



HAL
open science

Etude Expérimentale du Diagnostic des Défauts Statoriques et Rotoriques de la Machine à Induction en Boucle Ouverte en utilisant la Transformé de Fourier

Younes Azzoug, Arezki Menacer, Tarek Ameid, Hakima Cherif

► **To cite this version:**

Younes Azzoug, Arezki Menacer, Tarek Ameid, Hakima Cherif. Etude Expérimentale du Diagnostic des Défauts Statoriques et Rotoriques de la Machine à Induction en Boucle Ouverte en utilisant la Transformé de Fourier. 4th International Conference on Maintenance and Industrial Safety CIMSI'2017, Nov 2017, Skikda, Algérie. hal-04294417

HAL Id: hal-04294417

<https://univ-artois.hal.science/hal-04294417v1>

Submitted on 19 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

Etude Expérimentale du Diagnostic des Défauts Statoriques et Rotoriques de la Machine à Induction en Boucle Ouverte en utilisant la Transformé de Fourier

Y. AZZOUG A. MENACER T.AMEID and H. CHERIF

Département de Génie Electrique. Laboratoire de Génie Electrique de Biskra (LGEB)
Université de Biskra, Algérie

azzougyounes@yahoo.fr, menacer_arezki@hotmail.com, tarek-gnr@hotmail.fr, hakima.hakima5@gmail.com

Abstract— L'objectif principal de cet article est le diagnostic et la détection de la présence de défaut de casseur de barre et du court-circuit entre spires des enroulements statorique à travers la Transformé de Fourier basant sur l'analyse de la signature du courant du moteur dans des états sains et défectueux. les différents défauts présentés dans cette étude ont été réalisés au niveau du laboratoire. Les résultats sont obtenus expérimentalement à travers la carte dSpace 1104, ils ont été analysés en utilisant la FFT afin de trouver les signatures des défauts. Grâce à l'analyse spectrale des différents signaux, il a été possible de remédier au problème de confusion entre les types de défauts au-dessus.

Mots clés —Machine asynchrone; diagnostic des défauts; FFT; casseur de barre; court-circuit interne

I. INTRODUCTION

La machine asynchrone triphasée est largement utilisée dans l'industrie en particulier dans les secteurs de pointe tel que l'aéronautique, le nucléaire, la chimie et encore les transports ferroviaires même routières. Sa simplicité de construction, ses faibles coûts d'achat et d'entretien, sa robustesse, ses performances élevées et sa fiabilité remarquable sont tous des d'avantages qui convainquent les industriels à utiliser ce type des machines.

Pendant le fonctionnement, ces machines font face à diverses contraintes, ces contraintes peuvent causer certains défauts, c'est pourquoi les chaînes de productions doivent être équipées par des systèmes de détection des défauts et de diagnostic efficaces permettant de détecter n'importe quel défaut [1], car une quelconque défaillance, même la plus anodine peut mener à un dommage matériel ou corporel inévitable.

Les méthodes de diagnostic sont nombreuses et variées, elles correspondent à la diversité des problèmes rencontrés. Il existe deux approches: approche sans modèle [2], [3], [4], [5] et approche avec modèle [6], [7]. Dans cet article, on s'intéresse à la première approche.

Bien que la machine asynchrone soit réputée robuste, elle peut parfois présenter différents types de défauts, ces défauts peuvent être soit d'origine électrique, soit d'origine mécanique. Pendant la fabrication, un problème minime peut

être l'origine d'un défaut ainsi que une utilisation non convenable de la machine. Parfois, nous pouvons aussi accuser l'environnement de son fonctionnement (milieu corrosifs et/ou chimique hostiles)[8]. Selon les enquêtes publiées, les défauts des moteurs à induction sont nombreux tel que les défauts liés aux roulements (40%), les courts circuits statorique (38%), les défauts rotorique (10%) et d'autres défauts tels que les défauts des anneaux des extrémités (12 %) [9].

Étant donné que les défauts de casseur de barre rotorique et le court circuit statorique sont réalisables au laboratoire, ce travail s'attend sur le diagnostic de ces deux défaillances. Cet article présente l'application de la transformation de Fourier rapide (sigle anglais : FFT ou Fast Fourier Transform) pour la détection de la présence de défaut de barres cassées au niveau du rotor, et le court circuit entre spires des enroulements du stator basant sur l'analyse du courant statorique et la vitesse de rotation du moteur dans différents états (sain et avec défaut) de la machine asynchrone [10]. La procédure consiste à évaluer l'amplitude relative des harmoniques des signaux qui apparaissent à cause des défauts, l'avantage de cette technique se résume dans sa simplicité d'implémentation pour des fréquences fixes comme les machines connectées au réseau.

II. TRANSFORMÉE DE FOURIER (FFT)

La défaillance de la machine à induction provoque l'apparition et/ou la modification d'harmoniques au niveau des spectres des signaux, la Transformée de Fourier (FFT) est une méthode non paramétrique dédiée à l'analyse des phénomènes stationnaires.

La composante à la fréquence f d'un signal temporel $x(t)$ s'exprime par :

$$x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (1)$$

L'analyse d'un signal se fait sur un intervalle connu, ce qui engendre la nécessité de choix d'une fenêtre de pondération pour l'analyse (fenêtre de Blackmann, de Hanning,...), plus la taille de la fenêtre qui aura une influence sur la résolution.

Par contre, la FFT nécessite un volume de calcul important et présente des limites en lors de l'analyse en régime transitoire, car elle est utilisée pour l'analyse en régime permanent.

III. LES DEFAUTS ETUDIER

A. Rupture de barre (s) rotorique

Ce défaut présente la particularité d'être progressive et partielle. Il s'agit d'un phénomène à évolution lente ce qui permet de poursuivre l'exploitation de la machine sans arrêt, ce qui le rend difficile à détecter. Les ruptures de barres sont essentiellement liées à des erreurs d'exploitation, ou à des défauts de fabrication.

Le rotor avec ce défaut crée un champ inverse $-g\omega_s$ au champ rotorique directe $g\omega_s$, l'interaction de ces champs avec celui issu du bobinage statorique donne naissance des composantes de fréquence $2g\omega_s$ dans le couple électromagnétique.

Ce pendant, si un défaut de rupture de barre apparue, des harmoniques de flux sont produit et induisent des harmoniques de courant dans l'enroulement statorique aux fréquences :

$$f = (1 \pm 2.n.g) f_s \quad (2)$$

Avec

n: 1,2,3,...

g: glissement

f_s : fréquence d'alimentation statorique

Si le nombre des barres défailtantes augmente, l'amplitude des raies des bandes latérales du fondamental augmente.

B. Court-circuit statorique

Ces défauts apparaissent souvent au niveau des enroulements statoriques et sont dus à des dépassements de différentes natures. On distingue :

- Court-circuit dans les spires d'une même phase .
- Court-circuit entre phases.
- Coupure d'une phase .
- Défaut du circuit magnétique (rupture de tôles) .

A partir des études théoriques, il a été montré que le courant statorique avait un spectre enrichi par la création d'un court circuit au stator. Les fréquences sont données par la relation :

$$f_{cc} = f_s \left[\frac{n}{p} (1-g) \pm k \right] \quad (3)$$

Avec

n : 1,2,3,...

k : 1,3,5,7,...

g: glissement

f_s : fréquence d'alimentation statorique

p : nombre de paire de pôles

IV. DESCRIPTION DU BANC D'ESSAI

Les essais expérimentaux sont effectués au sein du Laboratoire de Génie Electrique de Biskra (LGEB). Vu que ces défauts sont réalisables, nous avons utilisé quatre machines asynchrones triphasées à cage d'écureuil, l'une pour l'état sain, l'autre pour une barre cassée (Figure 1), la troisième pour deux barres cassées adjacentes (Figure 2) et la dernière pour le défaut de court-circuit entre spires de l'enroulement statorique.

Les Figure1 et Figure 2 montrent la rupture de barre qu'on a réalisée au sein du laboratoire, en forant un petit trou de 3.1 mm de diamètre au niveau de la barre du rotor.



Figure 1. Rotor de la machine asynchrone avec une barre cassée



Figure 2. Rotor de la machine asynchrone avec deux barre cassée adjacentes

Pour effectuer des essais sur le défaut de court-circuit entre spires, une machine a été spécialement rebobinée afin de rajouter des prises supplémentaires. Cinq bornes intermédiaires au niveau de chaque phase ont été sorties en différents points. Ces sorties ont alors été reliées à une plaque à bornes pour pouvoir simuler des courts-circuits d'un nombre donné de spires comme le montre la Figure 3. Cependant, en raison d'éviter la défaillance de tout le système lorsqu'on applique le court-circuit, nous avons utilisé un contacteur qui ouvre ou bien ferme le court-circuit et un Arduino qui génère

une impulsion d'ordre d'ouverture ou de fermeture pour le contacteur.

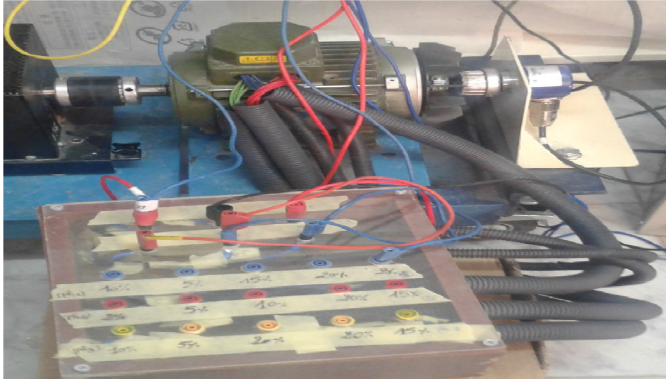


Figure 3. Moteur asynchrone rebobiné pour le défaut de court-circuit

V. RESULTATS EXPERIMENTAUX

L'expérimentation a été réalisée en alimentant un moteur à induction de 1,1 kW, en utilisant Matlab-Simulink et la carte dSpace DS1104. La Fig. 4 illustre le banc d'essai utilisé pour les tests expérimentaux.

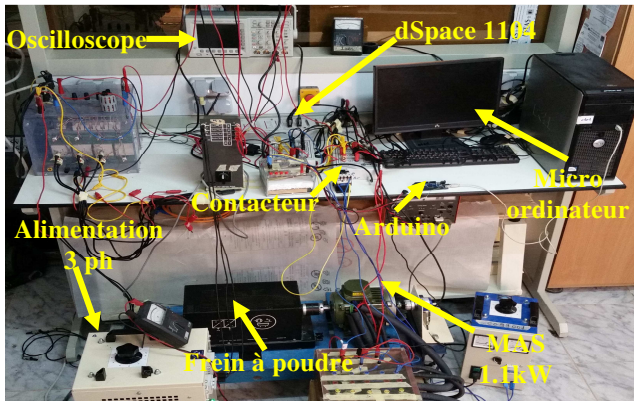


Figure 4. Banc d'essai

Une source de tension de valeur efficace 230 Volt est appliquée aux bornes des trois phases statoriques de la MAS couplées en étoile. Le couple soumis à la machine pour cette étude est de 7 N.m.

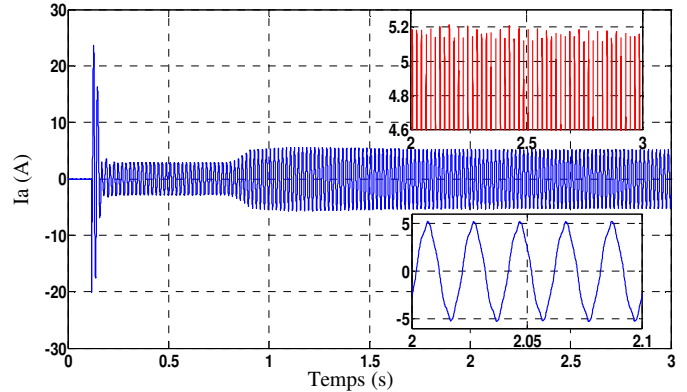
A. défaut de casseur de barre

Fig.4 représente l'évolution du courant absorbé par une phase statorique dans différents états de la machine (sain, une barre cassée et deux barres cassées), le défaut rotorique induit une très légère modulation d'amplitude dans le cas d'une barre cassée comme le montre la Fig. 5b. L'enveloppe de courant absorbé par le moteur dans le cas de deux barres cassées est illustrée dans la Figure 5c, comme nous pouvons le voir, cette modulation reste très faible pour permettre d'effectuer un diagnostic précis sur l'état de la cage rotorique.

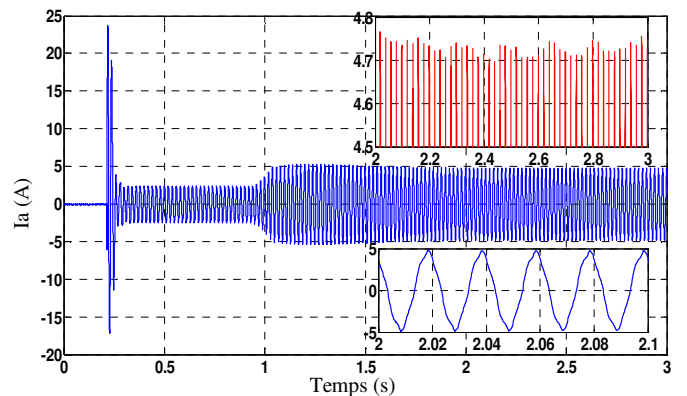
En analysant la Fig. 6 ou nous présentons l'évolution de la vitesse rotorique dans différents états de la machine (sain, une barre cassée et deux barres cassées), nous visualisons une

légère ondulation pour une barre cassée, cette ondulation augmente légèrement dans le cas de deux barres cassées. La variation de vitesse est très faible car elle dépend essentiellement de l'inertie de l'ensemble machine-charge.

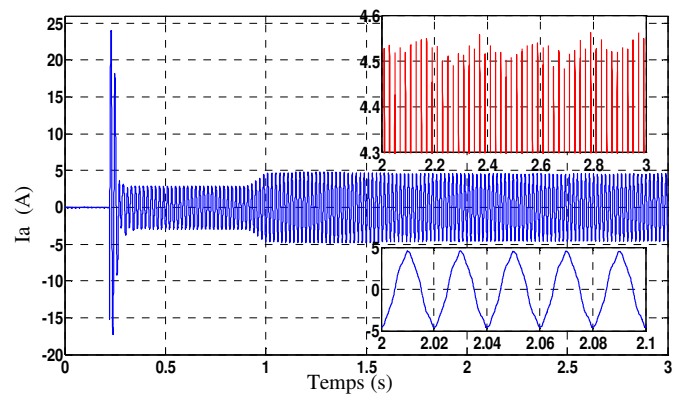
D'après l'analyse précédente, nous pouvons noter que la détection d'une ou plusieurs barres rotoriques défectueuses est très difficile si l'on ne se base que sur l'analyse des signaux temporels. Les signaux tels que le courant statorique ou la vitesse sont riches en harmoniques, une analyse des signaux dans le domaine fréquentiel est donc nécessaire pour visualiser les composantes créées par les ruptures des barres rotoriques.



(a)

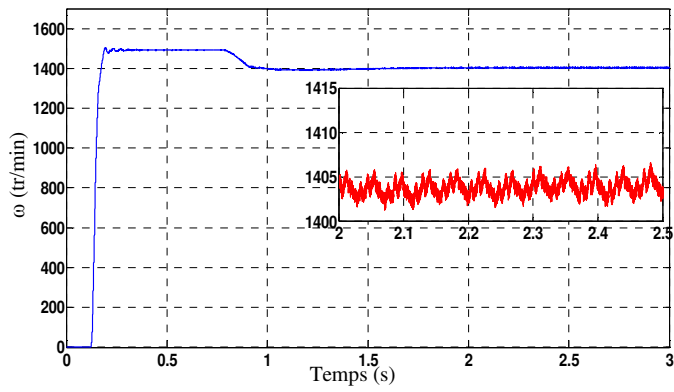


(b)

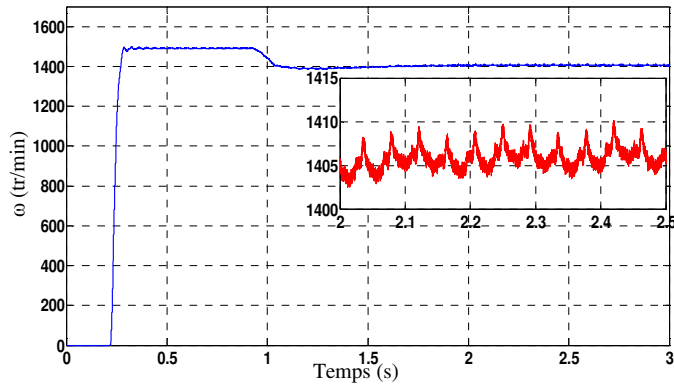


(c)

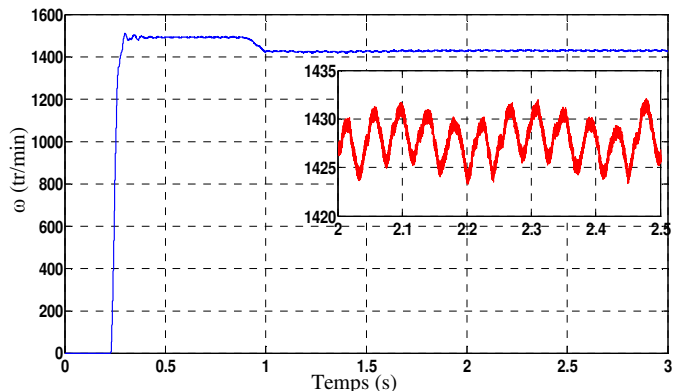
Figure 5. Courant de phase de la MAS : (a) l'état sain, (b) une barre cassée, (c) deux barres cassées



(a)



(b)



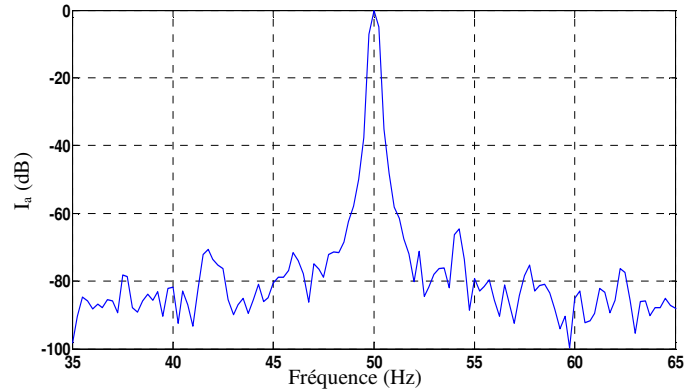
(c)

Figure 6. Vitesse de rotation de la MAS : (a) l'état sain, (b) une barre cassée, (c) deux barres cassées

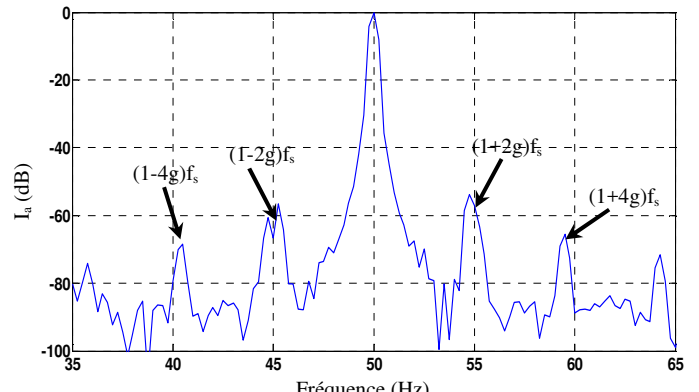
1) Analyse spectral des vecteurs de sortie de la machine

L'analyse spectrale du courant statorique et la vitesse de rotation relève ses composantes supplémentaires qui apparaissent en situation de défaut (Fig. 7b et Fig. 8b). Nous pouvons affirmer que la manifestation des raies $(1 \pm 2.n.g) f_s$ (Tab. I) et $2ngf_s$ (Tab. II) est un signe de l'existence de cassure de barre.

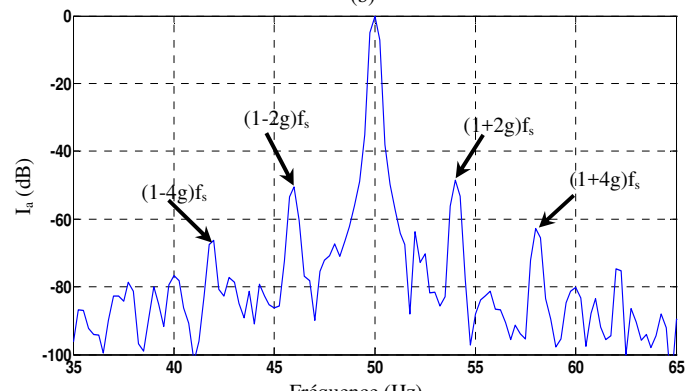
Le degré de sévérité des amplitudes des raies de défaut $(1 \pm 2.n.g) f_s$ (Tab. III) et $2ngf_s$ (Tab. IV) montre l'existence de casseur de deux barres adjacentes (Fig. 7c et Fig. 8c).



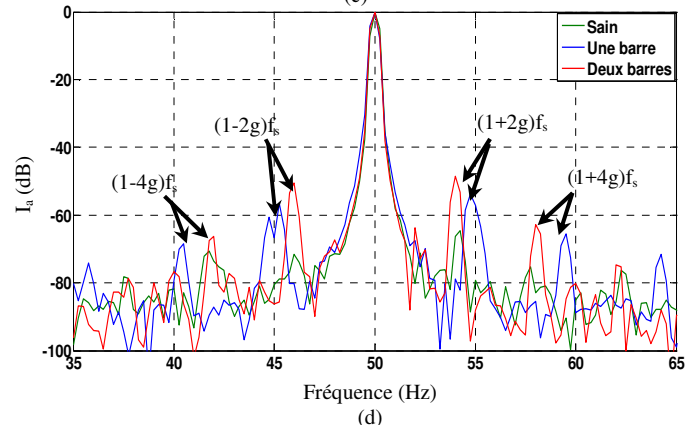
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 7. FFT du courant statorique : (a) l'état sain, (b) une barre cassée, (c) deux barres cassées, (d) comparaison des trois spectres

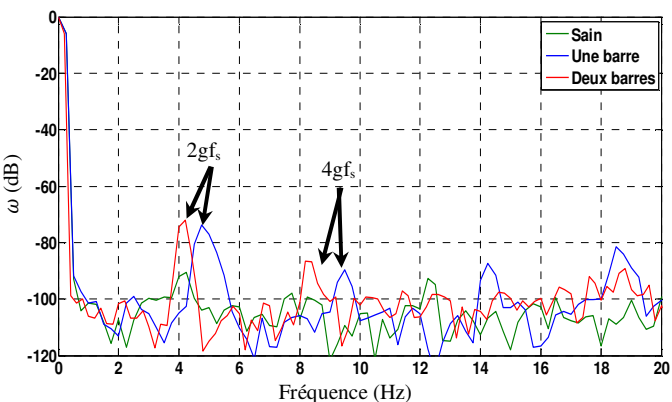
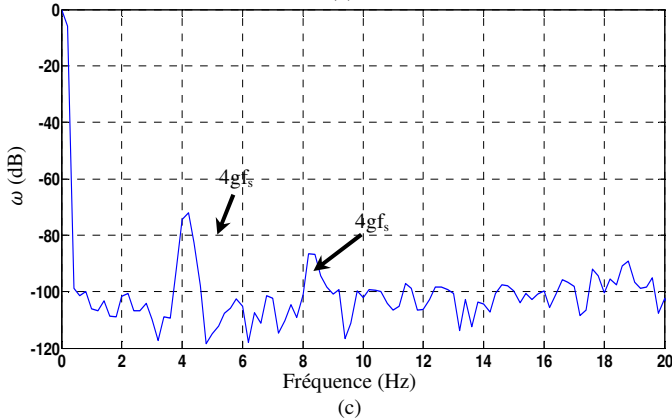
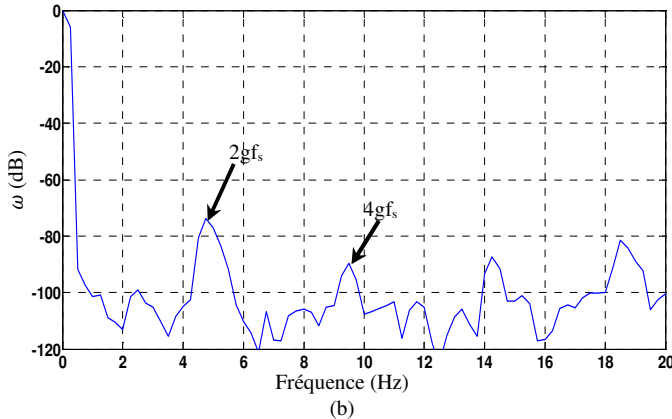
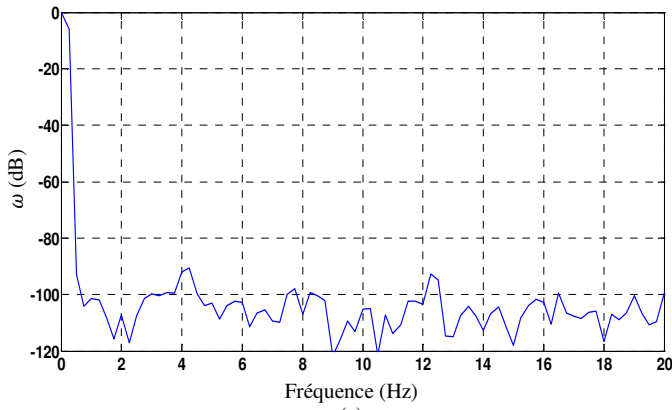


Figure 8. FFT de la vitesse de rotation : (a) l'état sain, (b) une barre cassée, (c) deux barres cassées, (d) comparaison des trois spectres

TABLEAU I. FREQUENCE DE DEFAUT CALCULEE ET DEDUITE DU COURANT STATORIQUE, CAS D'UN DEFAUT D'UNE BARRE CASSEE

$g = 0.048$	$(1-2g)f_s$	$(1-4g)f_s$	$(1+2g)f_s$	$(1+4g)f_s$
$f_{calculées}(\text{Hz})$	45.2	40.4	54.8	59.6
$f_{deduites}(\text{Hz})$	45.25	40.5	54.75	59.5
Amplitude (dB)	-56.49	-68.47	-53.79	-65.53

TABLEAU II. FREQUENCE DE DEFAUT CALCULEE ET DEDUITE DE LA VITESSE DE ROTATION, CAS D'UN DEFAUT D'UNE BARRE CASSEE

$g = 0.048$	$2gf$	$4gf$
$f_{calculées}(\text{Hz})$	4.8	9.6
$f_{deduites}(\text{Hz})$	4.74	9.5
Amplitude (dB)	-73.74	-89.76

TABLEAU III. FREQUENCE DE DEFAUT CALCULEE ET DEDUITE DU COURANT STATORIQUE, CAS D'UN DEFAUT D'UNE BARRE CASSEE

$g = 0.0413$	$(1-2g)f_s$	$(1-4g)f_s$	$(1+2g)f_s$	$(1+4g)f_s$
$f_{calculées}(\text{Hz})$	45.87	41.74	54.13	58.26
$f_{deduites}(\text{Hz})$	46	42	54	58
Amplitude (dB)	-50.42	-66.35	-48.55	-62.84

TABLEAU IV. FREQUENCE DE DEFAUT CALCULEE ET DEDUITE DE LA VITESSE DE ROTATION, CAS D'UN DEFAUT D'UNE BARRE CASSEE

$g = 0.0413$	$2gf$	$4gf$
$f_{calculées}(\text{Hz})$	4.13	8.26
$f_{deduites}(\text{Hz})$	4.2	8.4
Amplitude (dB)	-71.96	-86.79

B. défaut de court-circuit entre spires

La Fig. 9 montre l'évolution des courants absorbés par l'enroulement statorique en plein charge. Lorsqu'on applique un défaut de 5% (10 spires) sur la phase (a) l'amplitude du courant I_a augmente, même les deux autres courants (I_b, I_c) mais pas comme celui de la phase (a).

Il est clairement visible lorsqu'un court-circuit se produit au niveau d'enroulement statorique qu'un courant augmente (la phase de court-circuit) et moins d'augmentation dans les autres phases.

VI. CONCLUSION

Ce travail montre les performances de Transformé de Fourier (FFT) utilisée pour le diagnostic des défauts de casseurs de barres et de court-circuit entre spires des enroulement statorique en boucle ouverte dans le moteur à induction. La détection est basée sur l'analyse spectrale du le courant statorique et la vitesse de rotation, les résultats montrent l'efficacité de la méthode proposée pour ce type de défaillances.

ANNEX

TABLE V. PARAMETRES DE LA MACHINE ASYNCHRONE

Specifications		Parameters	
Puissance nominale [kW]	1.1	R_s [Ω]	6.75
Tension nominale [V]	400	R_r [Ω]	6.21
Courant nominal [A]	2.5	L_s [H]	0.5192
Fréquence [Hz]	50	L_r [H]	0.5192
Nombre de paires de pôles	2	M [H]	0.4957
Vitesse nominale [tr/min]	1450	J [Kg.m^2]	0.0124
		f [Nm.s.rad^{-1}]	0.002

REFERENCES

- [1] M. Sahraoui, "Etude comparative des méthodes de diagnostic des machines asynchrones," *Thèse de Doctorat*, Université de Biskra, 2010.
- [2] A. Menacer, G. Champenois, M. S. Nait Said, A. Benakcha, S. Moreau, and S. Hassaine, "Rotor Failures Diagnosis of Squirrel Cage Induction Motors with Different Supplying Sources," *J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 219–228, Jun. 2009.
- [3] T. Ameid, A. Menacer, H. Talhaoui, and I. Harzelli, "Broken rotor bar fault diagnosis using fast Fourier transform applied to field-oriented control induction machine: simulation and experimental study," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 92, no. 1–4, pp. 917–928, Sep. 2017.
- [4] H. Talhaoui, A. Menacer, A. Kessal, and R. Kechida, "Fast Fourier and discrete wavelet transforms applied to sensorless vector control induction motor for rotor bar faults diagnosis," *ISA Trans.*, vol. 53, no. 5, pp. 1639–1649, Sep. 2014.
- [5] B. Bessam, A. Menacer, M. Boumechraz, and H. Cherif, "Detection of broken rotor bar faults in induction motor at low load using neural network," *ISA Trans.*, vol. 64, pp. 241–246, Sep. 2016.
- [6] M. S. N. Said, M. E. H. Benbouzid, and A. Benchaib, "Detection of broken bars in induction motors using an extended Kalman filter for rotor resistance sensorless estimation," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 15, no. 1, pp. 66–70, Mar. 2000.
- [7] T. Ameid, A. Menacer, H. Talhaoui, and I. Harzelli, "Rotor resistance estimation using Extended Kalman filter and spectral analysis for rotor bar fault diagnosis of sensorless vector control induction motor," *Measurement*, vol. 111, pp. 243–259, Dec. 2017.
- [8] G. Didier, "Modélisation Et Diagnostic De La Machine Asynchrone En Présence De Défaillances," *Thèse de Doctorat*, Université de Henri Poincaré, Nancy I, 2004.
- [9] H. Cherif, A. Menacer, B. Bessam, and R. Kechida, "Stator inter turns fault detection using discrete wavelet transform," in *2015 IEEE 10th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)*, 2015, pp. 138–142.
- [10] R. Kechida, A. Menacer, and H. Talhaoui, "Approach Signal for Rotor Fault Detection in Induction Motors," *J. Fail. Anal. Prev.*, vol. 13, no. 3, pp. 346–352, Jun. 2013.

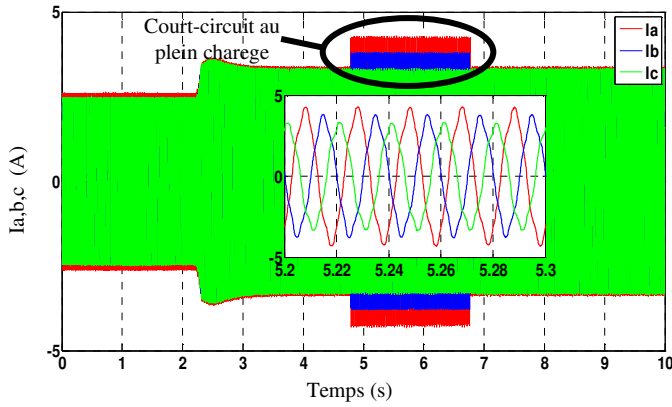


Figure 9. Evolution des courants statoriques en présence de défaut de court-circuit

1) Analyse spectral de courant de court-circuit

La Fig. 10 montre le spectre du courant statorique du moteur en charge avec un court-circuit de 10 spires qu'est introduit lors de fonctionnement en charge de la machine et en régime permanent. Pendant le court-circuit il est clair qu'un certain nombre de fréquences sont influencées en raison de la fréquence de court-circuit ($k = 3$) 174 Hz et ($k = 5$) 274 Hz ce qui correspond à l'Eq (3).

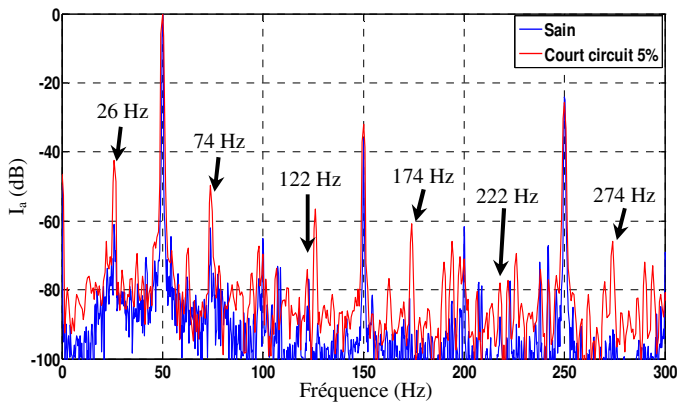


Figure 10. FFT du courant statorique Ia : état sain et défaut de court-circuit