

Application de la Méthode Hybride (Algorithmes Génétiques - Moindres Carrés) à l'Identification et l'Optimisation Paramétrique du Modèle de l'Hystérésis de Chua

A. BELKEBIR, B. ABDELHADI et A. BENOUDJIT

Département d'Electrotechnique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université de Batna
Rue Chahid M^{ed} EL-Hadi Boukhrouf, Batna 05000, Algérie
amel_setif19@yahoo.fr, abdelhadi3b@yahoo.com, benoudjit@yahoo.com

Abstract— The Chua model is a complete mathematical and phenomenological model. The establishment of such model requires an identification of its parameters, which are not obtained easily. This article presents a hybrid method combined with two types of methods: deterministic (Least Square) and stochastic (Genetic Algorithms) to identify and optimize the Chua model parameters. Comparisons between simulations and experimental hysteresis cycle shows the effectiveness of the adopted hybrid technique.

Résumé— Le modèle de Chua est un modèle complet au niveau mathématique et phénoménologique. Mais l'identification de ses paramètres reste toutefois difficile à réaliser. Cet article présente une méthode hybride. Elle combine deux types de méthodes déterministe (Moindres Carrés-MC) et stochastique (Algorithmes Génétiques-AGs) pour identifier et optimiser les paramètres du modèle de l'hystérésis de Chua. Une étude comparative entre les résultats simulés et ceux relevés expérimentalement a été établie afin de valider l'approche adoptée.

Mots clés— Modèle de Chua, Méthode Hybride, Algorithmes Génétiques, Moindres Carrés, Identification, Optimisation.

I. INTRODUCTION

Les méthodes d'optimisation sont principalement classées en méthodes déterministes et méthodes stochastiques. Les premières sont basées sur le calcul ou l'approximation de dérivées. Elles ont donc l'inconvénient de pouvoir converger vers un optimum local, d'une part et d'autre part, la convergence est souvent compromise selon que nous pouvons ou non localiser même très grossièrement l'optimum. Cependant, ces méthodes ont l'avantage de converger rapidement et d'une manière précise, si on n'est pas loin de l'optimum recherché. Les méthodes d'optimisation de type stochastiques sont des méthodes probabilistes et ont une très forte capacité de convergence vers la niche de l'optimum global sans pour autant atteindre la précision des méthodes déterministes, [1]. En analysant les avantages et les inconvénients de ces deux types de méthodes, on peut se rendre à l'évidence qu'elles se complètent. Il paraît incontournable d'hybrider une méthode stochastique, d'où la nécessité de l'utilisation des méthodes d'optimisation et d'identification. Cet article porte sur l'application d'une méthode hybride couplant deux méthodes (AGs-MC) pour

l'identification optimisée des paramètres du modèle de Chua. On commencera par la présentation du modèle proposé et l'analyse de l'effet de la fréquence sur le cycle d'hystérésis puis on présentera le banc d'essai expérimental réalisé au niveau du laboratoire des machines électriques, du département d'électrotechnique de l'Université de Batna. La procédure d'identification des paramètres du modèle proposé a été développée par un programme sous environnement Matlab. On terminera par une validation des résultats de la simulation par une comparaison avec ceux obtenus expérimentalement.

II. MODELE DE CHUA

Le modèle de Chua est un modèle complet au niveau mathématique et phénoménologique, [2, 3]. Il permet de générer la courbe de première aimantation, le cycle mineur. En effet, dans le modèle de Chua on peut suivre l'évolution du cycle d'hystérésis en fonction de la fréquence, [4, 5]. Ce modèle est obtenu par le comportement des caractéristiques du champ statique (H_e) et du champ dynamique (H_o) :

$$H = H_e + H_o \quad (1)$$

Y. Saito a ajouté les deux paramètres du cycle d'hystérésis (le coefficient d'hystérésis (s) et la perméabilité (μ)) à la formulation de base du modèle de Chua qui sera définie par:

$$H(t) = \frac{1}{\mu} B(t) + \frac{1}{s} \frac{dB(t)}{dt} \quad (2)$$

III. EFFET DE LA FREQUENCE

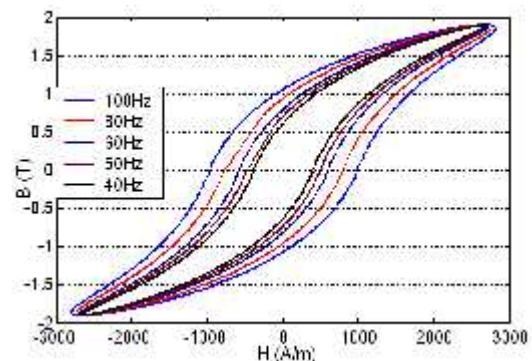


Fig. 1 Effet de la fréquence sur le cycle d'hystérésis

A partir des courbes des cycles d'hystérésis simulées de la figure 1, on observe un gonflement du cycle d'hystérésis sous l'effet d'augmentation de la fréquence et par conséquent une augmentation du champ coercitif et une augmentation de l'aimantation rémanente.

Le tableau 1 présente les valeurs du champ coercitif (H_c), de l'aimantation rémanente (B_r) et de la fréquence (f) pour les courbes des cycles d'hystérésis

Tableau 1

Effet de la fréquence sur les paramètres du cycle d'hystérésis

Fréquence (Hz)	40	50	60	80	100
H_c (A/m)	390	500	585	780	975
B_r (T)	0.62	0.717	0.8	0.95	1.036

On peut noter que: le gonflement du cycle d'hystérésis sous l'effet d'augmentation de la fréquence montre une évolution des pertes. On note une forte augmentation des pertes à des fréquences élevées.

IV. RESULTATS EXPERIMENTAUX

L'étude du modèle de Chua repose sur la définition de la perméabilité et du coefficient de l'hystérésis. L'identification de ces paramètres impose une manipulation au préalable sur un banc d'essai. Ce dernier dont nous disposons dans notre laboratoire a été conçu à travers plusieurs travaux au niveau du département électrotechnique, [6].

Le circuit principal utilisé est un cadre d'Epstein, outil utilisé dans le domaine de la caractérisation des tôles ferromagnétiques. Une amélioration a été apportée à la chaîne de mesure par l'introduction d'une boucle d'asservissement afin de préserver le plus possible la forme sinusoïdale de l'induction magnétique. Le schéma de principe illustrant le banc de mesure est donné par la Fig. 2.

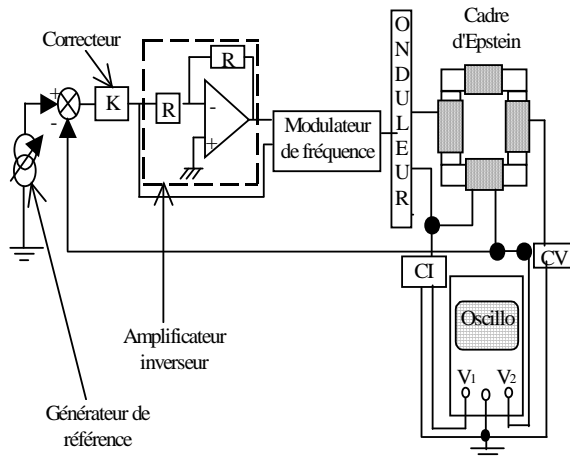


Fig. 2 Schéma de principe du banc d'essai

Cinq courbes ont été relevées à différentes valeurs du champ. Nous avons choisi seulement une de ces courbes (Fig. 3), pour laquelle la densité magnétique est sinusoïdale (Fig. 4), et le champ magnétique est non sinusoïdale (Fig. 5). Dans le but de déterminer les paramètres du modèle de Chua par la méthode hybride combinée par la méthode des Algorithmes Génétiques (AGs) et la méthode des Moindres Carrés (MC), afin de reproduire le phénomène du cycle d'hystérésis et de déterminer les limites de validité de ces approches.

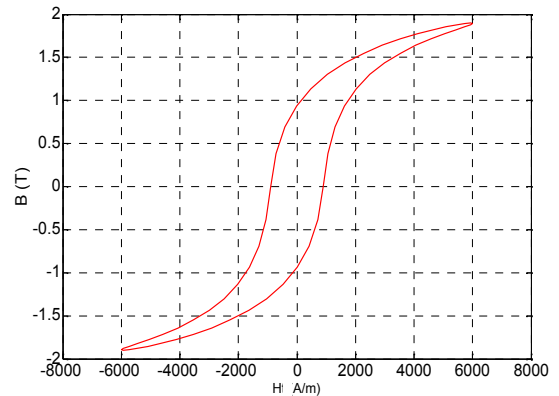


Fig. 3 Cycle d'hystérésis expérimental

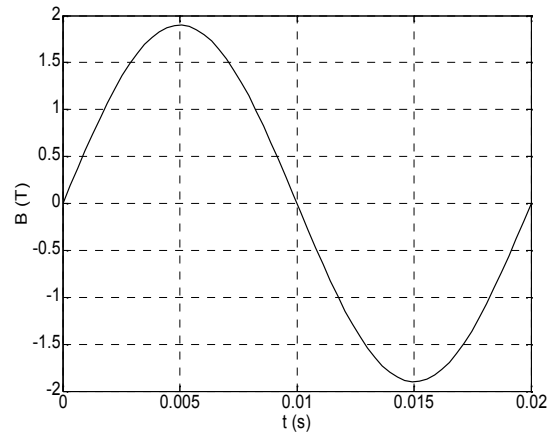


Fig. 4 Evolution de l'induction B en fonction du temps

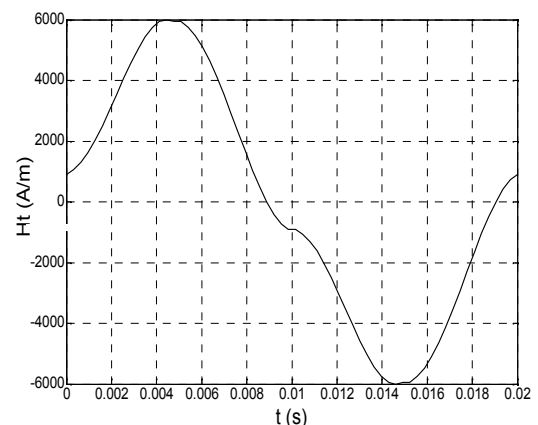


Fig.5 Variation du Champ H en fonction du temps

V. PROCEDURE D'IDENTIFICATION PAR LA METHODE DES ALGORITHMES GENETIQUES

La procédure d'identification et d'optimisation par l'Algorithme Génétique (AG) des paramètres du modèle de Chua, s'effectue selon l'organigramme de la Fig. 6.

- Premièrement, on définit les données de l'AG, telles que les valeurs limites bas (LB) et haut (UB) des paramètres et le nombre de variables, et le critère d'arrêt.
- Deuxièmement, l'AG choisit aléatoirement selon une distribution uniforme les individus (paramètres) formant la population initiale. Ensuite, en utilisant l'induction magnétique mesurée $B_{exp}(t)$ et sa dérivée $dB_{exp}(t)/dt$ et les individus de la population initiale, le modèle de Chua calcule l'intensité du champ correspondante $H(t)$.
- Finalement, la fonction d'adaptation calcule l'erreur entre l'intensité du champ simulée $H(t)$ et celle mesurée $H_{exp}(t)$ en tous points du cycle. Si le critère d'arrêt est satisfaisant, l'AG est arrêté et les résultats sont affichés. Si non, l'AG applique les différents opérateurs génétiques pour la création de la population suivante en utilisant les fonctions choisies.

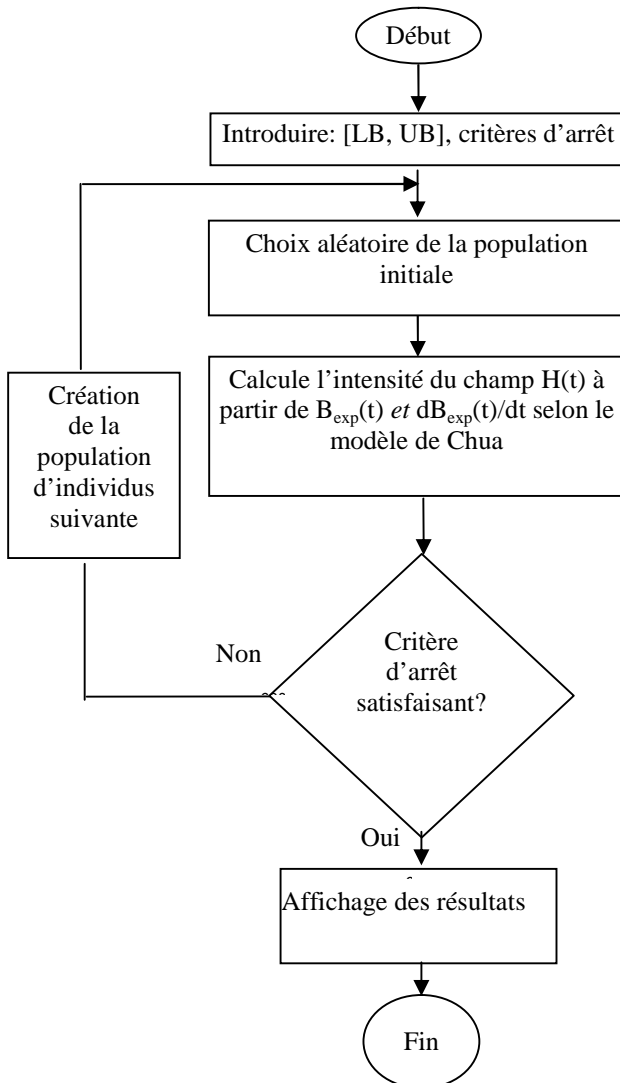


Fig. 6 Organigramme d'identification des paramètres du modèle de Chua par A.G.

VI. PROCEDURE D'IDENTIFICATION PAR LA METHODE DES MOINDRES CARRES (MC)

La procédure d'optimisation consiste à varier les paramètres et contrôler le LSE (Least Square Error) entre les points expérimentaux et les points calculés par le modèle selon l'organigramme de la Fig.7

Premièrement, on choisit le vecteur paramètre initial P_0 .

Deuxièmement, on calcule le champ $H(t)$ à partir de la densité magnétique mesurée $B_{exp}(t)$.

Finalement, on évalue l'écart quadratique entre les valeurs calculées $H(t)$ et les valeurs mesurées du champ magnétique $H_{exp}(t)$.

Si l'erreur est acceptable, le programme est arrêté et les résultats sont affichés. Si non, on recalcule l'intensité du champ pour un autre vecteur paramètre.

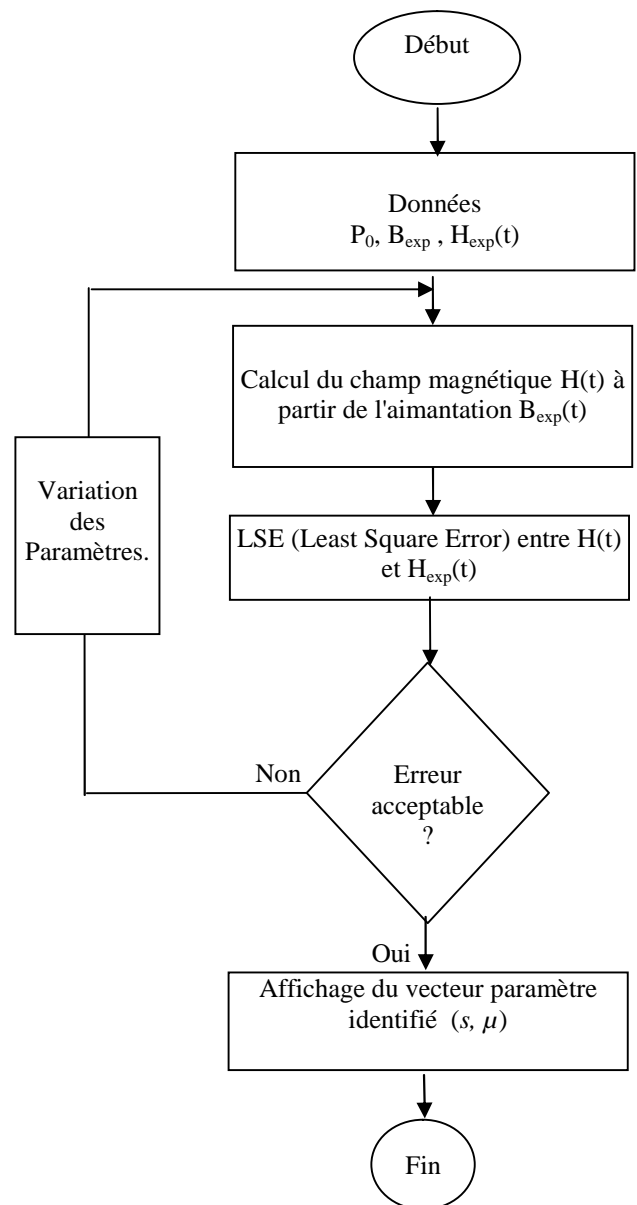


Fig. 7 Organigramme d'identification des paramètres du modèle de Chua par M.C

VII. METHODE HYBRIDE COMBINEE PAR LES ALGORITHMES GENETIQUES ET LES MOINDRES CARRES

La méthode Hybride consiste à combiner deux types de méthodes: une stochastique (Algorithmes Génétiques), pour une recherche globale et la localisation de la niche de l'optimum global, et une déterministe (Moindres Carrés) pour bien exploiter cette niche pour déterminer avec précision l'optimum global.

VIII. RESULTATS DE SIMULATION

Les figures 8 et 9 représentent les allures des deux paramètres de Chua μ et s , qui sont identifiés par les méthodes utilisées, [7].

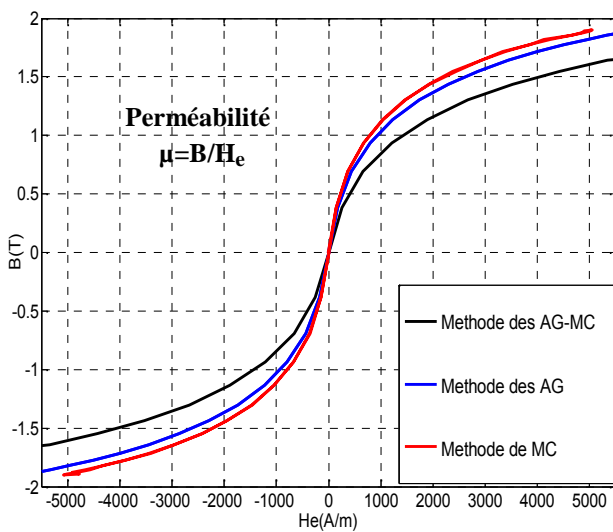


Fig. 8 Allure de la perméabilité (μ)

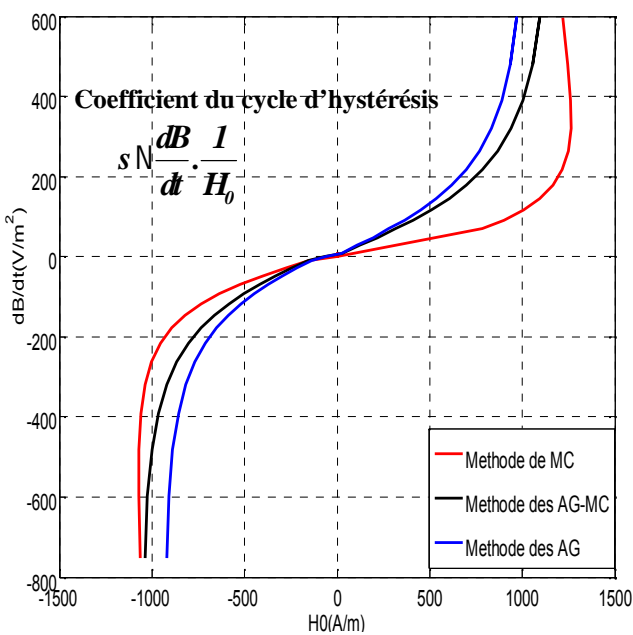


Fig. 9 Allure du coefficient de l'hystérésis (s)

Pour la validation des paramètres obtenus, on a superposé sur les figures 10, 11 et 12, le cycle expérimental et le cycle obtenu par la simulation à partir des paramètres identifiés. Cette superposition montre le degré de corrélation des cycles identifiés par les méthodes utilisées.

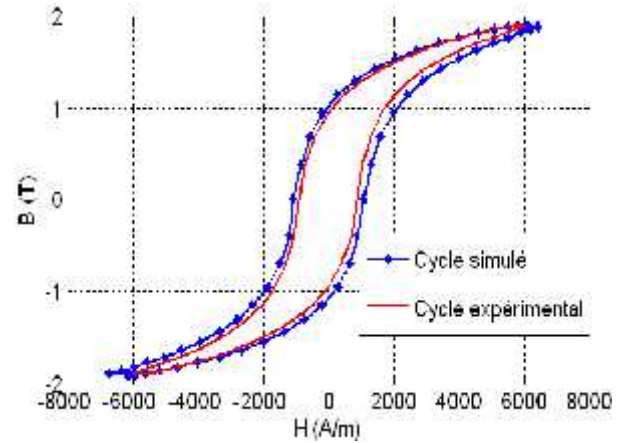


Fig. 10 Comparaison des cycles simulé par MC et expérimental

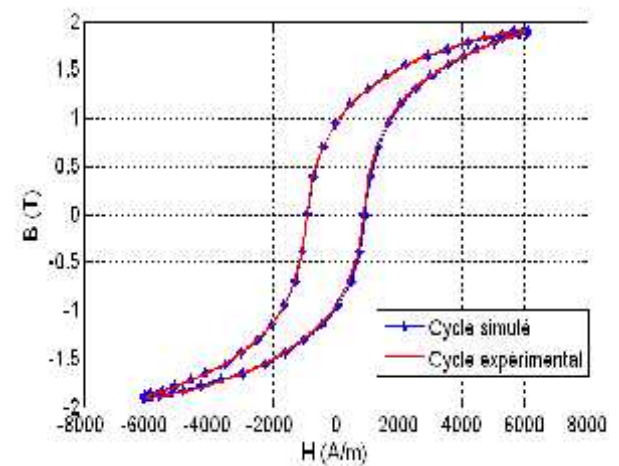


Fig. 11 Comparaison des cycles simulé par AG et expérimental

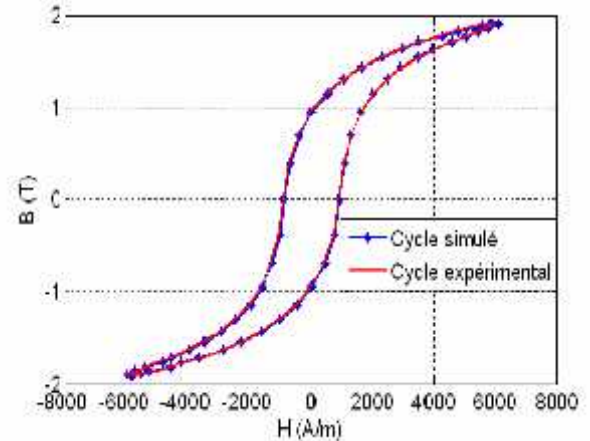


Fig. 12 Comparaison des cycles simulé par méthode hybride (AG-MC) et expérimental

IX. ETUDE COMPARATIVE

Pour établir la comparaison des deux méthodes utilisées pour l'identification des paramètres du modèle de Chua, on a effectué un calcul d'erreur relative moyenne commise à travers tous les points du cycle et on a déterminé le temps d'exécution pour les trois méthodes utilisées. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 2 et l'évolution de l'erreur obtenue pour chaque méthode est représentée sur la Fig. 13, [7].

Tableau 2: Comparaison entre le cycle mesuré et le cycle simulé

Méthodes	Erreurs relatives Moyennes (%)	Temps d'exécution (s)
MC	1.35	18
AGs	1.05	80
Hybride AG-MC	0.25	97

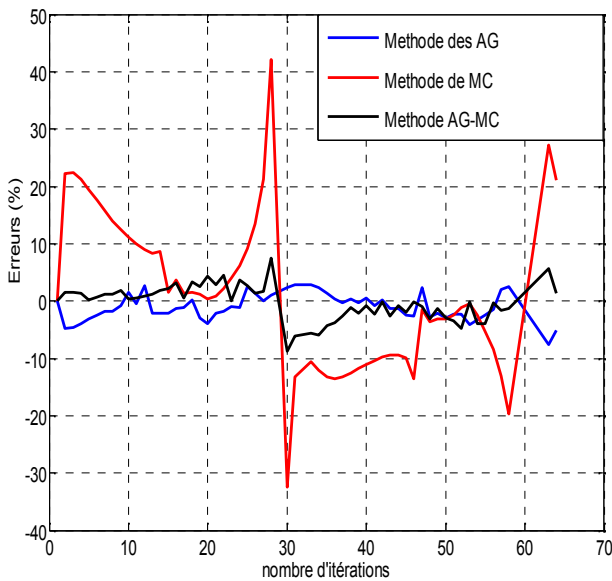


Fig.13 Erreurs entre le champ mesuré et le champ simulé par les méthodes utilisées AG, MC et AG-MC

X. INTERPRETATION

D'après le tableau 2, on peut noter que :

- L'erreur moyenne obtenue par la méthode déterministe (MC) est plus grande par rapport à celle de la méthode stochastique (AG).
- Les résultats obtenus par la méthode stochastique de type AG sont acceptables. Comme on s'y attendait, on constate d'excellentes propriétés d'exploration de l'espace de recherche.
- Les méthodes stochastiques présentent plus d'intérêt par rapport aux méthodes déterministes du point de vue pouvoir de localisation de l'optimum global du problème.

- L'erreur moyenne la plus faible est celle obtenue par la méthode hybride (AG-MC). Cela veut dire que les paramètres identifiés par cette approche sont meilleurs par rapport aux paramètres des deux autres méthodes appliquées séparément. Elle reproduit le cycle le plus proche du cycle expérimental.

XI. CONCLUSION

D'après des résultats encourageants obtenus, on constate que les méthodes stochastiques explorent bien l'espace de recherche pour converger vers la niche de l'optimum global, par contre les méthodes déterministes exploitent bien l'espace de recherche mais la convergence est locale.

Afin d'aboutir à un résultat meilleur, on a combiné deux types de méthodes : une stochastique, pour une recherche globale et la localisation de la niche de l'optimum global; et une déterministe pour bien exploiter cette niche pour déterminer avec précision l'optimum global.

Nous avons examiné une combinaison des algorithmes génétiques et de Moindres Carrés. Dans une première phase, les AG explorent l'espace de recherche dans le but de découvrir des sous-espaces susceptibles de contenir un minimum global et de fournir une meilleure solution, à savoir une solution située à l'intérieur du creux d'attraction du minimum global; dans une seconde phase, la méthode de Moindres Carrés utilise la meilleure solution fournie par les AG comme estimation initiale et poursuit la recherche suivant son propre mode d'exploitation.

La comparaison des performances de méthodes utilisées montre que la méthode hybride (AG et MC) est la mieux adaptée car elle permet de produire un cycle symétrique le plus superposable au cycle expérimental de référence avec une erreur relative moyenne minimale (0.25%).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] B. Khadidja, "Etude et Conception de Structures Electromagnétiques Utilisant des Matériaux Composites Fer - Résine", Université de Batna. Thèse de Magister, 2006.
- [2] A. Ivanyi, "Hysteresis Models in Electromagnetic Computation", Edition Academia Kiado, Budapest, Hungary, 1997.
- [3] Y. Saito, S. Hayano, T. Yamamura and N. Tsuya, "A Representation of Magnetic Hysteresis", IEEE Transactions on Magnetic, Vol. 20, No 5, Feb. 1984. pp. 1434-1436.
- [4] Y. Saito, M. Namiki and S. Hayano, "A Representation of Magnetization Characteristics and its Application to the Ferroresonance Circuits", University Tokyo, Japan, May 1990.
- [5] Y. Saito, "Three-dimensional Analysis of Magneto-dynamic Fields in Electromagnetic Devices Taken into Account the Dynamic Hysteresis Loops", IEEE Transactions on Magnetic, Vol. 18, N° 5, Feb 1982, pp. 546-551.
- [6] A. Miouat, "Identification et Optimisation Paramétrique et Quantification des Pertes dans les Matériaux Ferromagnétiques Doux", Université de Batna. Thèse de Magister 2005
- [7] A. Belkebir, "Modélisation et Identification Paramétrique de l'hystérésis Magnétique, Modèle de L. O. CHUA", Université de Batna. Thèse de Magister, 2006.