

# Caractérisation magnéto-mécanique vibratoire de noyaux de transformateurs traités par laser pulsé.

E. SALLOUM<sup>a,b\*</sup>, O. MALOBERTI<sup>a,b</sup>, Leila KHALIJ<sup>c</sup>, Christophe GAUTRELET<sup>c</sup>, J. BLEUMERS<sup>d</sup> and S. PANIER<sup>a</sup>

<sup>a</sup>ASYMADE-UniLaSalle Amiens, 14 Quai de la Somme, Amiens, 80080, France

<sup>b</sup>Université de Picardie Jules Verne, LTI EA-3899, Avenue des Facultés, 80025 Amiens, France

<sup>c</sup>Laboratoire de Mécanique de Normandie (LMN), INSA Rouen Normandy, 76000 Rouen,

<sup>d</sup>DERA Energy Engineering bv, Ruggeveldstraat 1, B-2110 Wijnegem, Belgium

**RESUME** - La modélisation et la mesure du comportement magnéto-mécanique dans les noyaux des transformateurs monophasés et traités par laser pulsé sont présentées. Un modèle vibratoire dynamique est adopté pour estimer les fréquences et modes propres de vibration du noyau du transformateur. Le modèle est comparé à des mesures magnéto-mécaniques dynamiques réalisées à l'aide d'un vélocimètre laser. Cette analyse révèle la réponse dynamique due au processus d'aimantation dans les transformateurs. Il fournit un moyen d'identifier l'importance relative des niveaux de magnétostriction localisés et aide à réduire le bruit et les vibrations d'origine magnétique. Elle est appliquée sur une étude paramétrique qui compare le comportement avant et après un certain traitement par laser appliqué sur la surface des tôles du transformateur.

**Mots-clés**—transformateurs monophasés, hystérésis, comportement dynamique, mesures, analyse modale, magnétostriction, étude paramétrique, laser pulsé.

## 1. MODELISATION

### 1.1. Forces générées

Les vibrations dont le bruit dans les composants magnétiques sans entrefer sont principalement dues à la magnétostriction un phénomène qui déforme le noyau lorsqu'il est soumis à un champ magnétique. Du fait des conditions aux limites, la déformation magnétostrictive génère une force magnétique équivalente dont la distribution est liée au gradient de densité de flux magnétique. La force est principalement répartie dans les coins intérieurs (Fig. 1).

### 1.2. Modèle dynamique vibratoire

Un modèle vibratoire dynamique basé sur une analyse par éléments finis 2D est utilisé dans les transformateurs pour modéliser le comportement magnéto-mécanique. Le modèle est représenté par :

$$[M]\ddot{\vec{x}} + [K]\vec{x} = \vec{f} \quad (1)$$

$\vec{x}$  est le vecteur déplacement,  $[M]$  la matrice de masse qui dépend de la géométrie et de la masse volumique,  $[K]$  la matrice de raideur qui dépend de la géométrie et du module de Young et  $\vec{f}$  la force magnétostrictive générée dans le matériau. En fournissant en tout point un niveau de magnétostriction connu préalablement à partir d'une mesure réalisée préalablement sur des échantillons, le profil de déflexion du

transformateur peut être déterminé (Fig. 1). Dans cette étude, nous nous intéressons à la position finale représentée sur la Fig. 2.

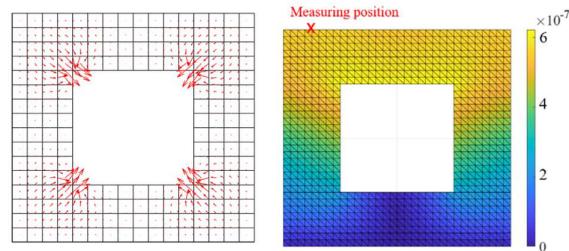


Fig. 1. Distribution des forces sur le transformateur (à gauche) et déplacement locale de la structure (à droite) à 1,75 T et 50 Hz.

## 2. MESURES

Les mesures magnétiques et mécaniques sont effectuées de manière synchrone. Les résultats magnétiques sont dérivés du courant primaire et de la tension secondaire à l'aide d'un modèle équivalent magnétique et électrique du transformateur. Le déplacement  $x$  est obtenu en intégrant la mesure de vitesse obtenue avec un vélocimètre laser. Le déplacement mesuré à différents niveaux d'induction montre un très bon accord avec la modélisation (Fig. 2).

La technique de modélisation magnéto-mécanique est très importante pour identifier les niveaux de magnétostriction localisés et sensibles à la direction du flux des transformateurs. Elle aide à contrôler et à réduire le bruit et les vibrations en affaiblissant les sources principales aux coins.

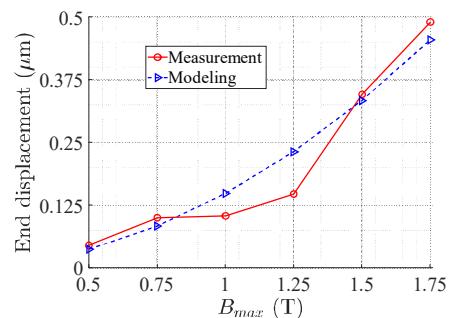


Fig. 2. Déplacement mesuré vs modélisé à 50 Hz

### 3. ETUDE PARAMETRIQUE

L'étude d'identification du comportement magnéto-mécanique réalisée précédemment sera appliquée sur une étude comparative du transformateur avant et après un traitement par laser appliqué en surface des tôles magnétiques. Le comportement magnétique et magnéto-mécanique est sensible à différents paramètres tels que la largeur d'impulsion, la vitesse du laser et l'espacement entre les lignes laser.

La Fig. 3 montre la variation de la vitesse mesurée sur la tranche supérieure des prototypes. On constate que le bruit est important à partir de 1 T d'aimantation car des harmoniques commencent à apparaître du fait de l'effet de saturation et sont responsables de la génération de bruit. Par conséquent, même si une augmentation de la vitesse apparaît à faible induction, une diminution est observée à forte induction, ce qui est plus effectif sur la génération du bruit. En général, on observe une décroissance de vitesse jusqu'à 70% pour les transformateurs.

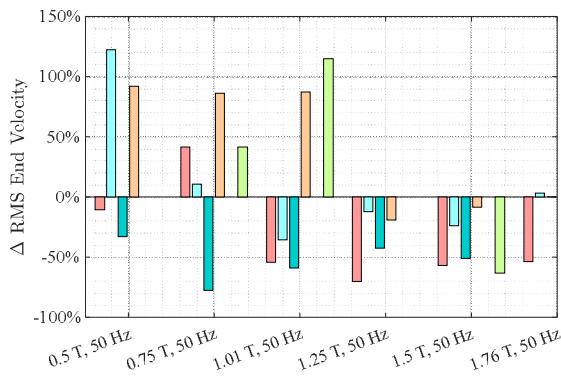


Fig. 3. Variation de la vitesse à 50 Hz par rapport au transformateur non traité pour différent types de traitement par laser.

### 4. CONCLUSION

Cette étude de modélisation et de mesures réalisée sur un transformateur a pour but de comprendre les vibrations magnéto-mécaniques induites par l'aimantation du noyau de ce composant magnétique dans le but d'améliorer son comportement. Il est important à côté de la réduction des pertes magnétiques de contrôler le bruit et les vibrations induites par les forces magnétiques qui correspondent au phénomène de magnétostriction dans le transformateur. Cette réduction pourrait être réalisée en agissant sur la structure magnétique.

### 5. REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet ESSIAL, financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'UE sous la convention de subvention n° 766437.

### 6. REFERENCES

- [1] Rossi M. and Le Besnerais J., «Vibration Reduction of Inductors Under Magnetostrictive and Maxwell Forces Excitation IEEE Transactions on Magnetics», vol. 51, no. 12, 1-6, 2015.
- [2] T. Hilgert, L. Vandervelde and J. Melkebeek, «Comparison of Magnetostriction Models for Use in Calculations of Vibrations in Magnetic Cores», IEEE Transactions on Magnetics, vol. 44, no. 6, 874-877, 2008.
- [3] E. Salloum, O. Maloberti, S. Panier, M. Nesser, P. Klimczyk, J. Fortin, «Identification of magnetic induced strain of electrical steels using non-destructive acceleration measurement and inverse vibration modeling», Journal of Sound and Vibration, Vol. 492, 2021, 115806.