

Détection des défauts dans les aciers par courants de Foucault

Mebrek Smain¹, Zergoug Mourad², Nacer Boucherou³

1: Attaché de recherche, C.S.C, D.P.E.M, Alger, mebreksmain@yahoo.com

2: Professeur, C.S.C, D.P.E.M, Alger, mzergoug@yahoo.com

3: Attaché de recherche, C.S.C, D.P.E.M, Alger, boucherou_nacer@yahoo.fr

Résumé

Malgré l'avènement de nouveaux matériaux, Les aciers fer-carbone restent d'une importance capitale pour le monde industriel. Les matériaux sont le foyer de multitudes de défauts lors de leurs élaborations ainsi que lors de leurs exploitations sous l'action de la fatigue, de la corrosion et des accidents. Le contrôle non destructif est utilisé pour déceler dans une pièce sans la détériorer et en respectant son intégrité toute particularité de sa structure pouvant avoir une influence sur son comportement en service. L'inspection visuelle est la plus simple de toutes les techniques du contrôle non destructif. Des défauts extérieurs peuvent être indiqués par des méthodes pénétrantes ou magnétiques. Les défauts internes sont mis en évidence par les ultrasons ou la radiographie. L'objet de ce travail est d'étudier la méthode de contrôle par courants de Foucault afin d'évaluer ses performances dans l'industrie.

Mots clés : contrôle non destructif, magnétisme, courants de Foucault, soudage, défauts

Introduction

Les propriétés électromagnétiques des aciers dépendent de leurs microstructures et des contraintes appliquées. Les différentes techniques du contrôle non destructif deviennent de plus en plus la solution adéquate et économique dans l'industrie, on rencontre parmi elle la méthode du contrôle par courants de Foucault. Elle est surtout applicable pour la recherche de défauts surfaciques, ou sub surfacique dans l'aéronautique et le nucléaire.

Principes du contrôle par courants de Foucault

On appelle courants de Foucault, les courants induits dans un matériau conducteur d'électricité par une variation de flux d'induction magnétique. Ces courants tourbillonnaires créent un flux magnétique de manière à réduire celui qui leur a donné naissance par variation de l'induction (figure 1).

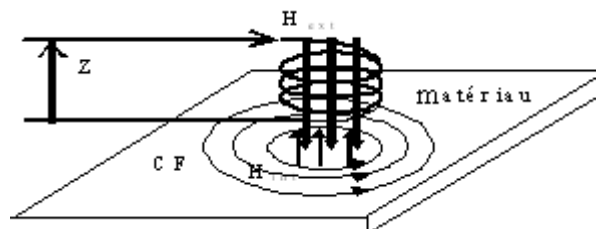


Figure 1 : principe des courants de Foucault



Les courants de Foucault suivent des trajectoires fermées sur des plans perpendiculaires au flux magnétique induit. Leurs intensités dépendent de la pénétration standard ; elle est la profondeur à laquelle la densité des courants de Foucault diminue de 37% de leur densité à la surface, elle dépend de la résistivité du matériau, de sa perméabilité, et de la fréquence.

$$\delta = 50 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}} \quad (1)$$

L'intensité et la répartition des courants de Foucault dépendent de certains paramètres tels que (figure 2):

- La résistivité électrique (ρ)
- la perméabilité magnétique (μ_r).
- la fréquence de travail (f).
- le couplage entre le conducteur (échantillon à contrôler) et le capteur,
- des défauts dont la présence se manifestent à travers une combinaison complexe des paramètres précédents.

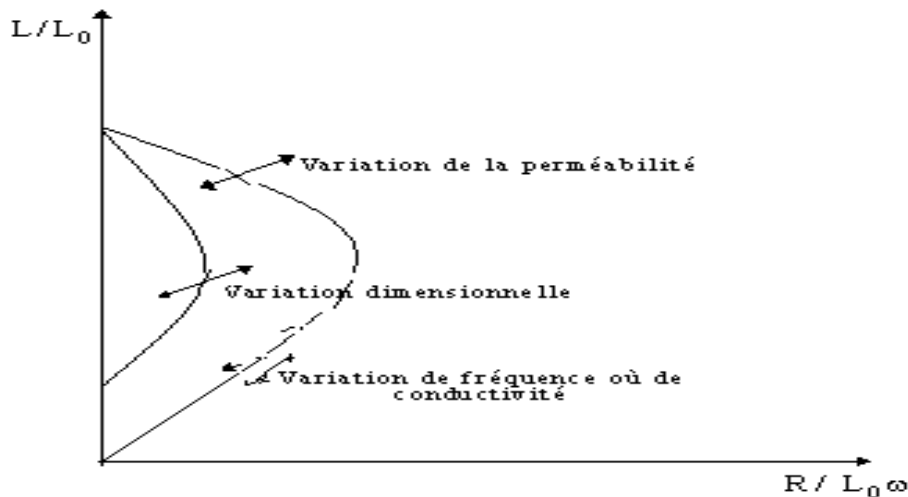


Figure 2 : Evolution du diagramme d'impédance

Partie expérimentale

Réalisation des défauts

Le soudage à l'arc électrique est le procédé industriel le plus répandu pour l'assemblage des aciers. Il est réalisé à partir d'un arc électrique créé et entretenu entre l'âme métallique de l'électrode et la pièce à souder. Des défauts seront réalisés volontairement par un soudeur qualifié sur des échantillons (tableau 1). Une prise radiographique par les rayons X sera faite sur l'ensemble des pièces (figure 3).

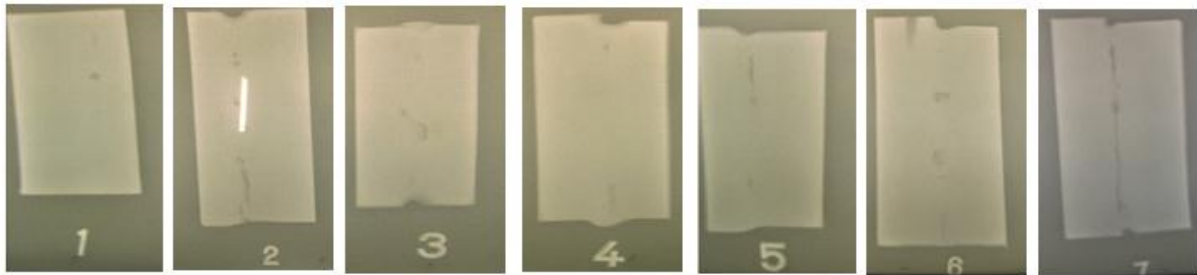


Figure 3 : radiogramme des échantillons

Tableau 1 - Défauts réalisés

Repère	1	2	3	4	5	6	7
Interprétation	Sain	Inclusion tungstène	Soufflures vermiculaire	Inclusion laitier	Soufflure allongée	Porosités	Manque de fusion

Réalisation des capteurs

L'élément essentiel de la chaîne de mesure par courant de Foucault est le capteur. Dans cette étude on a réalisé des palpeurs (Tableau 2).

Le diamètre du fil de bobinage a été choisi de telle façon à augmenter l'inductance propre des capteurs et à diminuer la valeur de la résistance (échauffement par effet joule). L'utilisation de la ferrite comme noyau (support) des capteurs a permis:

- D'augmenter l'inductance magnétique (perméabilité magnétique importante).
- D'augmenter le flux magnétique (réductance très faible).
- De diminuer la surface de contact.

Tableau 2 - Sondes réalisées

Diamètre	Diamètre du fil (mm)	longueur de la sonde (cm)	L(mH)	R(Ω)
3.4	0.123	4.4	1.354	39.278
3.4	0.123	3.9	1.222	34.276
2.6	0.123	2.8	0.053	21.765
1.8	0.123	1.9	1.258	28.688
1.1	0.123	1.3	2.076	24.613
1.5	0.23	1.5	6	13

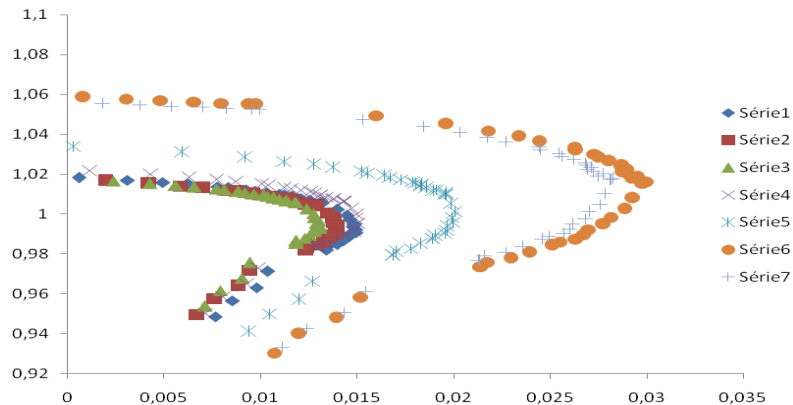


Figure 4 : diagramme d'impédance normalisé

La figure 4 met en évidence les tracés des diagrammes d'impédance normalisés de la sonde choisie sur tous les spécimens réalisés; nous constatons que l'échange maximale d'énergie s'effectue au milieu de la courbe, là où le rapport des parties réactives tend vers l'unité, elle est équivalente à une fréquence de 1kHz.

System expérimental

Nous avons développés un programme permettant de caractériser les sondes réalisées et en parallèle l'acquisition des données lors du contrôle ; tout en assurant la gestion automatisée des différents appareils utilisés(figure 5) :

- D'un mesureur d'impédance pilotée par l'ordinateur par le biais d'une interface GPBI NI488.2.
- D'un système de déplacement commandé par ordinateur par le biais de l'interface RS232 qui commandera les déplacements du capteur.

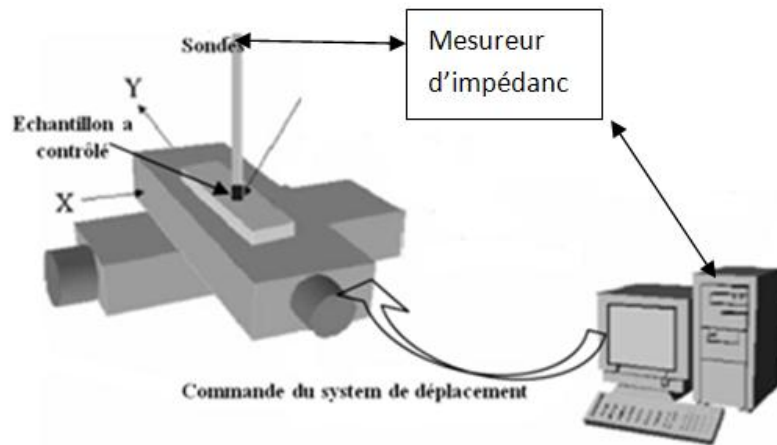


Figure 5 : chaine de mesure

Résultats et interprétations

La représentation en deux dimensions des résultats du contrôle, où on présente les coordonnées x et y des pièces à contrôler en fonction des valeurs des parties résistives où inductives de l'impédance du capteur collectées lors de l'opération de l'inspection (figure 9, 10, 11, 12, 13 et 14). On constate que les défauts telles les porosités et les soufflures quelque soient leurs natures tendent vers la même couleur (figure 10, 12 et 13) alors qu'une inclusion de tungstène qui est un métal ferromagnétique se détache de l'ensemble des autres échantillons (figure 9).

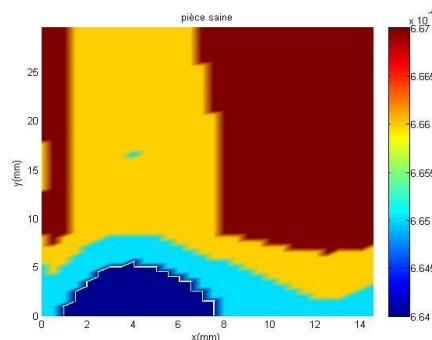


Figure 6 : Pièce saine

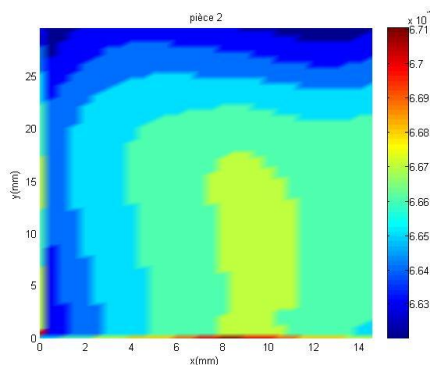


Figure 7 : Inclusion de tungstène

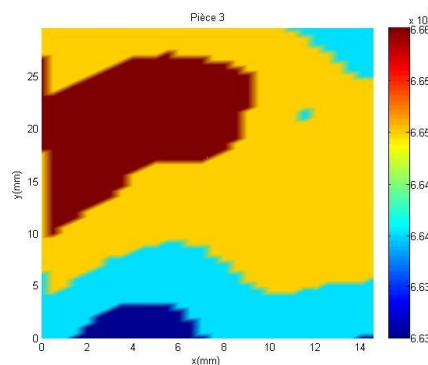


Figure 8 : Soufflure vermiculaire

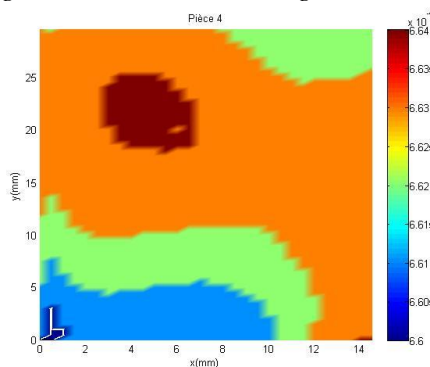


Figure 9 : Inclusion de laitier

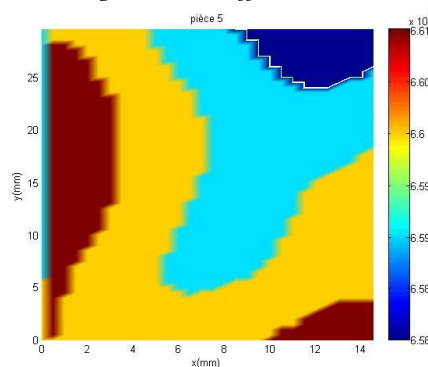


Figure 10 : Soufflure allongée

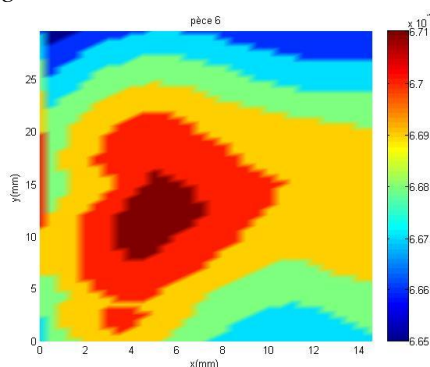


Figure 11 : Porosité

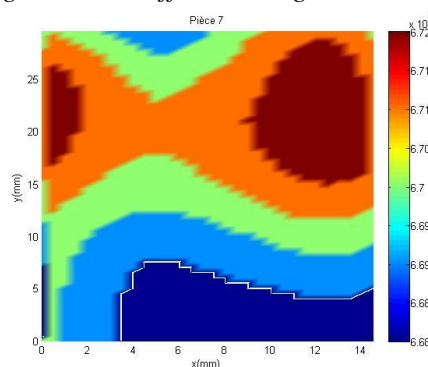


Figure 12: Collage

Conclusion

Il est nécessaire de souligner que le succès d'un contrôle par courants de Foucault dépend de la conception de la sonde, de telle sorte qu'elle soit le mieux adaptée au problème considéré.

Un palpeur magnétique doit être réalisé avec un matériau de forte perméabilité magnétique et de faible conductivité électrique. Les résultats obtenus par la sonde avec un noyau en ferrite, nous permettent de conclure que la sensibilité augmente et l'influence du champ latéral est minimisée de façon notable.



Un logiciel a été développé pour assurer la communication entre les différents équipements d'acquisition du signal, de déplacement micrométrique de la sonde.

Références:

- [1] Klyvev, V., Wusman, G. V " Non destructive testing and diagnostic", 2004
- [2] Robert. C "Non destructive testing Handbook ", Edition ASNT, 1986
- [3] Javaan Bowler "Electromagnetic fields" MCGraw-Hill, 1964
- [4] Elie Boridy "Electromagnétique, théorie et applications"
- [5] P. Brissonneau " magnétisme et matériaux magnétique pour électrotechnique", ISBN 2-86601-579-7, hernes, 1997.
- [6] G. WACHE, J. JARDIN, R. LINK "Caractérisation des capteurs utilisés en contrôle non destructif par courants de Foucault". 6ème Conférence Européenne sur les Contrôles Non Destructifs.
- [7] B. RAO "Simulation of eddy current signals from multiple defects". NDT & E International, Vol. 29, 1996.
- [8] M. Zergoug "Optimisation a digital methods processing of eddy current", 11th International Symposium on Non destructive Characterization of Materials, Springer 2002.
- [9] M. Zergoug "Conductivity simulation for material characterisation by eddy current", 3rd International conference on NDE to structural integrity for nuclear and pressurised components, seville –Espagne. 2001
- [10] Maldagne, X. P. V. "Advances in signal processing for non destructive "