

# Simulation du CND par courants de Foucault en vue de la caractérisation des fissures débouchantes dans les aciers austénitiques

B. HELIFA<sup>1</sup>, A. ZAOUI<sup>2</sup>, M. FELIACHI<sup>3</sup>, I. K. LEFKAIER<sup>1</sup>, F. BOUBENIDER<sup>4</sup>, A. CHERIET<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Sciences Fondamentales, Université de Laghouat, BP 37 G, Laghouat, Algérie

<sup>2</sup> EMP, BP 17 Bordj El Bahri 16100 Alger, Algérie

<sup>3</sup> IREENA-IUT, CRTT, 37 Boulevard de l'Université, BP 406, 44602 Saint-Nazaire cedex, France

<sup>4</sup> Laboratoire Physique des Matériaux, USTHB, Bab-Ezzouar, Alger, Algérie

<sup>5</sup> Département d'Electrotechnique, Université Mohamed Kheider 07000 Biskra, Algérie

E-mail: [helifa@yahoo.fr](mailto:helifa@yahoo.fr)

**Résumé** — A partir d'une simulation 3D éléments finis, nous proposons une alternative d'inversion des signaux issus de la réponse d'un capteur dans un contrôle non destructif par courants de Foucault. L'objectif visé est l'identification et la quantification d'une fissure débouchante dans des pièces en acier austénitique à partir du signal obtenu lors du contrôle. Ainsi, le tracé des courbes étalons issus des résultats du modèle nous a permis de quantifier la fissure. Une telle approche numérique peut remplacer une investigation expérimentale coûteuse ou bien un algorithme d'optimisation conduisant à un temps de calcul pouvant devenir prohibitif.

## I. INTRODUCTION

Le contrôle non destructif par courants de Foucault est un outil de contrôle de la qualité et de la fiabilité. Son exploitation en temps réel devient une nécessité capitale, et c'est la raison pour laquelle il devient indispensable de disposer d'un outil rapide pour l'inversion des signaux courants de Foucault.

Généralement cette inversion se fait à travers une investigation expérimentale par tracé des courbes étalons, une investigation efficace mais coûteuse [1], soit par un algorithme d'optimisation conduisant à un temps de calcul pouvant devenir prohibitif [2, 3, 4].

Nous proposons une alternative d'inversion des signaux courants de Foucault issus de la réponse d'un capteur courants de Foucault à partir d'un modèle 3D éléments fins.

Dans ce contexte une simulation 3D éléments fins est réalisée dans le but de calculer l'énergie électromagnétique du système capteur – pièce fissurée. De cette énergie, on déduit les composantes réelles et imaginaire de l'impédance du capteur, ce qui permet de déterminer les paramètres caractéristiques d'une fissure débouchante dans des pièces en acier austénitique.

## II. FORMULATION

Le modèle électromagnétique 3D adopté est donné par :

$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{A}(x, y, z, t) - \vec{\nabla} \nabla_p \cdot \vec{A}(x, y, z, t) + \alpha \frac{\partial \vec{A}(x, y, z, t)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot V(x, y, z, t) = \vec{J}, \quad (1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \alpha \frac{\partial \vec{A}(x, y, z, t)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot V(x, y, z, t) = 0$$

$\vec{A}(x, y, z, t)$  et  $V(x, y, z, t)$  sont respectivement le potentiel vecteur magnétique et potentiel scalaire

électrique,  $\nu$  est la réductivité magnétique et  $\sigma$  la conductivité électrique de l'acier austénitique.  $\nu_p$  est le terme de pénalité égal à  $\nu$  dans notre cas.

La variation d'impédance du capteur est déterminée en calculant l'énergie magnétique emmagasinée dans tout l'espace et les pertes joules dans le conducteur pour la pièce sans défaut ( $E^s$ ) et avec défaut ( $E^d$ ).

$$\begin{cases} \Delta X = \frac{2\omega}{I^2} (E_{mag}^s - E_{mag}^d) \\ E_{mag} = \frac{1}{2} \int_{espace} \frac{1}{\mu} \vec{B} \cdot \vec{B}^* dv \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta R = \frac{1}{I^2} (E_{Joule}^s - E_{Joule}^d) \\ E_{Joule} = \int_{conducteur} \frac{1}{\sigma} \vec{J} \cdot \vec{J}^* dv \end{cases}$$

$\vec{B}$  et  $\vec{J}$  sont respectivement le vecteur induction magnétique et le vecteur densité de courant,  $I$  le courant d'alimentation.

## III. RESOLUTION

La résolution du système (1) a été effectuée par la méthode des éléments finis 3D. Premièrement, le potentiel vecteur magnétique est calculé. Après analyse de la distribution du champ électromagnétique, nous calculons l'énergie électromagnétique et nous en déduisons les composantes réelles et imaginaire de l'impédance du capteur et ce afin de procéder à la simulation du CND par courants de Foucault du système étudié.

## IV. METHODOLOGIE

Nous validons tout d'abord le modèle 3D à partir de mesures effectuées au sein de notre laboratoire [5], sur des pièces étalons. Une fois le modèle validé nous l'appliquons au CND en établissant des courbes étalons pour différentes morphologies de la fissure.

## V. SYSTEME

Le système que nous nous proposons d'étudier est représenté en figure 1.

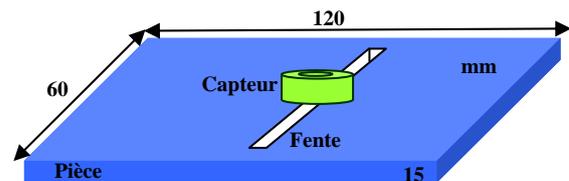


Fig. 1. Système capteur – pièce fissurée.

## VI. RESULTATS

Les résultats de calcul sont donnés par les figures 2, 3, 4 et 5.

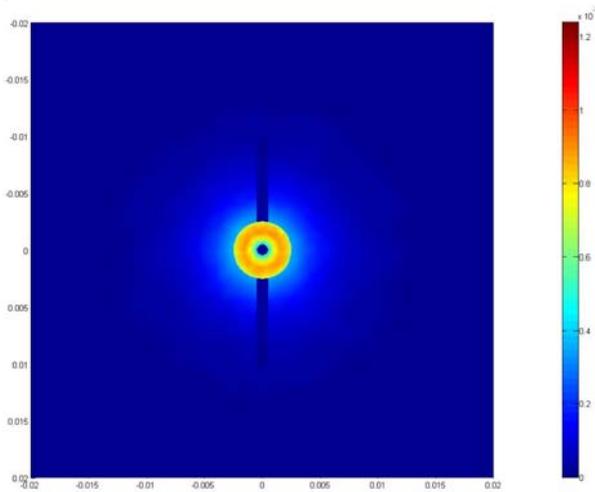


Fig. 2. Distribution de l'amplitude du potentiel vecteur magnétique.

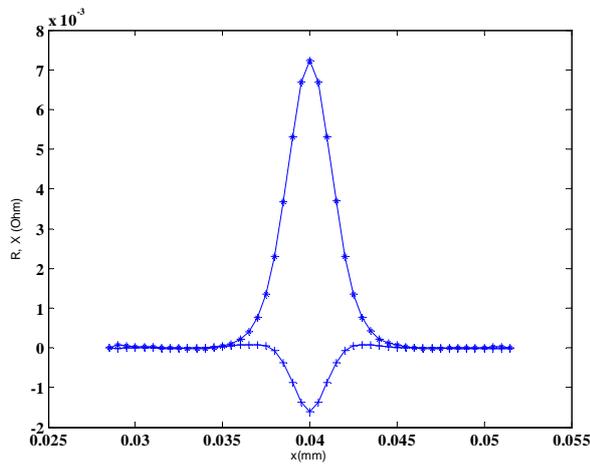


Fig. 3. Variation des composantes réelles et imaginaires de l'impédance en fonction du déplacement transversale de la bobine alimentée par un courant de 10 kHz.

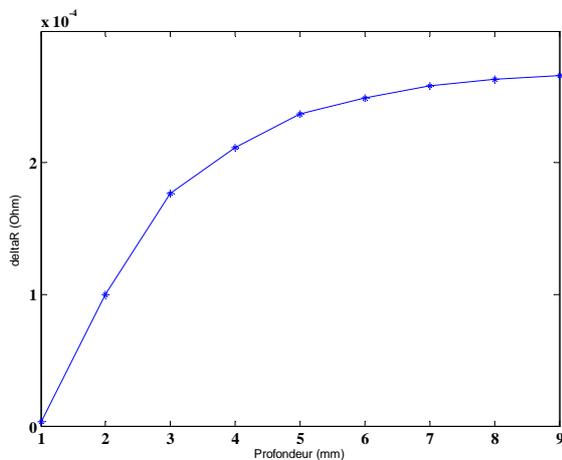


Fig. 4. Variation de la composante réelle de l'impédance en fonction de la profondeur de la fissure.

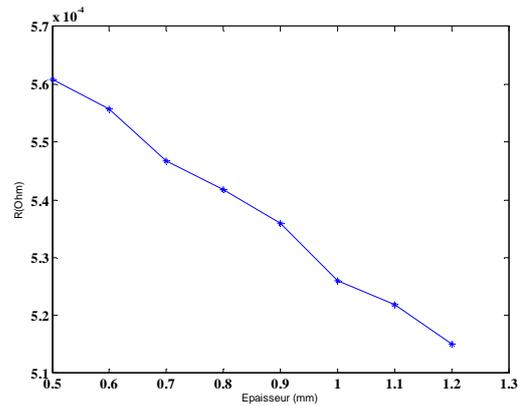


Fig. 5. Variation de la composante réelle de l'impédance en fonction de l'épaisseur de la fissure.

Les courbes des figures 4 et 5 nous informent respectivement sur la profondeur et l'épaisseur de la fissure. Ainsi, nous pouvons construire des abaques qui nous permettent de caractériser la fissure.

## VII. CONCLUSION

Nous avons montré que l'approche adoptée nous permet à partir d'une simulation 3D, d'établir des courbes étalons nous permettant d'identifier et de quantifier une fissure débouchante sur des pièces en acier austénitique à partir du signal obtenu lors du contrôle.

La méthodologie proposée peut être appliquée à différentes bobines et pour différents matériaux.

## CONTEXTE

Ce travail est mené dans le cadre du programme FRANCO-ALGÉRIEN d'action intégré Tassili.

## REFERENCES

- [1] B. Helifa, A. Oulhadj, A. Benbelghit, I. K. Lefkaier, F. Boubenider and D. Boutassouna, "Detection and measurement of surface cracks in ferromagnetic materials using eddy current testing", *NDT & E international, Elsevier, Volume 39, Issue 1, pp 384-390, March 2006*.
- [2] V. Monebhurrin, B. Duchêne and D. Lesselier, Three-dimensional inversion of eddy current data for non-destructive evaluation of steam generator tubes, *Inverse Problems 14 (1998) 707-724*.
- [3] A. A. Arkadan, T. Sareen, and S. Subramaniam, Genetic Algorithms for Nondestructive Testing in Crack Identification, *IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 30, No. 6, November 1994*.
- [4] M. Rachek, M. Féliachi, "3-D movement simulation techniques using FE-methods : Application to Eddy Current Non-Destructive Testing", *NDT & E international, Elsevier, Volume 40, Issue 1, pp 35-42, January 2007*.
- [5] B. Helifa, M. Féliachi, "Caractérisations expérimentales de pièces conductrices étalons comportant des défauts", *Rapport interne, IRENA-St-Nazaire, 2008*.