



**HAL**  
open science

# Analyse Spectrale des Défauts Rotoriques sur un Entraînement Electrique par les Vecteurs de Park

Abdelghani Chahmi

► **To cite this version:**

Abdelghani Chahmi. Analyse Spectrale des Défauts Rotoriques sur un Entraînement Electrique par les Vecteurs de Park. JCGE'2015, Jun 2015, cherbourg, France. hal-01388404

**HAL Id: hal-01388404**

**<https://hal.science/hal-01388404v1>**

Submitted on 2 Nov 2016

**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.

# **Analyse Spectrale des Défaits Rotoriques sur un Entraînement Electrique par les Vecteurs de Park**

Abdelghani CHAHMI

Laboratoire de Génie Electrique de Grenoble G2ELab, Université de Grenoble  
Bat Ense3 BP46 F-38402 SMH Cedex, Grenoble, France  
Abdelghani.Chahmi@g2elab.grenoble-inp.fr

**RESUME** – Dans cette étude nous présentons Analyse spectrale du courant statorique appliquée au diagnostic des défauts de barres d'une machine à induction. Les résultats de simulation et expérimentaux obtenus confirment l'intérêt et l'efficacité de la technique employée.

**ABSTRACT** – This paper deals with the application of current spectral analysis to detect rotor's faults. Experiments results are finally performed and illustrate the high performance of the proposed technique.

**MOTS-CLES** – Moteurs Asynchrones (MAS), Diagnostic, Barres Rotoriques, Analyse Spectrale, Courants de PARK.

## **1. Introduction**

Les entraînements électriques utilisent de plus en plus les moteurs asynchrones à cause de leur robustesse, de leur puissance massique et de leur cout. Leur maintenance et leur diagnostic deviennent donc un enjeu économique. Il est important de détecter de manière précoce les défauts qui peuvent apparaître dans ces machines et donc de développer des techniques de diagnostic préventive afin d'éviter la défaillance totale de la machine. Ainsi, un modèle mathématique de la machine basé les fonctions d'enroulements a été développé et a permis d'analyser l'impact des défauts sur le comportement du moteur [2].

Notre approche repose sur la détection des défauts rotoriques par l'emploi de l'analyse spectrale du module des vecteurs de Park. Les simulations du moteur avec défaut, ont permis de mettre en évidence les phénomènes prévus par la théorie ( la présence d'harmoniques caractéristiques pour chaque type de défaut dans le spectre ou la forme des signaux obtenus) et de déceler la présence des défauts.

Les résultats de simulation et expérimentaux obtenus montrent l'intérêt et l'efficacité de la technique proposée pour la détection des défauts rotoriques dans le moteur asynchrone à cage d'écureuil.

## **2. Diagnostic des défauts de barres par d'analyse spectrale des courants de PARK**

Le spectre de fréquence du module des vecteurs de Park contient une composante continue et à la différence du spectre du courant statorique, elle ne contient pas l'harmonique fondamental. Cependant, il existe certains harmoniques résiduels d'amplitude négligeable. L'atténuation de l'harmonique fondamental et les harmoniques de temps favorisent l'identification d'une éventuelle présence d'harmoniques liés aux défauts. Ce dernier se manifeste à une fréquence différente de celle du courant statorique. Ce qui rend facile sa détection.

### 3. Résultats de simulation de la MAS avec défaut de barres

Pour modéliser la machine asynchrone à cage d'écureuil, nous utiliserons l'Approche des Fonctions d'Enroulement (A.F.E) pour le calcul des différentes inductances de la machine, ou l'appellation anglo-saxonne " Winding Function Approche "(W.F.A). Pour donner un modèle physique envisageant tous les modes de fonctionnement de la machine asynchrone. Dans cette méthode, les inductances peuvent être calculées en utilisant A.F.E, en sachant que cela exige une connaissance précise de la forme du bobinage de la machine [1].

Le premier objectif de cette modélisation est de mettre en évidence l'influence des défauts électriques sur les grandeurs temporelles de la machine asynchrone (courants, vitesse, couple, ...). Les résultats obtenus dans le cas de fonctionnement sain seront comparés à ceux avec défaut de barres. Les simulations ont porté sur les cas de fonctionnements suivants :

Fonctionnements du moteur sain,

Fonctionnements du moteur avec une barre rotorique cassée,

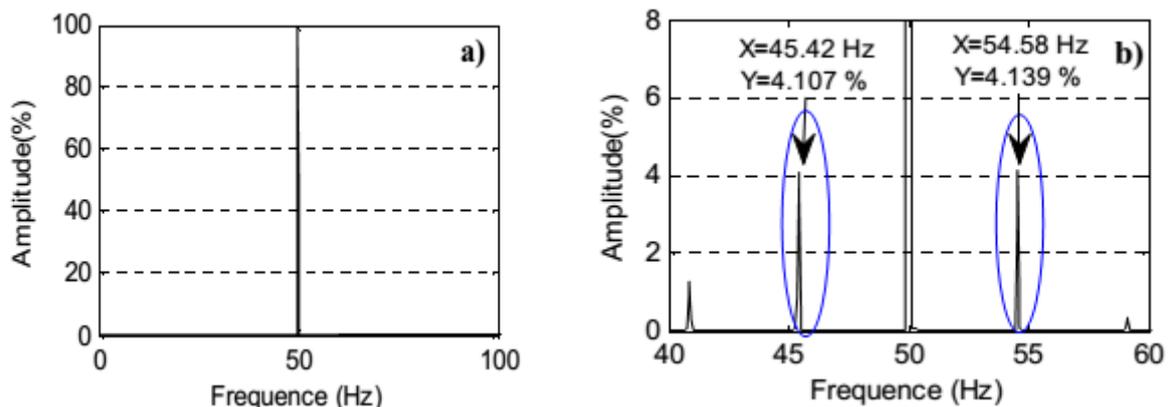
Fonctionnements du moteur avec deux barres rotoriques cassées adjacentes,

Fonctionnements du moteur avec trois barres rotoriques cassées adjacentes,

Fonctionnements du moteur avec quatre barres rotoriques cassées adjacentes.

Pour simuler le modèle mathématique nous avons introduit en simulation le calcul de toutes les inductances du moteur par l'Approche de la Fonction d'Enroulement (AFE) ou la répartition de la FMM est considérée non sinusoïdalement dans l'entrefer. La simulation numérique du modèle mathématique a été réalisée en utilisant le logiciel SIMULINK sous l'environnement MATLAB. Les paramètres du moteur asynchrone utilisés en simulation sont ceux du moteur utilisé dans le banc d'essai.

Les signaux ont été effectués avec une fréquence d'échantillonnage  $F_e=3000$  Hz sur une durée T acquisition = 20 secondes et un nombre d'échantillons égal à  $N_e = 60000$  soit une résolution fréquentielle égale à 0.05 Hz.



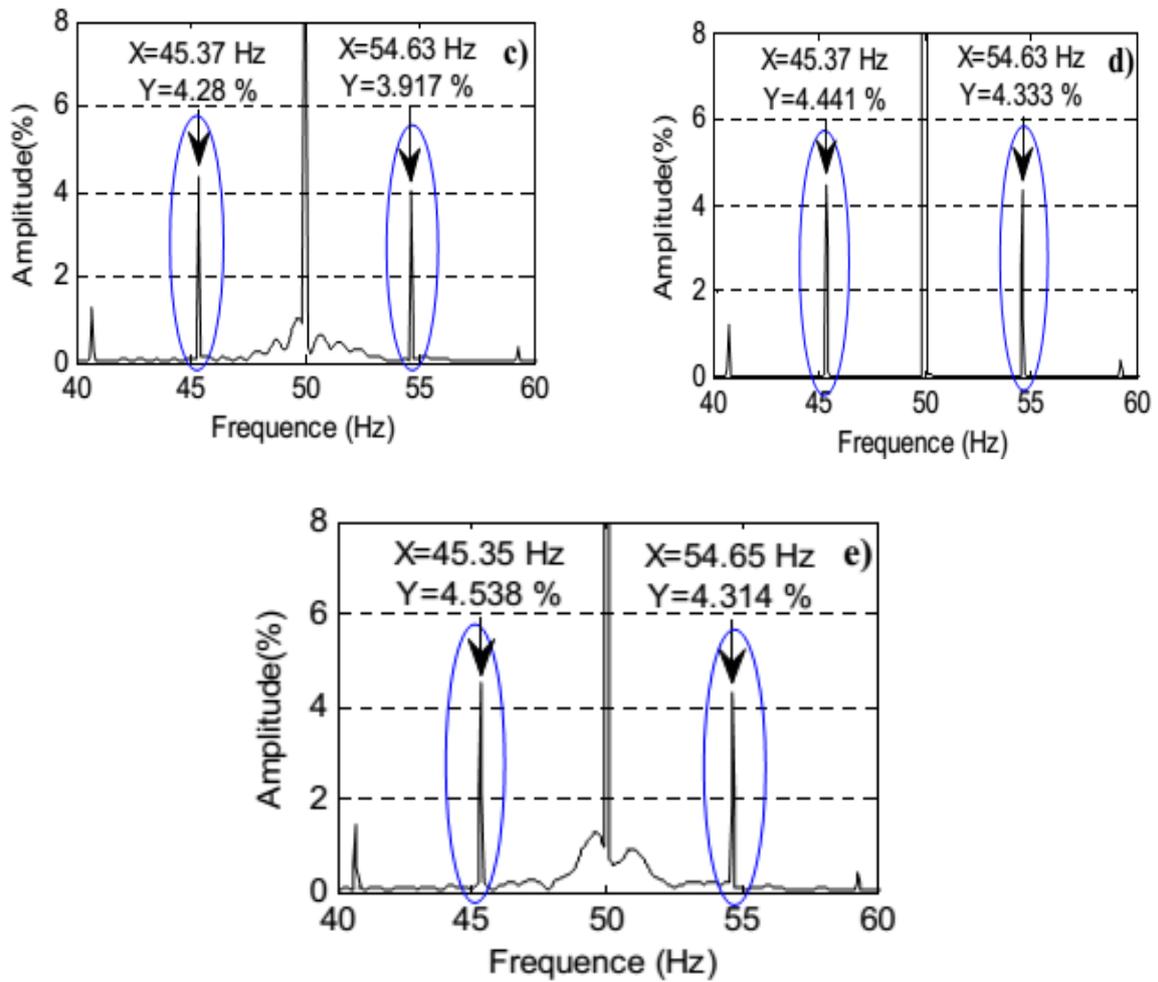
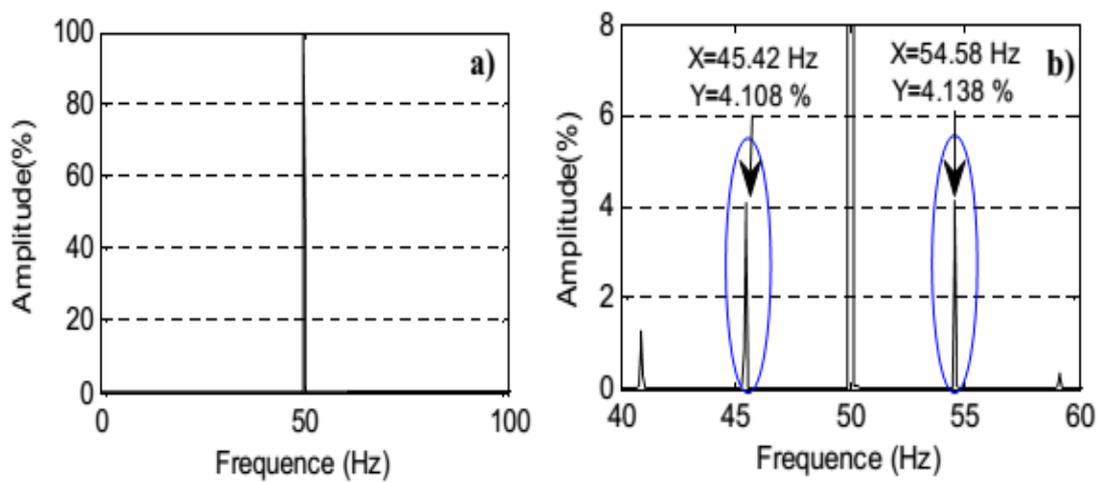


Figure 1: Spectres de la composante directe  $I_{ds}$  : a) sain, b) avec une barre cassée, c) avec 02 barres cassées, d) avec 03 barres cassées et e) avec 04 barres cassées



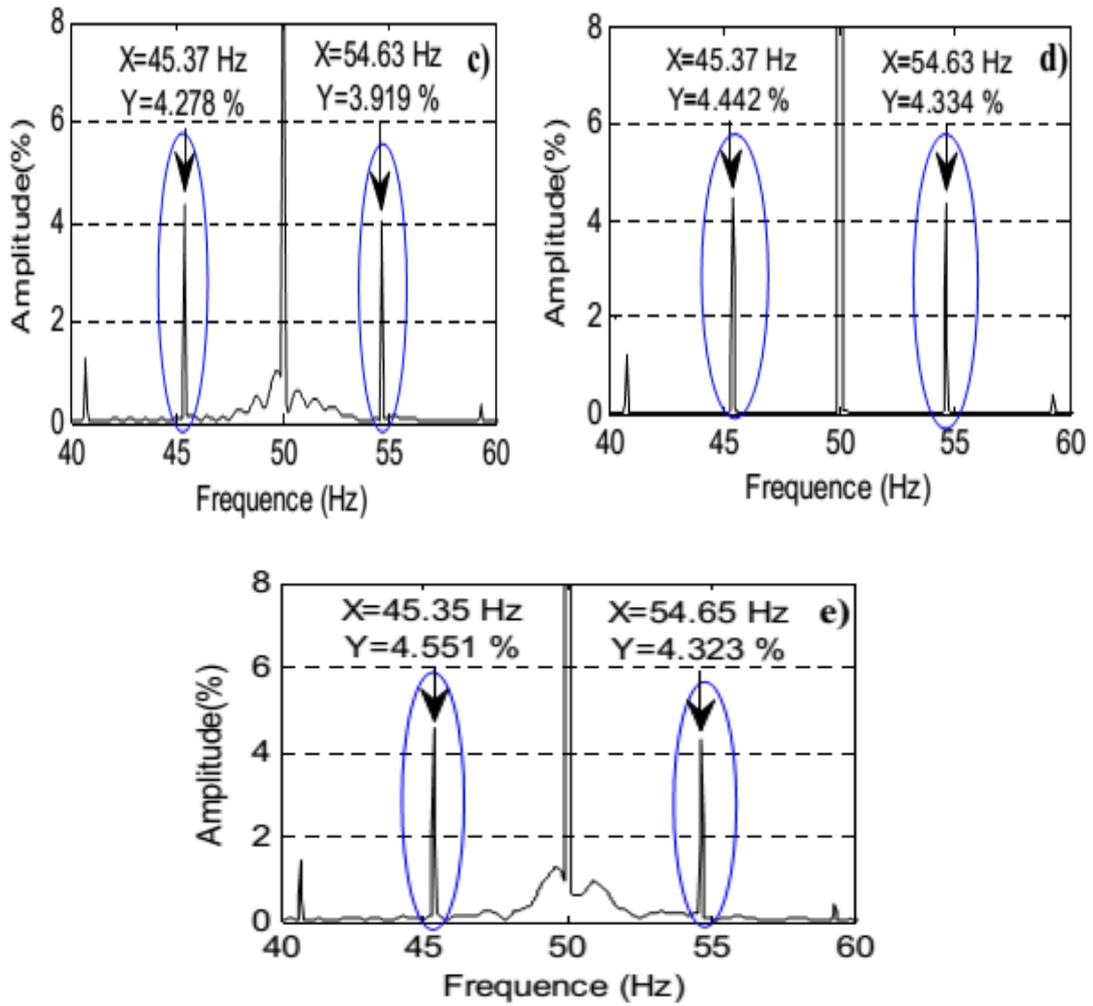
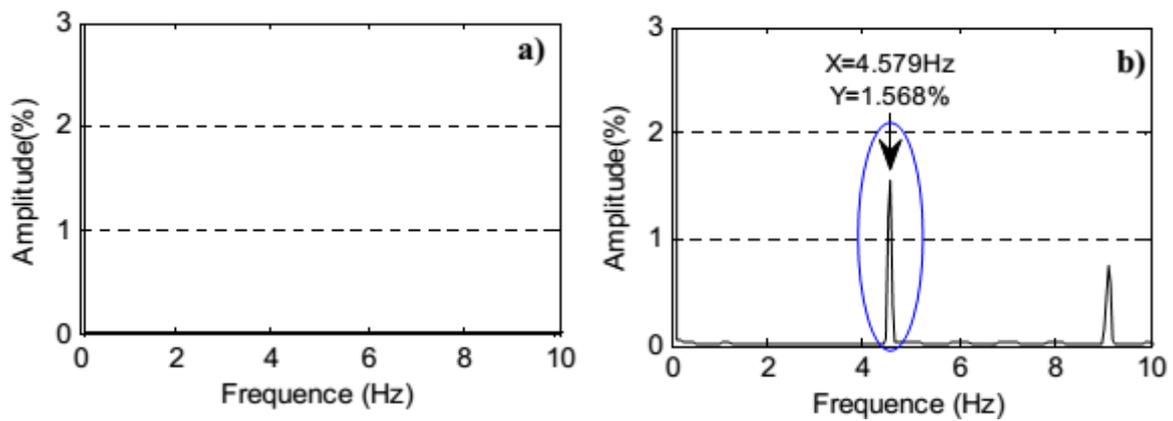


Figure 2: Spectres de la composante quadratique  $I_{qs}$  : a) sain, b) avec une barre cassée, c) avec 02 barres cassées, d) avec 03 barres cassées et e) avec 04 barres cassées



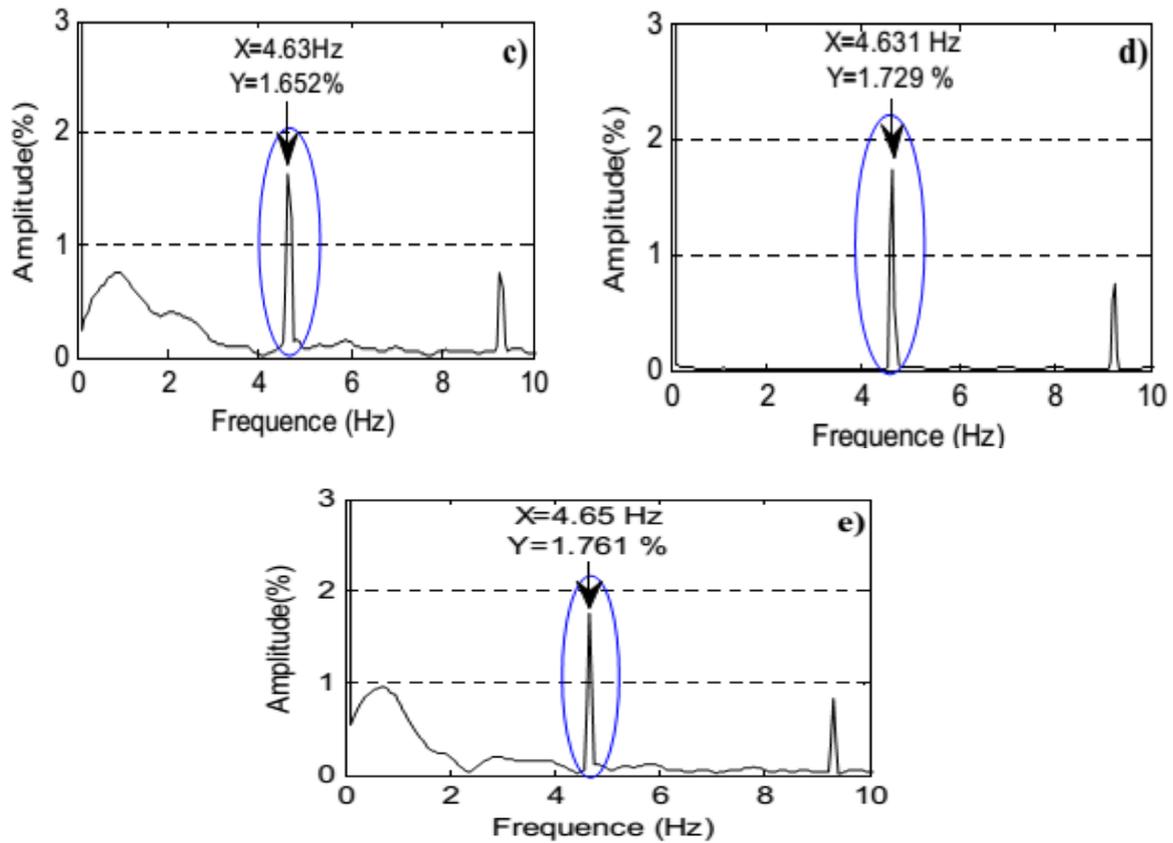


Figure 3 : Spectres du module des courants de Park : a) sain, b) avec une barre cassée, c) avec 02 barres cassées, d) avec 03 barres cassées et e) avec 04 barres cassées

Les figures 1, 2 et 3 représentent respectivement les spectres de la composante directe, composante quadratique et module des vecteurs de Park avec référentiel lié au stator des cas suivants : saine, une barre cassée, deux barres cassées, trois barres cassées et quatre barres cassées adjacentes. Il est clair que les spectres présentés avec défauts sont beaucoup plus riches en harmoniques que ceux issus de l'analyse avec un rotor sain. Cette modification apparaît bien dans la partie basse fréquence. La comparaison de ces spectres et celles du moteur sain, montre nettement que l'origine des harmoniques additionnels est l'apparitions du défaut de barres. De plus nous remarquons l'augmentation des amplitudes de ces harmoniques.

Les fréquences et les amplitudes des harmoniques caractéristiques du défaut de barres obtenus pour les différents cas de fonctionnement du moteur sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Fréquences et amplitudes des harmoniques caractéristiques du défaut pour les différents cas de fonctionnement du moteur				
Etat du moteur	T défaut (HZ)			
	Amplitude (%)			
	$(1-g_2) f$	$I_{ds}$	$I_{qs}$	$M_s$
sain	/	0	0	0
une barre cassée	45,42	4,107	4,108	1,568
02 barres cassées	45,37	4,280	4,278	1,652
03 barres cassées	45,37	4,441	4,442	1,729
04 barres cassées	45,35	4,538	4,551	1,761

### 3.1 Sévérité du défaut de barres

Les figures 4 a et b illustrent respectivement le facteur de sévérité du défaut de barres de la composante directe, composante quadratique, et le module des courants de Park. On remarque que leurs amplitudes augmentent avec la sévérité du défaut. L'augmentation de l'amplitude de l'harmonique caractéristique du défaut de barres n'est pas une fonction linéaire avec degré de défaut.

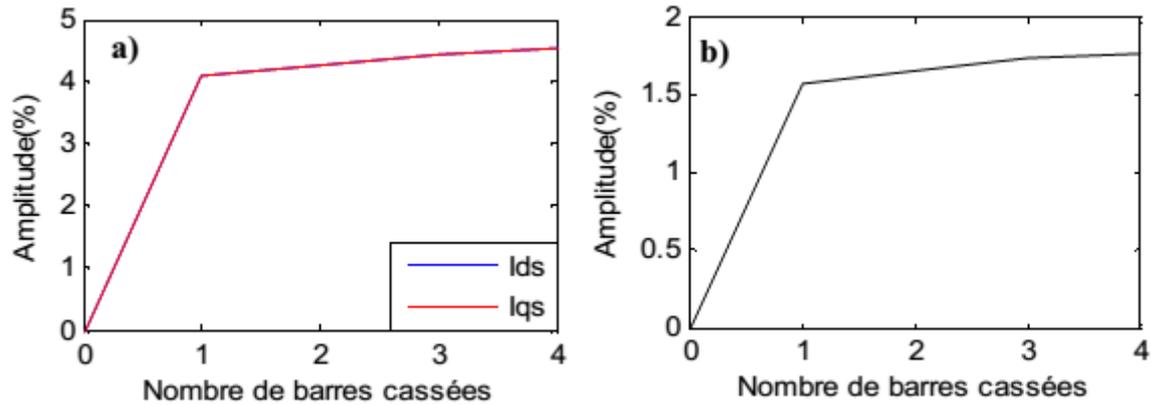


Figure 4 : Le facteur de sévérité avec référentiel lié stator. a) : la composante directe et composante quadratique, b) : le module des courants de Park

## 4. Résultats expérimentaux de la MAS avec défaut de barres

Les principaux essais que nous allons présenter dans cet article sont effectués au laboratoire du département d'électrotechnique. Selon l'élément affecté (barre ou annaux) chaque défaut possède une fréquence caractéristique qui se reflète dans le courant statorique à des fréquences bien déterminé. Le moteur utilisé dans les essais pratiques pour l'étude des défauts de barres est un moteur triphasé de type ENEL, 50Hz, 4 pôles, 3 kW, avec plusieurs rotors de même type qu'on peut les changer selon le nombre de barres cassées. Chacun d'eux est à cage d'écureuil simple avec 28 barres inclinées non isolées et le courant statorique,  $I$  (triangle) = 7 A est accouplé à un générateur à courant continu 2.4 KW formant le banc d'essai.

La chaîne de mesure comporte deux capteurs de courant à effet hall, et une carte d'acquisition. L'ensemble est relié à un PC pour la visualisation et le traitement des signaux captés. La figure 5 illustre la photo du banc d'essai utilisé dans nos travaux expérimentaux. Les acquisitions ont été réalisées en régime permanent avec une fréquence d'échantillonnage  $F_e = 3000$  Hz et avec un temps d'acquisition  $T_{acquisition} = 20$  (s). Dans la résolution spectrale  $\Delta f = 0.05$  Hz.



Figure 5 : Banc d'essai destiné au diagnostic du défaut de barres

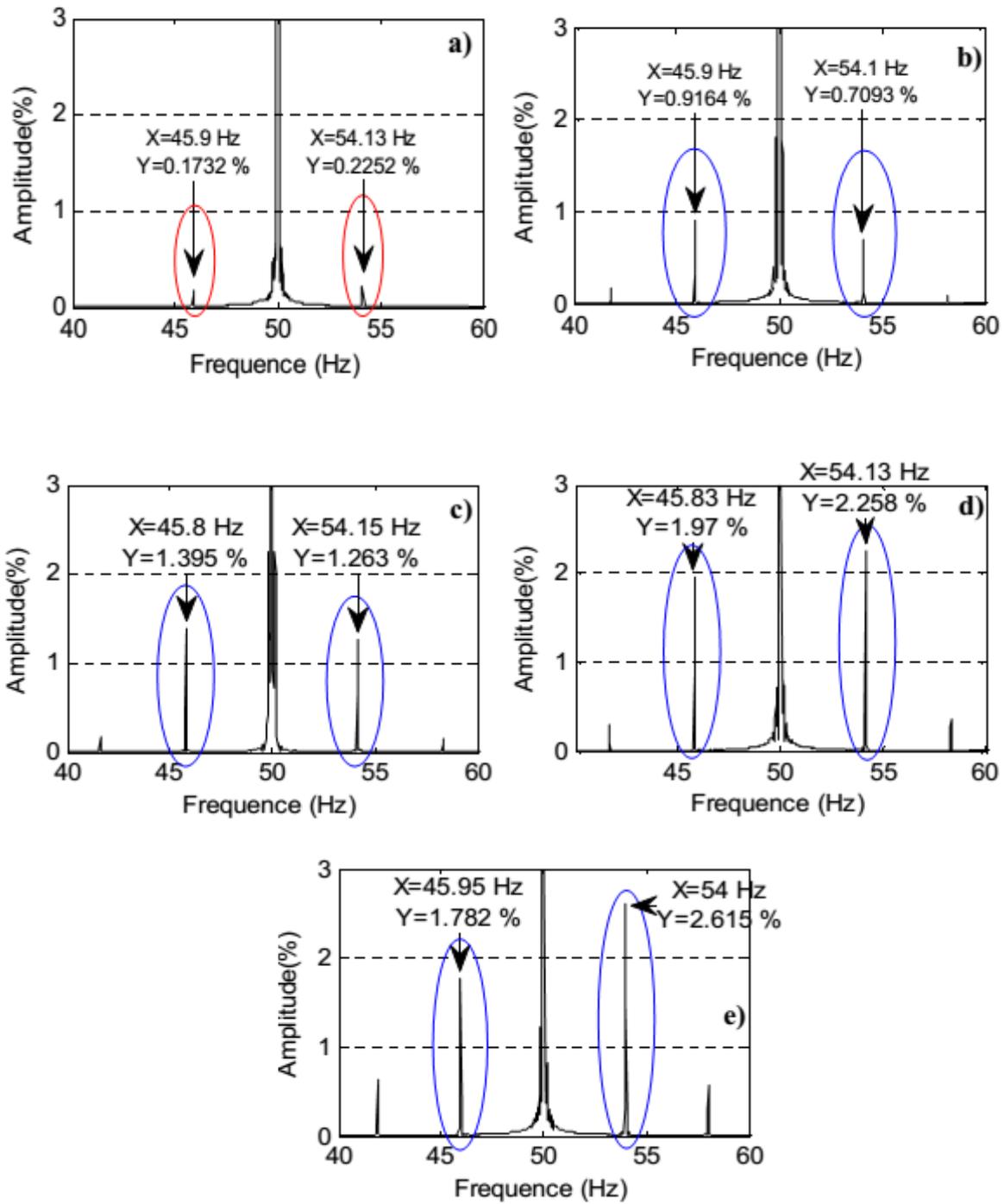


Figure 6: Spectres de la composante directe Ids: a) sain, b) avec une barre cassée, c) avec 02barres cassées, d) avec 03 barres cassées et e) avec 04 barres cassée

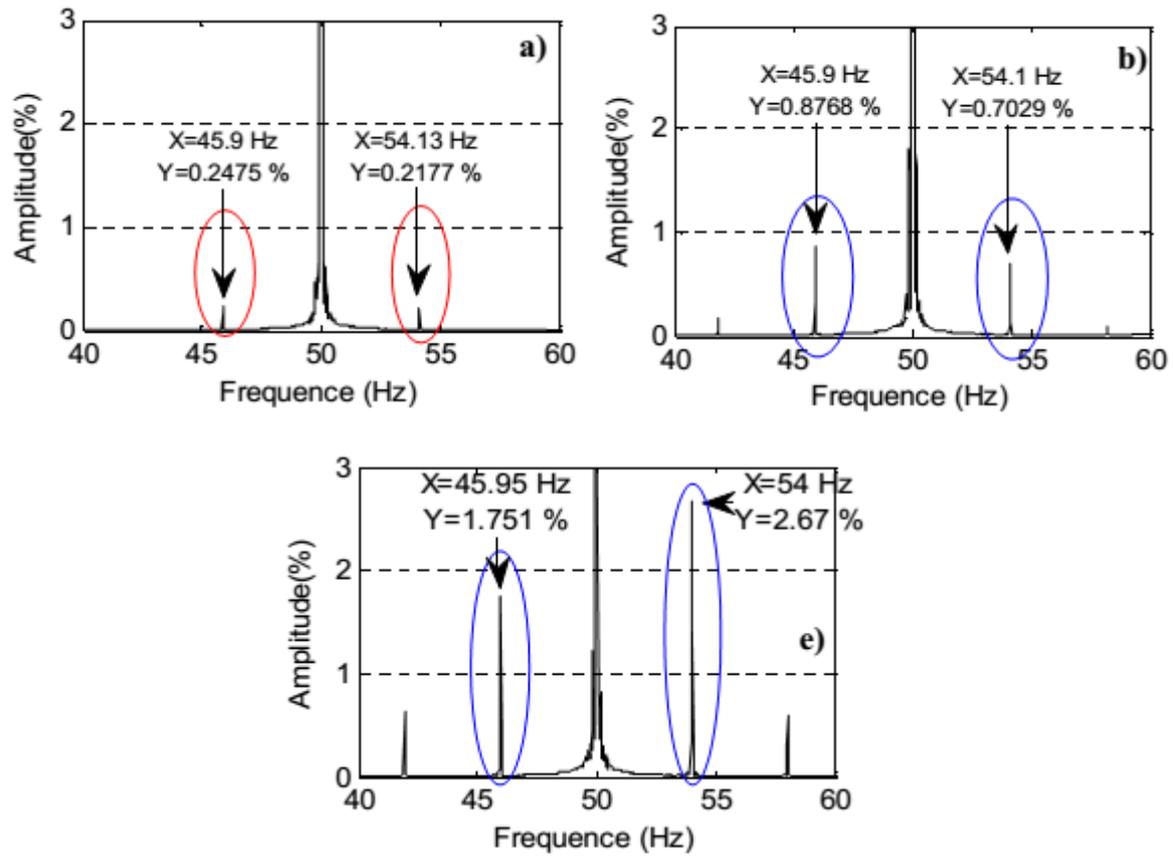
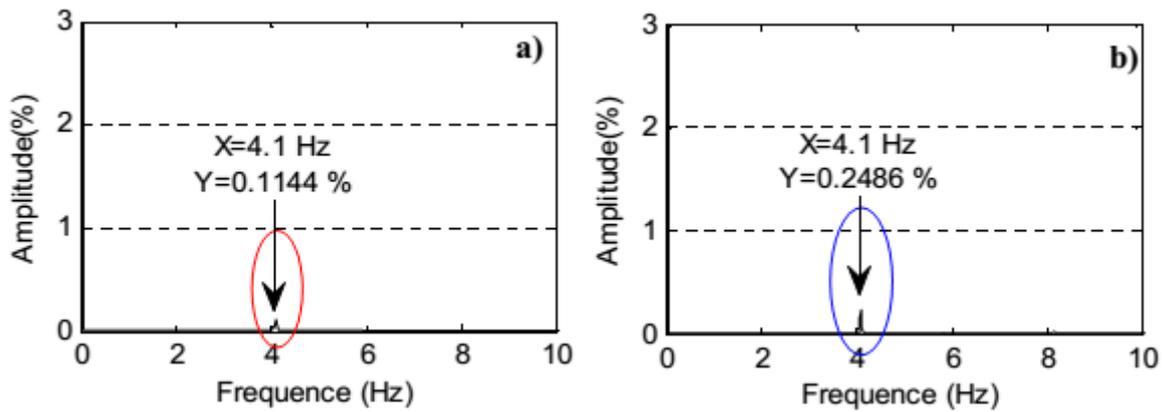


Figure 7: Spectres de la composante quadratique  $I_{qs}$  : a) sain, b) avec une barre cassée, e) avec 04 barres cassées



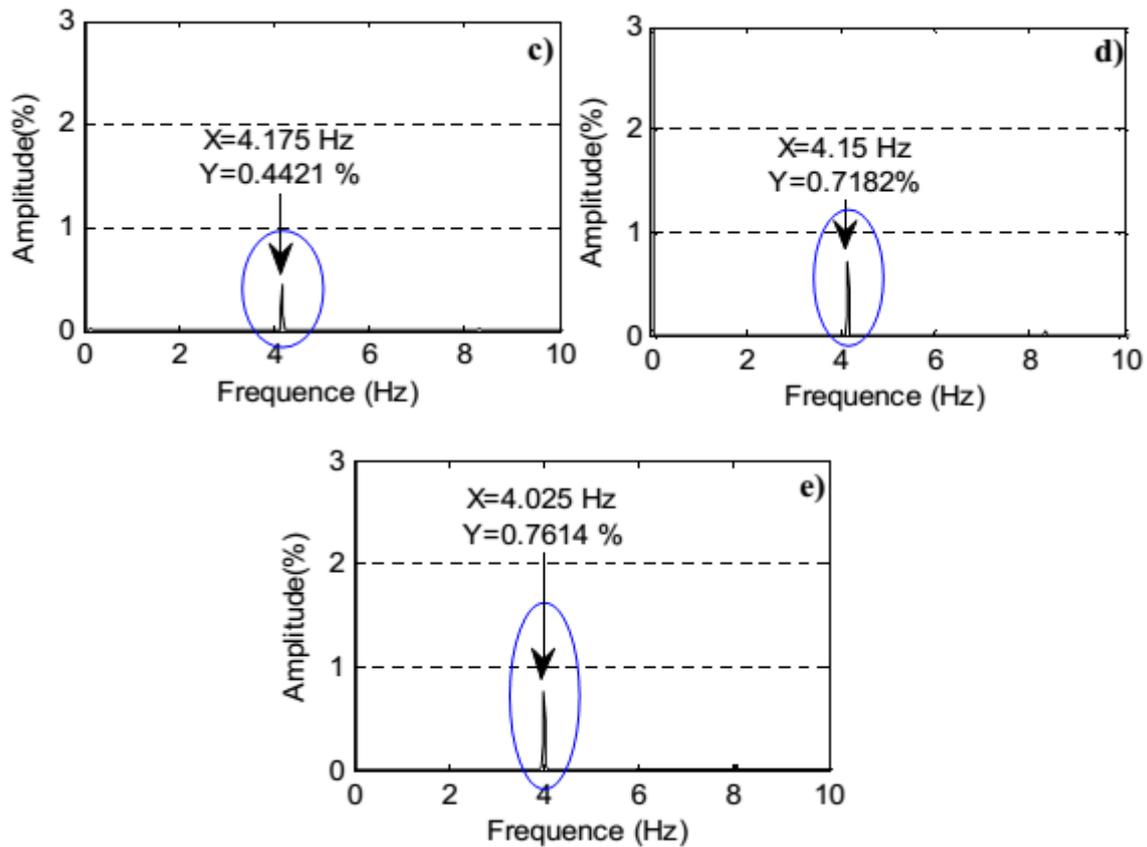


Figure 8: Spectres du module des courants de Park : a) sain, b) avec une barre cassée, c) avec 02 barres cassées, d) avec 03 barres cassées et e) avec 04 barres cassées

La figure 6 7 et 8 illustrent respectivement les spectres de la composante directe, la composante quadratique et module des courants de Park autour la fréquence caractéristique de défaut pour les différents cas de fonctionnement du moteur. On remarque la présence d'harmoniques caractérisant le défaut de barre à la fréquence  $(1-g_2)f$  dans la composante directe et quadrature par contre dans le module l'harmonique caractéristique du défaut de barre apparait à la fréquence  $2gf$ . Nous constatons une augmentation de l'amplitude de l'harmonique caractéristique du défaut avec le degré de sévérité du défaut. Le tableau 2 résume les fréquences et les amplitudes des harmoniques caractéristiques du défaut obtenus pour les différents cas de fonctionnement du moteur.

Tableau 2 : Fréquences et amplitudes des harmoniques caractéristiques du défaut pour les différents cas de fonctionnement du moteur				
Etat du moteur	T défaut (HZ)			
	Amplitude (%)			
	$(1-g_2) f$	$I_{ds}$	$I_{qs}$	$M_s$
sain	45,90	0,1732	0,2475	0,1144
une barre cassée	45,90	0,9164	0,8768	0,2486
02 barres cassées	45,80	1,3950	1,5410	0,4421
03 barres cassées	45,83	1,9700	2,1730	0,7182
04 barres cassées	45,95	1,7820	1,7510	0,7614

## 4.1 Sévérité du défaut de barres

Les figures 9 a, b et c illustrent respectivement le facteur de sévérité du défaut de barres de la composante directe, composante quadratique, et le module des courants de Park avec référentiel lié au stator . Nous constatons que l'amplitude de l'harmonique caractéristique du défaut de barre est proportionnelle avec le degré de sévérité du défaut

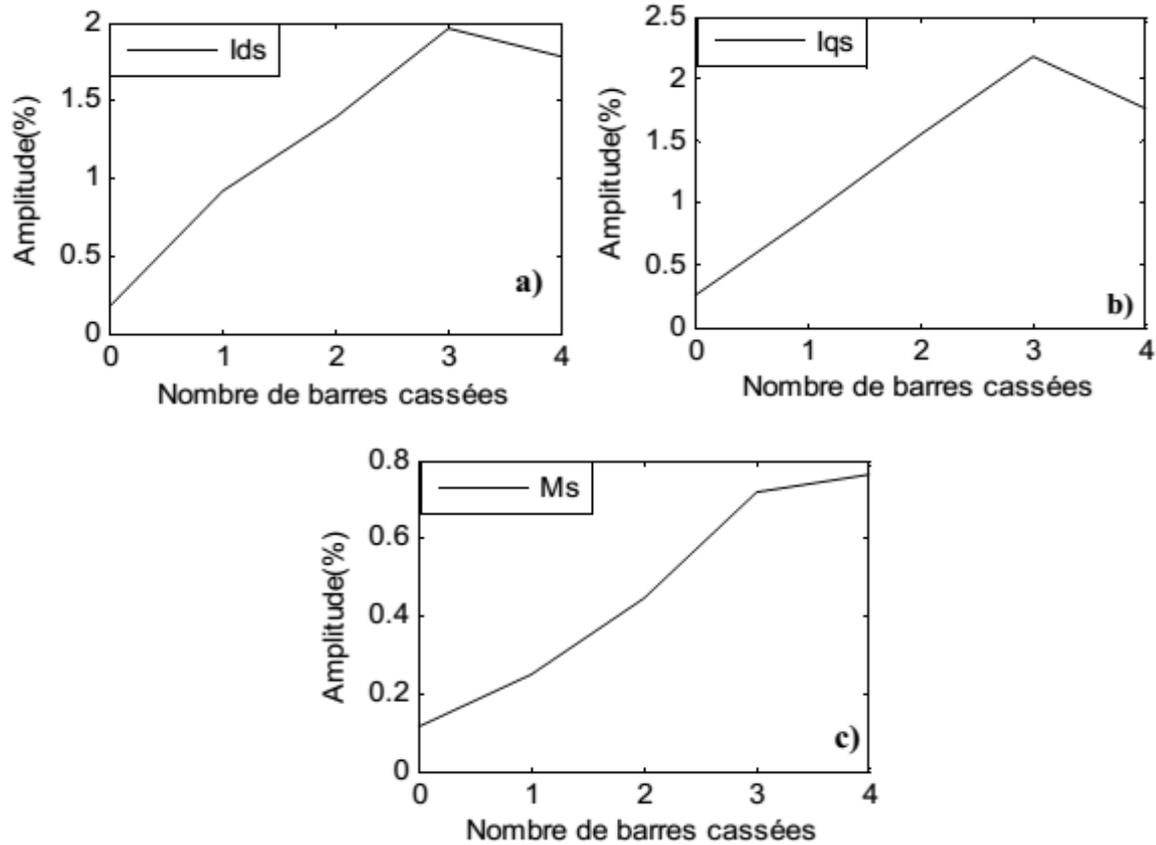


Figure 9 : Facteur de sévérité avec défaut de barres avec référentiel lié au stator. a): composante directe, b) : composante quadratique c) : module des courants de Park

## 5. Conclusion

L'article qui a été présenté dans le cadre du diagnostic par la technique de l'analyse spectrale des courants de PARK pour la détection des défauts rotoriques dans la machine asynchrone à cage d'écureuil, plus précisément les défauts de cassure de barres.

## Références

- [1] S.K.Ahmed, S.Karmakar, M.Mitra, S.Sengupta, "Diagnosis of induction motor faults due to broken rotor bar mass unbalance through discret wavelet transform of starting current at no-load", journal of electrical systems 6-3, pp.442-456, 2010.
- [2] B.M.Ebrahimi, J.Faiz, S.Lotfi-Fard, P.Pillay, "Novel indices for broken rotor bars fault diagnosis in induction motors using wavelet transform", Mechanical Systems and Signal Processing 30, pp.131-145, 2012.
- [3] R.Yan, R.X.Gao, X.Chen, "Wavelets for fault diagnosis of rotary machines: A review with applications", signal processing, article in press, 2013.