

Pertes Magnétiques du Cadre a Champ Tournant dans les Tôles GO et GNO en Régime Circulaire

(*) A.BENDJERAD, (**) H.HOUASSINE, (*) K.CHAIBAINOU, (*) O.BOUAKAZ, (***) A.BELDJAZIA
 (*) département LMD - ST université de Batna

(**) LES UER Electrotechnique EMP BP 17, Bordj El Bahri Alger

(***) dép. EBV Faculté science technologie et de la vie université Ferhat abbessse, Sétif
 bendjerad@yahoo.fr

Résumé

Dans ce présent article, nous présentons une étude la caractérisation des matériaux magnétiques doux utilisés en construction de machines électriques en régime circulaire (bidimensionnel), nous utilisons pour cela un dispositif de mesure existant dans notre laboratoire qui est le cadre à champ tournant.

Mot clés: cadre à champ tournant, cycle d'hystérésis, induction circulaire, cycle polaire.

1. INTRODUCTION

Le phénomène d'hystérésis, qui est à l'origine des pertes dans les matériaux magnétiques, a fait le souci des électrotechniciens.

Dans ce travail, nous allons étudier le comportement des tôles magnétiques bidimensionnel en régime circulaire par le cadre a champ tournant réalisé au niveau de notre laboratoire.

Les tests sont effectués sur des tôles FeSi 3% à grain orientés et non orientés suivant la direction bidimensionnel (laminage et travers déphase de 90^0).

II. DESCRIPTION DU CADRE A CHAMP TOURNANT

Au niveau du laboratoire, le cadre à champ tournant dont nous disposons a les dimensions et la configuration suivantes : [1], [4]

- Deux grandes culasses de longueur moyenne de 550 mm et de volume de $550 \times 100 \times 10\text{mm}^3$
- Deux petites culasses de longueur moyenne de 450 mm et de volume de $450 \times 100 \times 10\text{mm}^3$
- Une plate-forme de $400 \times 400 \text{mm}^2$ pour maintenir le cadre
- Quatre pièces rapportées d'une surface de $120 \times 100 \text{mm}^2$

L'échantillon test est une tôle de forme carrée de $100 \times 100 \text{mm}^2$, disposé au milieu de deux circuits magnétiques perpendiculaires formés de culasses et de pièces rapportées qui assurent la fermeture du flux. Ces deux culasses doivent être identiques et symétriques afin de maintenir une

induction homogène dans toute l'épaisseur de l'échantillon et des pièces rapportées.

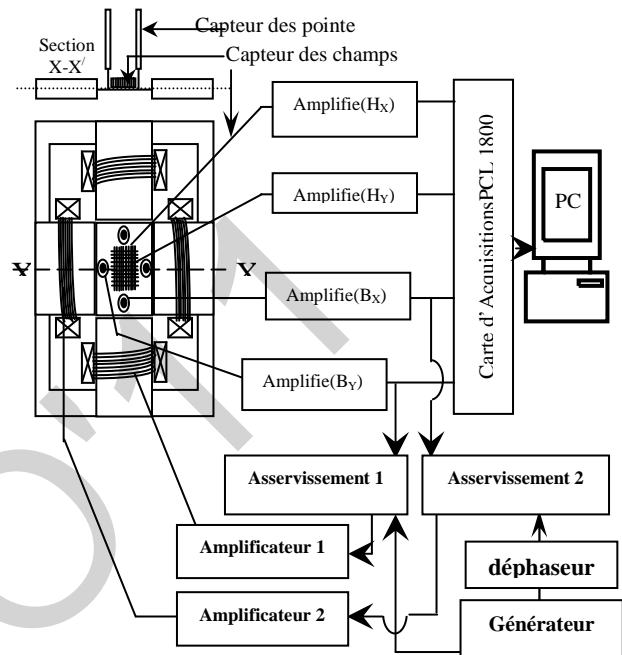


Fig.1: Schéma Synoptique du banc de mesure des propriétés magnétique.

Les mesures sont effectuées à une fréquence de 50Hz selon les deux directions principales de la tôle, les valeurs du champ et de l'induction magnétique par un capteur intégré ; deux bobines pour la mesure des deux composantes du champ et quatre pointes conductrices pour la mesure de l'induction magnétique.

III. TRAITEMENT DES SIGNAUX ACQUIS ET CARACTERISATION DE L'ECHANTILLON TEST PAR LE CADRE A CHAMP TOURNANT

Les deux grandeurs principales qui caractérisent un matériau magnétique sont le champ et l'induction magnétiques. Ces deux grandeurs sont déduites en utilisant les formules suivantes :

$$\text{Lois de Lenz: } e = -n \frac{\partial \phi}{\partial t} = -ns \frac{\partial B}{\partial t} \quad (1)$$

$$\text{Lois d'Ampère : } H.l = n.I \quad (2)$$

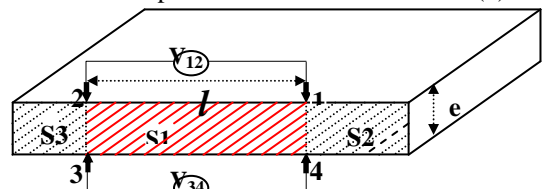


Fig.2: schéma de principe de la méthode des Pointes

Pour la mesure du champ on a une bobine plate placée dans l'air à une distance '0.4 mm' de l'échantillon, elle permet la mesure du champ magnétique moyen tangentiel à sa surface.

La tension induite entre les bornes de la bobine de

$$\text{mesure est : } V_H = -nS_H\mu_0 \frac{\partial H_d}{\partial t} \quad (3)$$

Avec n : nombre de spire

S_H : la section de la bobine de champ

H_d : champ à la distance 'd' de l'échantillon

Pour la mesure d'Induction on va utiliser la méthode des pointes qui est considérée comme étant la plus performante des méthodes de mesure de l'induction magnétique, ce capteur est constitué de quatre (mesure des deux composantes) tiges pointues et conductrices, la mesure de la tension induite entre deux points de la tôle. Ces tiges seront fixées sur un support isolant. La d.d.p entre deux pointes est donnée par la formule : [3]

$$V = \frac{1}{2} l e \frac{\partial B}{\partial t} \quad (4)$$

Cette tension est équivalente à une tension induite

aux bornes d'une spire ($\frac{1}{2} l e$) de section

L'application de la loi de Faraday au dispositif Fig.2 nous donne

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S} \quad (5)$$

Avec :

C : représente le contour 12341

E : l'intensité du champ électrique

S : la section délimitée par le contour c

IV. DISPOSITIF EXPERIMENTAL DU CADRE A CHAMP TOURNANT

Le banc de mesures est constitué d' : [5], [2]

- un générateur numérique programmable WAVETEK 39.
- un amplificateur de puissance KEPCO.
- un PC pour l'acquisition et le traitement
- un amplificateur de champ et d'induction
- une carte d'asservissement pour assurer les conditions d'essai sous une induction sinusoïdale.

Les programmes d'acquisition et de traitement numérique sont sous Labwin /cvi pour le cadre a champ tournant.

Le schéma du montage est donné par la Fig.1

V. QUALIFICATION DU CADRE A CHAMP TOURNANT ET DE L'ACQUISITION NUMERIQUE

Dans ce paragraphe, nous allons présenter des résultats des mesures effectuées sur deux échantillons différents à savoir :

* a) Tôle FeSi 3% à grains orientés, 0,3 mm d'épaisseur, pour une fréquence de 50Hz, origine Electro-Industrie

* b) Tôle FeSi 3% à grains non orientés, 0,3 mm d'épaisseur, pour une fréquence de 50Hz, origine Electro-Industrie.

Les mesures sont effectuées à une fréquence de 50hz, pour des inductions maximales variables.

VI. EXCITATION EN REGIME CIRCULAIRE

Pour appliquer un flux magnétique selon un régime il est nécessaire d'alimenter les deux voies simultanément par deux signaux de commande déphasée de 90° . Le module de l'induction B étant fixé (même amplitude), on peut changer l'orientation de l'excitation de $|B|$ en agissant sur les amplitudes de B_x et B_y en même temps :

$$|B| = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad (6)$$

Les caractéristiques magnétiques d'un matériau dépendent de la direction d'application de l'excitation, de la nature de la forme d'onde et de la fréquence de travail. Pour différents cas on constate des déformations de nature complexe des signaux issus des capteurs de flux, ces déformations trouvent leurs origines dans l'anisotropie et les courants induits.

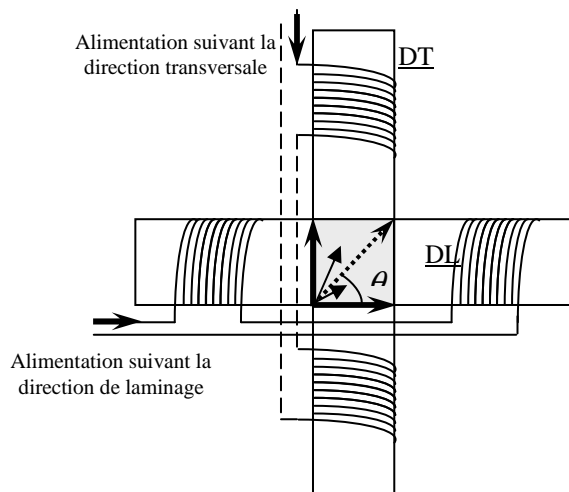


Fig.3: Régime unidirectionnel quelconque L'alimentation et suivant les deux directions

VII. RESULTATS EXPERIMENTAUX DES TOLES GO ET GNO

Pour réaliser une induction B unidirectionnelle (orientation située entre DL et DT) , on alimente les deux voies simultanément par des signaux de commande en phase. Le module de l'induction B, ainsi que l'angle qu'il fait par rapport à B_x sont contrôlés en agissant sur les modules des inductions B_x et B_y.

Nous effectuons deux essais à 50 Hz, le premier concerne une tôle (FeSi) à grains non orientés, et l'autre concerne une tôle (FeSi) à grains orientés.

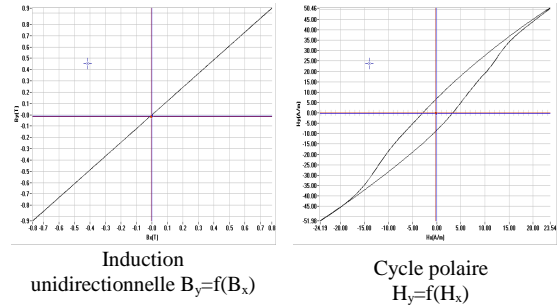
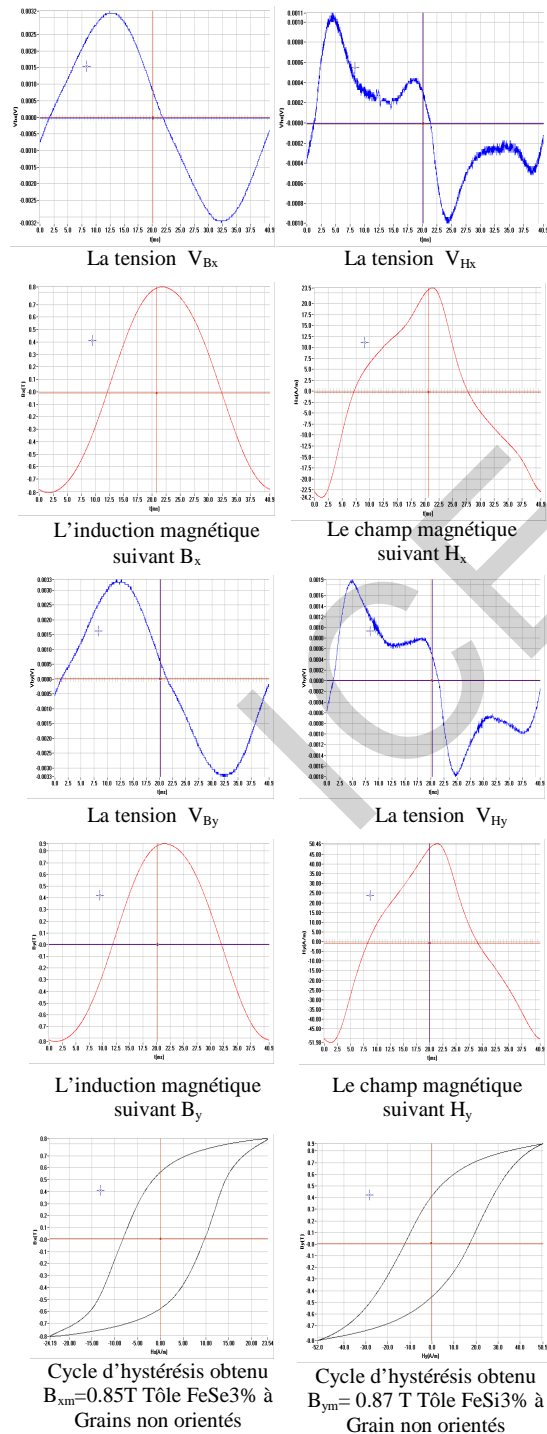


Fig.4: Etude d'une tôle FeSi GNO, $e = 0.5mm$, $f=50Hz$, $\theta=45^0$, $|B|=1.21T$, en régime unidirectionnel

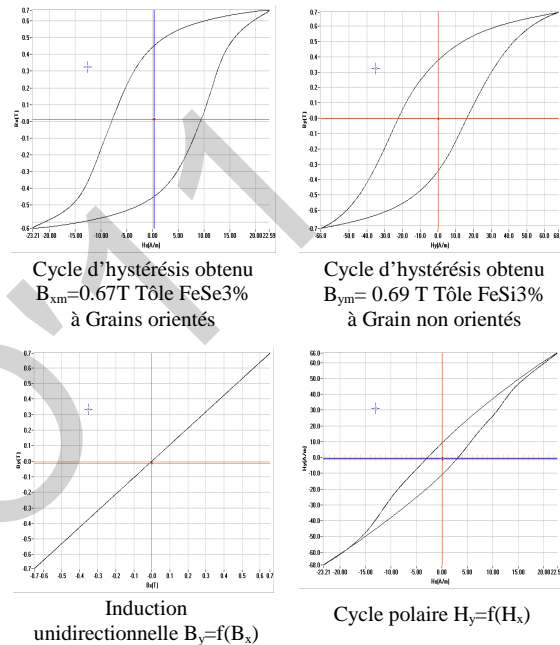


Fig.5: Etude d'une tôle FeSi GO, $e = 0.3mm$, $f=50Hz$, $\theta=45^0$, $|B|=0.96T$, en régime unidirectionnel

VII. MESURE MAGNETIQUE EN REGIME CIRCULAIRE

L'induction circulaire est obtenue en alimentant les deux voies par deux signaux de même module et déphasés de 90^0 .

B[T]	P _L (W/Kg)	P _T (W/Kg)	P _{Cha-To} (W/Kg)	P _{L+P_T} (W/Kg)	ε (%)
0.46	0,109	0,539	0,842	0,649	29.73
0.55	0,119	0,587	0,889	0,706	25.92
0.62	0,153	0,635	0,95	0,788	20.55
0.66	0,198	0,68	1,04	0,878	18.45
0.74	0,224	0,77	1,27	0,994	27.76
0.79	0,26	0,808	1,53	1,068	43.32
0.97	0,39	0,88	2,53	1,27	99.21

Tableau 1: Comparaison entre les pertes en régime d'induction circulaire et la somme des pertes en régime uniaxial (direction longitudinale +direction transversale) à $f= 50Hz$, pour une tôle FeSi à GO, $e = 0.3mm$

B[T]	P_L (W/Kg)	P_T (W/Kg)	P_{Cha-To} (W/Kg)	P_L+P_T (W/Kg)	\mathcal{E} (%)
0.5	0.61	0.81	1.52	1.425	06.66
0.6	0.75	1.15	2.12	1.9	11.57
0.7	0.81	1.205	2.82	2.01	40.29
0.8	1.04	1.65	3.93	2.69	46.09
0.9	1.27	2.2	4.62	3.47	33.14
1	1.52	2.53	6.0	4.05	48.14
1.1	1.9	3.13	7.1	5.03	41.15
1.3	2.48	3.71	8.95	6.19	44.58
1.35	2.65	3.93	-	6.58	-
1.42	2.95	4.53	-	7.48	-

Tableau 2: Comparaison entre les pertes en régime d'induction circulaire et la somme des pertes en régime uniaxial (direction longitudinale +direction transversale) à $f=50\text{Hz}$, pour une tôle FeSi à GNO, $e = 0,5\text{mm}$

$P_L(\text{W/Kg})$: les pertes mesurées en régime unidirectionnel selon la direction long.

$P_T(\text{W/Kg})$: les pertes mesurées en régime unidirectionnel selon la direction travers.

$P_{Cha-To}(\text{W/Kg})$: les pertes mesurées en régime d'induction circulaire.

$\mathcal{E}(\%)$: écart relatif entre les pertes en champ tournant et la somme des pertes long et travers

$$\mathcal{E}(\%) = \frac{P_{Cha-To} - (P_L + P_T)}{(P_L + P_T)} \quad (7)$$

Les Figures suivantes représentent les variations des pertes en fonction de l'induction magnétique pour les deux échantillons étudiés aux régimes circulaire et uniaxial (longitudinal et transversal) à $f = 50 \text{ Hz}$.

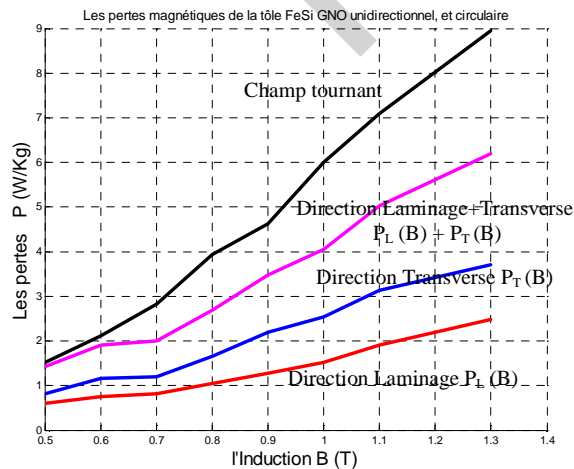


Fig.6 Les pertes magnétiques de la tôle FeSi GNO en champ unidirectionnel, long (P_L) et travers(P_T), en champ tournant (régime circulaire), $e = 0,5\text{mm}$ à $f= 50\text{Hz}$

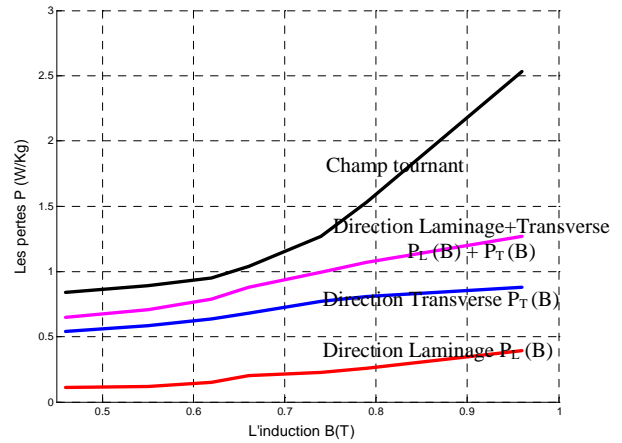


Fig.7: les Pertes magnétiques de la tôle FeSi GO en champ unidirectionnel, long (P_L) et travers(P_T), en champ tournant (régime circulaire), $e=0.3\text{mm}$ a $f = 50\text{Hz}$,

VIII. DISCUSSION

Pour la tôle FeSi à grains non orientés, les pertes pour la direction travers P_T sont 1.5 fois supérieures à celles obtenues dans la direction de facile aimantation P_L . les pertes en champ tournant circulaire sont également plus importantes que celles mesurées en régime unidirectionnel.

Pour la tôle à grains orientés, comme prévu, l'anisotropie du matériau est très importante puisque les pertes dans la direction travers P_T sont 2 fois supérieures à celles obtenues dans la direction de facile aimantation P_L . En plus l'écart entre les pertes en champ tournant et les pertes en champ unidirectionnel augmentent considérablement avec l'augmentation de l'induction magnétique, à partir de 0.75 T.

IX. DIAGRAMME POLAIRE $H_y(H_x)$

En régime d'induction circulaire, l'extrémité du vecteur champ magnétique décrit dans le plan de la tôle une trajectoire qui est représentée par la courbe $H_y(H_x)$. Les diagrammes polaires ont été obtenus pour les deux échantillons pour différentes inductions circulaires à fréquence 50Hz

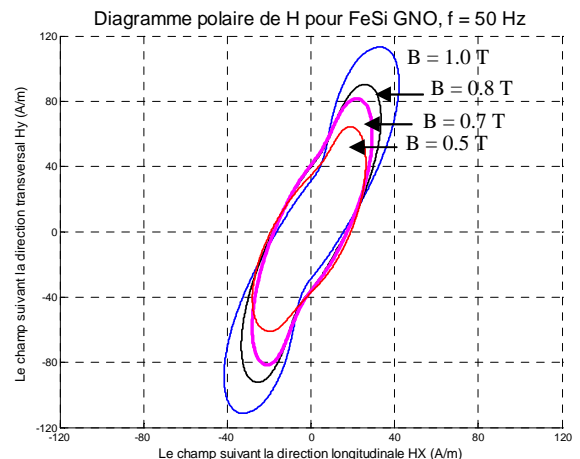


Fig.8: Diagrammes Polaire de \mathbf{H} Pour FeSi GNO, $e = 0.5\text{mm}$ pour une Fréquence = 50Hz, sens horaire de rotation de \mathbf{B}

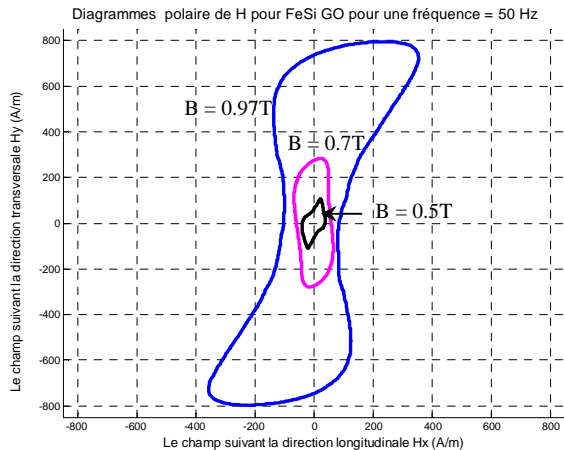


Fig.9. Diagrammes polaires de \mathbf{H} pour FeSi à GO, $e = 0.3$ mm, $f = 50$ Hz, sens horaire de rotation de \mathbf{B}

X. DISCUSSION

Les écarts obtenus entre les résultats de tôles à grains non orientés et à grains orientés peuvent être expliqués par les écarts d'homogénéité du champ à la surface de ces tôles.

Ces diagrammes caractérisent bien les directions de faciles et de difficiles aimantations et traduisent ainsi l'anisotropie du matériau.

Pour la tôle à grains orientés, un champ (module) minimal est observé pour la direction de laminage qui augmente progressivement pour atteindre son maximum pour une direction, dite de très difficile aimantation située à un angle voisin de 55° par rapport à la direction long. Ensuite ce champ décroît lentement jusqu'à la direction travers (direction dit difficile aimantation), dont le champ est relativement réduit par rapport à la direction très difficile aimantation.

XI. CONCLUSION

Dans ce travail nous avons abordé une étude d'un régime circulaire pour une fréquence constante, du cycle d'hystérésis $\mathbf{B}(\mathbf{H})$ qui représente les pertes magnétiques volumiques développées dans les deux échantillons au cours d'une période, sont comparait avec les perte en régime circulaire. Les essais effectués en ce régime d'induction nous ont permis d'analyser le comportement magnétique des tôles à grains orientés et à grains non orientés.

Pour la tôle à grains non orientés, le cycle est plus homogène que celui obtenu avec les tôles à grains orientés, mais ces tôles. Elles aussi présentent des directions (deux au minimum) différentes. Cela peut s'expliquer par le fait que ces tôles ne sont pas tout à fait isotropes, elles présentent donc certaines directions préférentielles par rapport à d'autres.

Le comportement magnétique des tôles à travers les cycles polaires $H_y(H_x)$ est considéré comme le plus représentatif, car il offre une meilleure appréciation de l'anisotropie du matériau.

Comme perspective pour ce travail, une étude plus poussée en effectuant un asservissement numérique afin de minimiser les écarts observés jusqu'à là, et effectuer des essais en régime d'induction complexe (régime de forme quelconque).

XII. BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.Kedous « Contribution à l'étude à basse fréquence des matériaux magnétiques amorphes ». Thèse de docteur ingénieur I.N.P. Grenoble, 1985
- [2] H.Houassine « Prédiction et d détermination Expérimentale des pertes fer dans les tôles FeSi soumises à des tensions non sinusoïdales ». Mémoire de Magister EMP, 2004
- [3] H.Houali « Etude et mesure de la caractéristique réversible des tôle a grains orientes en champ tournant » Mémoire de Magister EMP, 2002.
- [4] M.Harrar « Etude et réalisation d'un banc de mesure destine à la caractérisation des tôles magnétiques en régime unidirectionnel » Mémoire de Magister EMP, 2000.
- [5] A.Bendjerad « Amélioration des Performances du Banc de Caractérisation en Champ Tournant » Mémoire de Magister EMP, 2005.