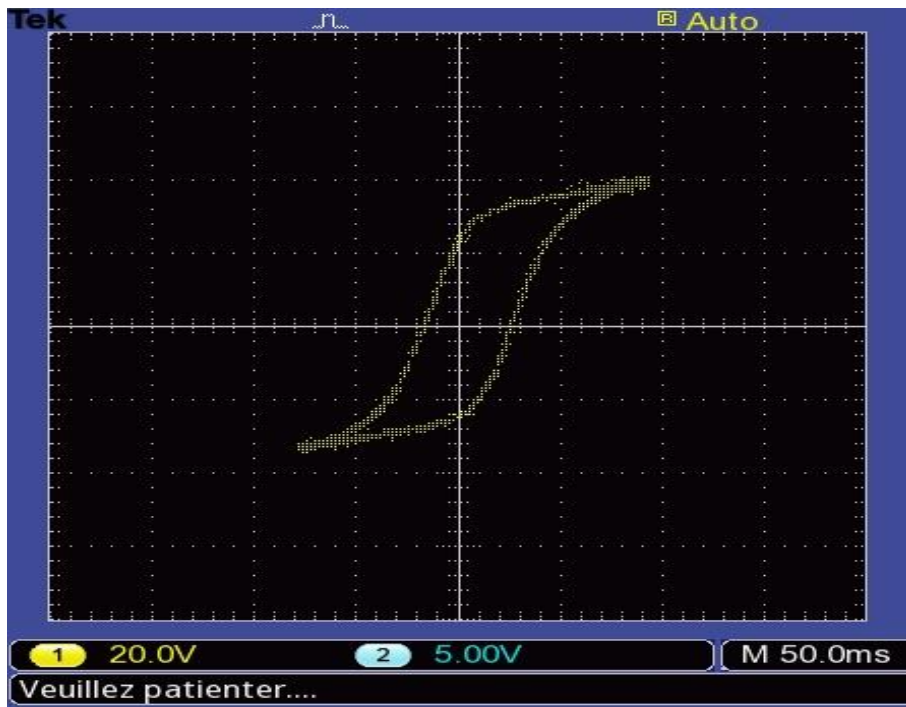


Figure 23:échantillon déformé a 50 %

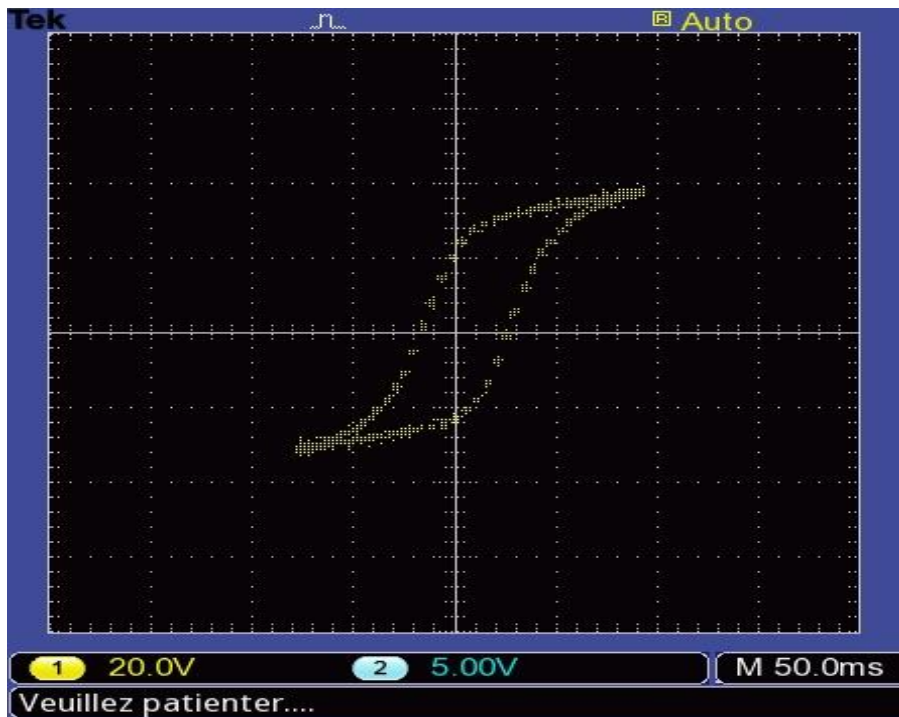


Figure 24:échantillon déformé a 60 %

Taux de déformation	Surface minimale	Surface maximale
Trompe	12.35 cm ²	16.15 cm ²
10 %	12 cm ²	15.9 cm ²
20 %	10.02 cm ²	13.89 cm ²
30 %	9.28 cm ²	13.72 cm ²
40 %	8.71 cm ²	12.52 cm ²
50 %	8.34 cm ²	12.49 cm ²
60 %	8.05 cm ²	11.97 cm ²

Figure 25: les différentes surfaces des courbes de cycle de hystérésis

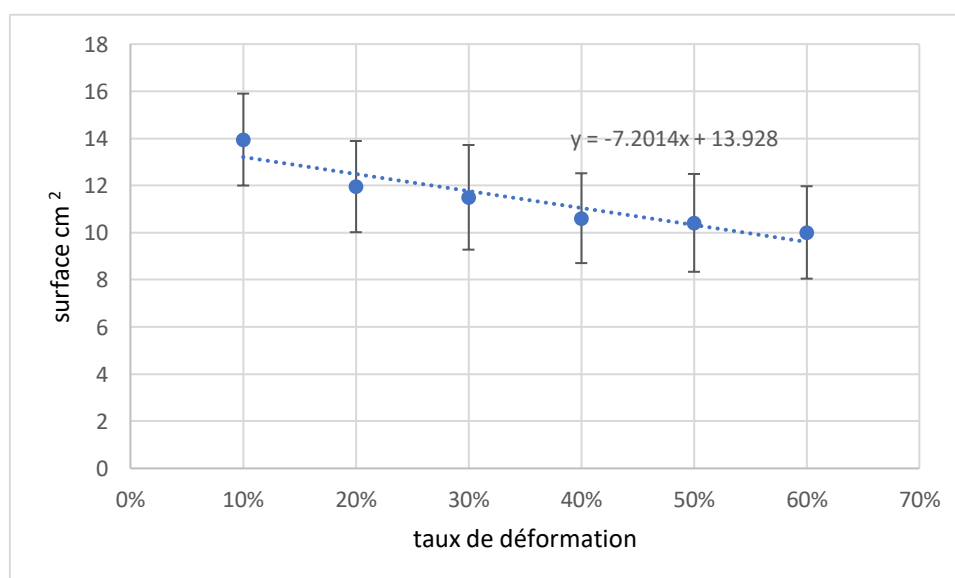


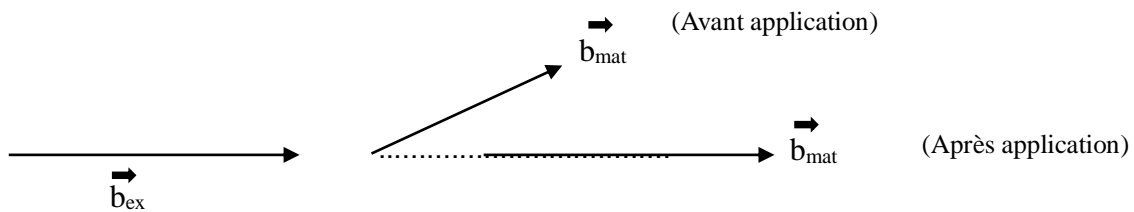
Figure 26: courbe de la variation de la surface de cycle d'hystérésis en fonction du taux de formation plastique

III.1. Discussion des résultats :

La réduction de la surface du cycle d'hystérésis signifie la présence d'un champ magnétique et résiduel plus ou moins fort par rapport au champ initial du matériaux.

Une fort surface de la boucle d'hystérésis signifie une perte par magnétisation ce qui se traduit par une perte énergétique dans les appareils utilisant le magnétisme ce qui signifie une perte sous forme de dégagement de chaleur.

La déformation plastique réduit la surface de la boucle signifie réduction de vecteur \vec{b}_i des champs magnétiques qui s'oppose au champ magnétique externe disant que même l'orientation des \vec{b}_i de même l'orientation s'aligne par faite ment avec le champ magnétique externe.



D'après les résultats obtenus sur la variation des surfaces des boucles d'hystérésis en fonction des taux de déformation appliquée sur le matériau, on remarque qu'il y a une nette évolution sur la réduction de la surface des boucles comme le montre l'ensemble des figures (**Figure 19:** échantillon déformé a 10 % **Figure 20:** échantillon déformé a 20 % **Figure 21:** échantillon déformé a 30 % **Figure 22:**échantillon déformé a 40 % **Figure 23:**échantillon déformé a 50 % **Figure 24:**échantillon déformé a 60 %).

Les déformations plastique (10%,20%,30%,40%,50%,60%) introduisent des contraintes internes dans le matériau ce qui signifie l'introduction (création) des défauts linéaires sous formes d'empilement de dislocations dans tous les grains. La déformation plastique à froid incrimine une certaine légère réorientation de grain (imposition d'une texture des grains). Cette nouvelle texture augmente le champ magnétique du matériau.

$$\vec{b}_{\text{grain}} = \sum_{i=1}^n \vec{b}_{\text{mat}} = \sum_{i=1}^n \vec{b}_{\text{grain}}$$

Donc
$$\vec{b}_{\text{mat}} = \sum_{i=1}^n \vec{b}_i$$

La déformation plastique introduit une variation énergétique (loi de Hooke) ce qui par la suite génère une variation de l'entropie ΔS qui par la suite engendre une variation de l'enthalpie ΔH qui exige un équilibre thermodynamique dans le matériau

$$\Delta G = \Delta H + \Delta S + \sum Q_i$$

Pour que le system (matériau magnétique) Guard son équilibre thermodynamique

$$\frac{\partial \Delta G}{\partial T} = 0$$

Il faut que l'énergie magnétique compense la perte d'énergie calorifique par variation d'entropie et d'enthalpie.

ΔG = enthalpie libre (loi GUIBS)

ΔH = enthalpie

ΔS = entropie

$\sum Q_i$ = Energie inter faciale et énergie de default

CONCLUSION

Conclusion

Dans les domaines technologiques, en particulier dans l'industrie électromécanique et électrique, électronique, ainsi que dans d'autres applications technologiques le magnétisme occupe une place importante dans ces applications. La haute qualité magnétique de ces matériaux est cruciale. Dans ce contexte, notre expérience est une contribution préliminaire visant à analyser l'effet de la déformation plastique sur la variation de la surface courbe du cycle d'hystérésis, qui est un bon indicateur de la qualité magnétique des matériaux. Dans cette simple étude on a pu montrer que la déformation plastique des matériaux ferromagnétiques augmente la caractéristique magnétique et cela par le suivi de la variation de la surface de la boucle de cycle d'hystérésis en fonction du taux de déformation plastique. La présence d'un taux de contraintes internes élevé associé à une texture granulométrique par effet de déformation montre le gain en matière de magnétisme (réduction de la surface de la boucle d'hystérésis du matériau).

En perspective nous souhaitons un approfondissement et d'exploration d'autres techniques d'analyse pour mieux comprendre la relation entre les phénomènes engendrés par la déformation plastique et les propriétés magnétiques des matériaux. Cela exige l'analyse microscopique telle que DRX, MEB, MET, diffraction LAUE etc...

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] *Guelloza Rofida Et Lamri Rihab*, « contribution à l'étude de l'effet de la déformation plastique et la relaxation sur le cycle d'hystérésis des ferromagnétique », laghouat, 2020.

[2] *HAMAIDI, L. N., & BOUTIFOUR*, "Etude de la maintenance d'une structure métallique contre l'usure par corrosion" (Doctoral dissertation, Université Ibn Khaldoun). (2015).

[3] *Mokrani Kenza*. " Microstructure et caractérisation d'un acier BS2", MÉMOIRE DE MASTER, Université Mohamed Khider de Biskra, 2019.

[4] *Philippe Robert*. "Matériaux de l'électrotechnique", Traité d'électricité, Presse Polytechniques Romandes, Troisième édition, 1989.

[5] <https://www.rapiddirect.com/fr/blog/alloy-steel-vs-stainless-steel-exploring-the-differences/>
25/06/2024.

[6] <https://unacademy.com/content/jee/study-material/physics/properties-of-ferromagnetic-materials/>
25/06/2024.

[7] Po, *Giacomo, et al.* "A phenomenological dislocation mobility law for bcc metals." Acta Materialia 119 (2016): 123-135.

[8] *D-Hull And D.J Bacon*, "introduction to dislocation", Butterworth Heinemann, oxford, 2001.

[9] *Arbenz, Laure*. Characterization of the electromagnetic properties of soft magnetic materials: application to a claw pole rotor. (2016).

[10] https://fr.m.wikiversity.org/wiki/Fichier:Dislocation_mixte_et_deformation_3d.svg
25/06/2024.

[11] *Lefkaier Ibn Khaldoun*, propriété magnétique des matériaux, aspect macroscopique, cours de 1ère année de post-graduation, UAT-laghouat, 2005

[12] *KRISHNAN, Kannan M.* Fondamentaux et applications des matériaux magnétiques. Presses universitaires d'Oxford, 2016.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[13] https://mitutoyo.fr/fr_fr/pied-coulisse 25/06/2024.

[14] <https://www.lisungroup.com/news/technology-news/what-you-need-to-know-about-digital-oscilloscopes.html> 25/06/2024.