

## Apport de bruit de fond dans la détection des défauts dans le moteur asynchrone

*Mavuela Maniansa Richard*

Institut Supérieur Pédagogique et Techniques de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Through an experiment carried out at the ISTA Ndolo Mechanics Laboratory, we want to note that noise, generally considered a disruptive signal in signal processing, can provide useful information in the maintenance Rotating machines. We used an asynchronous engine that we operated it in the Holy State (defect-free) and in the state of progressive defects. The generated signals were recorded and analyzed using LabView and Matlab software, which we were able to show the defect-related change in spectral mapping.

**KEYWORDS:** Noise, signal processing, asynchronous motor, signal acquisition.

**RÉSUMÉ:** A travers une expérimentation effectuée au laboratoire de mécanique de l'ISTA Ndolo, nous voulons relever que le bruit, généralement considéré comme un signal perturbateur en traitement des signaux, peut apporter les renseignements utiles dans la maintenance des machines tournantes.

Nous avons utilisé un moteur asynchrone que nous l'avons fait fonctionner en état saint (sans défaut) et en état des défauts progressifs. Les signaux générés ont été enregistrés et analysés grâce au logiciel LabView et Matlab, dont nous avons pu montrer le changement lié aux défauts au niveau de la cartographie spectrale.

**MOTS-CLEFS:** bruit, traitement du signal, moteur asynchrone, acquisition des signaux.

### 1 INTRODUCTION

La surveillance de machines tournantes est aujourd'hui un point essentiel de la fiabilité et de la sûreté de fonctionnement des systèmes électriques. Pour réduire le coût de production, diminuer le temps de réparation et éviter les grands endommagements, l'industrie moderne requiert de plus en plus une maintenance fiable et efficace des machines électriques tournantes [1]. Une panne brusque de ces systèmes peut prendre un temps de réparation coûteux en termes de production, mener à des dommages collatéraux ou mettre la vie humaine en danger.

Les aspects diagnostic et détection de défaut des organes de conversion électromécanique en font partie intégrante et requièrent la mise au point de techniques de mesure, d'acquisition, d'analyse et d'aide à la décision. L'extraction d'informations révélatrices des conditions de dégradation rencontrées relève de la surveillance de ces organes [2]. En effet, les différentes anomalies et défauts qui surviennent sur les machines tournantes peuvent se manifester en vibrations et bruits, cela signifie qu'une relation de proportionnalité liant les deux phénomènes peut être traduite.

De ce fait, lors de l'analyse des défauts, il est souvent relevé de changement sur la représentation spectrale de la santé des machines : la comparaison fait clairement apparaître l'augmentation des amplitudes sur certaines fréquences, généralement correspondent à la nature et type des défauts donnés. Ainsi, cette augmentation n'est rien d'autre que la présence du bruit de fond (additionnel) qui renseigne sur la nature des défauts.

Pour cela, nous disons que le bruit n'est pas toujours un « perturbateur » mais peut aussi être un vecteur d'information utile, par exemple pour procéder à la maintenance conditionnelle.

C'est ce qui fait l'objet de notre étude. Les signaux vibratoires enregistrés représentent un phénomène variable en fonction du temps et de l'espace, et les informations intrinsèques contenues sont souvent répétitives et oscillatoires. Ils sont traduits naturellement par des signaux en termes d'amplitude, du temps et de fréquence.

## 2 MÉTHODES ET MATÉRIELS [3]

La démarche méthodologique a consisté à la récolte et l'analyse des données obtenues grâce au banc d'essai. Nous avons réalisé une expérimentation au sein des installations du laboratoire mécanique de l'Institut Supérieur des Techniques Appliquées, ISTA-Ndolo en sigle, sur un banc d'essai préalablement réalisé qui a subi certaines modifications nécessaires afin de pouvoir répondre efficacement à notre besoin expérimental.

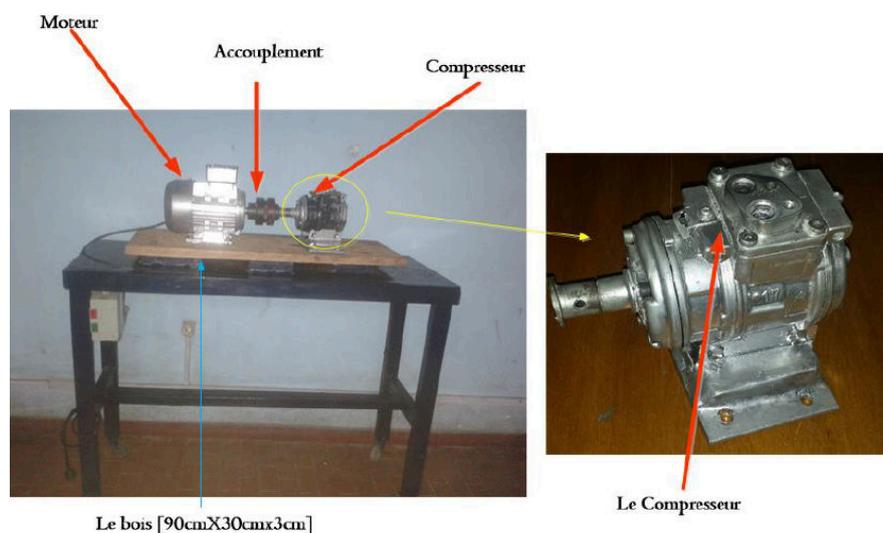
### 2.1 MATÉRIELS

Tenant compte de l'importance du moteur asynchrone dans l'industrie ainsi que du caractère global résultat du signal sonore émis, notre démarche expérimentale s'est focalisée sur le moteur asynchrone triphasé suivant une application à double approche : Vibratoire (mécanique) et Analytique de courant (électrique).

L'objectif poursuivi dans les différents essais est le prélèvement des écarts dans l'espace-temps-fréquence en vue d'identifier les défauts. Ces derniers étant considérés comme de bruits (signal des perturbations ou des gènes).

Cependant leur présence, non seulement alerte sur une anomalie fonctionnelle de la machine mais, elle peut aussi faciliter la localisation de la panne à la base de cette anomalie.

La table de notre expérimentation possède également des roulettes qui permettent mouvoir le banc. Les rails sur la table sont utilisés avec de support supplémentaire en bois en vue de faciliter le montage du moteur et de sa charge comme le montre la figure 1 ; permettant ainsi un couplage facile du moteur et de la charge.



**Fig. 1. Illustration Accouplement Moteur-charge**

La plaque signalétique du moteur relève une puissance de 2,2 KW ainsi qu'une vitesse nominale de 2885 rpm. Dans la configuration de ce travail, nous avons accouplé directement le moteur à un compresseur

### 2.2 SUJET ET MÉTHODES

En traitement des signaux, On appelle bruit (en anglais: noise) tout phénomène perturbateur (interférence, bruit de fond, etc.) gênant la perception ou l'interprétation d'un signal. Ceci par analogie avec les nuisances acoustiques du même nom [4].

Considéré comme un signal indésirable qu'il faudra à tout prix éliminer. Ainsi, le signal est souvent considéré comme la composition de l'information et de bruit.

$$s_{(t)} = x_{(t)} + b_{(t)} \quad (1)$$

Comme le bruit est souvent associé à l'information et ne pourra pas être éliminé totalement, les systèmes de traitement du signal seront considérés fiables et efficaces lorsque les rapports de la puissance du signal sur celle de bruit seront les plus grands possibles.

D'autre part, nous savons que le principe d'une représentation discrète d'un signal  $x(t)$  est basé sur le développement de ce signal en une combinaison linéaire de fonctions connues [5] :

$$x_{(t)} = \sum_{k=1}^n \alpha_k \cdot \varphi_{k(t)} \quad (2)$$

avec  $\alpha_k$  coefficients de discrétisation du signal et  $\varphi_{k(t)}$  fonctions connues

Ainsi, nous estimons que le bruit aura aussi une représentation vectorielle discrète comme le signal utile  $x(t)$  :

$$b_{(t)} = \sum_{k=1}^n \beta_k \cdot \vartheta_{k(t)} \text{ au comportement aléatoire} \quad (3)$$

Pour la suite, le bruit  $b(t)$  sera considéré comme composite à caractère aléatoire et additif. Comme le domaine temporel ne donne toujours toutes les informations contenues dans le signal, nous allons concomitant passer dans le domaine fréquentiel obtenu grâce à la transformée de Fourier.

$$S_{(f)} = F\{s_{(t)}\} = F\{x_{(t)} + b_{(t)}\} = \int_0^{\infty} \{e^{-j2\pi ft} (x_{(t)} + b_{(t)})\} dt \quad (4)$$

Par la suite de petite de sa puissance, voire rapport signal sur bruit, les composantes spectrales sont à peine visibles sur la cartographie spectrale du signal. Cependant, leur influence sera de plus en plus perceptible avec l'intensité croissante des défauts créés par les organes mobiles du moteur.

### 3 SIMULATION ANALYTIQUE

Enfin de rendre l'expérimentation représentative, nous avons reparti en deux modes l'acquisition des signaux : vibratoire et analytique de courant.

Les signaux vibratoires sont acquis grâce au système d'acquisition de National Instrument(NI) dont le CompactDAQ sur lequel nous avons monté le module 9233 pour le conditionnement de ces signaux (figure 2).



Fig. 2. Système d'acquisition des signaux

L'interface d'acquisition et de traitement est programmée sous LabVIEW (Figure 3). Un accéléromètre piézoélectrique à électronique intégré de sensibilité 9,52 mV/g a été utilisé pour cette étude.

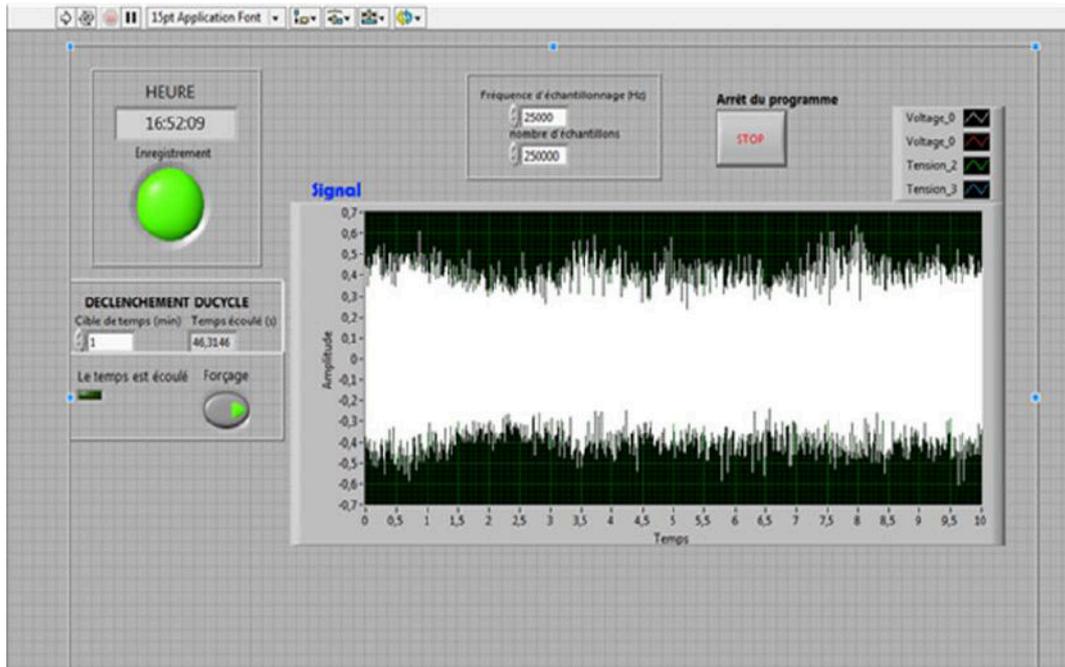


Fig. 3. Interface d'acquisition

Les signaux des courants et des tensions des trois phases qui alimentent le moteur sont obtenus avec le système d'acquisition USB-6281 de National Instrument (NI). La figure 4 illustre l'interface d'acquisition sous le logiciel LabVIEW.

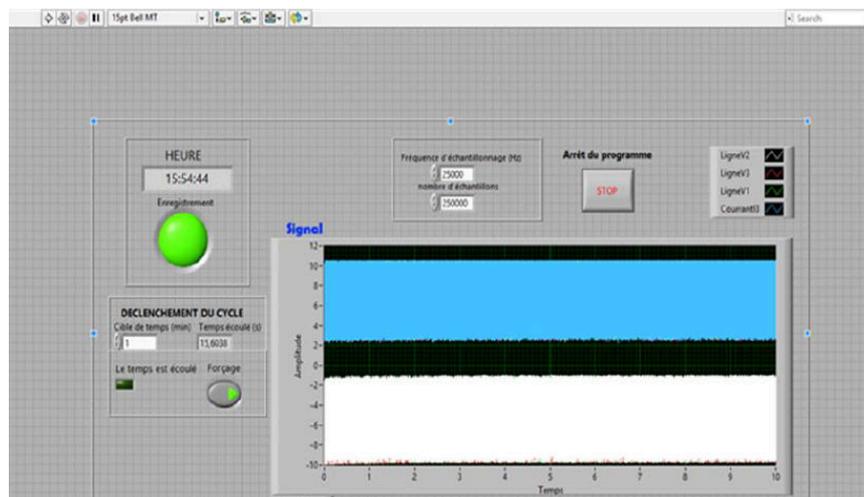


Fig. 4. Interface d'acquisition de Courant et de Tension

### 3.1 DONNÉES À SIMULER

Les essais sont effectués en trois différentes phases :

- A vide : Les mesures sont prises pendant que le moteur tourne totalement à vide et par la suite pendant qu'il est couplé à la charge. On note que dans cette phase, le moteur ne présente aucun défaut.

- Avec défaut de roulement : Pour le roulement, nous avons introduit un seul niveau de défaut, qui servira pour une comparaison avec l'état bon. Ce défaut a été introduit par destruction partielle de la cage au moyen d'une perceuse électrique.
- Cassure des barres rotoriques : Etant donné que le moteur utilisé pour notre cas est en cage, nous avons décidé de simuler des défauts successivement dans deux barres rotoriques (Figure 5).



Fig. 5. Phases de création des défauts

En pratique, il est rare d'observer une barre sectionnée, on peut par contre rencontrer des cas où une barre est fendue voire un anneau de court-circuit fendu. Toutefois, quel que soit la nature de défaut, on notera une augmentation de la résistance dans cette barre ou dans la portion d'anneau dont il est question.

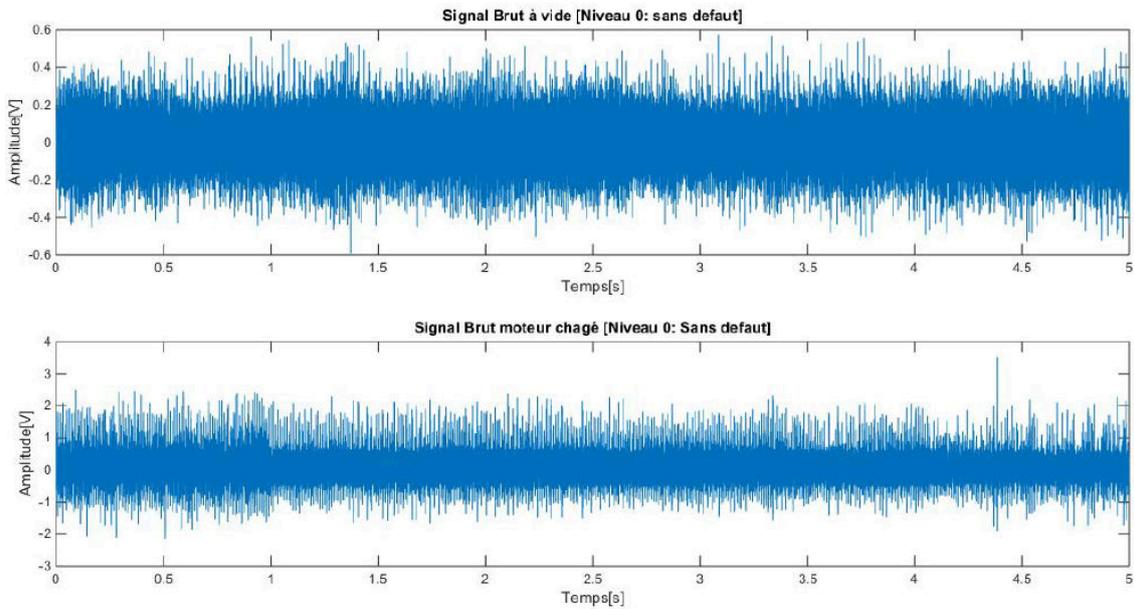
### 3.2 RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

Les résultats qui sont présentés dans les paragraphes qui suivent sont issus d'un traitement sous MatLab. Pour un besoin de statistique des signaux obtenus après les tests, il est présenté dans le tableau 3.1 les différents effectifs enregistrés d'après le type et le niveau de défaut.

Tableau 1. Catégorisation

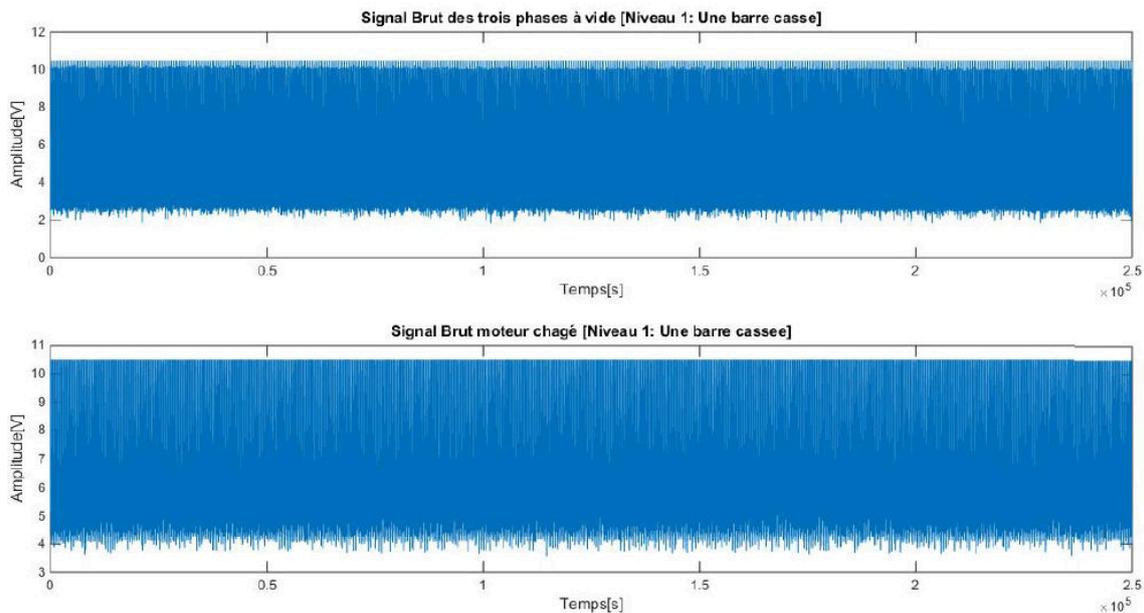
Essai	Effectifs Signaux	Effectifs Signaux	Niveaux	Indicatif Moteur
	Vibratoire	Courant		
A Vide	22	168	0	Sans défaut
	49	105	1	Cassure 1 barre
	28	55	2	Cassure 2 barres
	31	61	3	Défaut roulement
En charge	24	67	0	Sans défaut
	50	19	1	Cassure 1 barre
	12	20	2	Cassure 2 barres
	17	35	3	Défaut roulement

La figure 6 illustre le signal du comportement vibratoire du niveau 0.



**Fig. 6. Signal brut du niveau 0**

A la première vue, nous pouvons remarquer une augmentation de niveau d'amplitude lorsque le moteur est chargé. De même, un comportement similaire est observé dans le cas des signaux issus des courants à la figure 7.



**Fig. 7. Signal brut d'une phase (Niveau 1)**

Même s'il est évident que les valeurs d'amplitudes ont augmentés, Il ne sera pas pour autant aisé de tabler sur des signaux bruts d'après les types et niveaux de défaut comme on peut le voir à la figure 8. Malgré que ces signaux représentent le fonctionnement instantané de la machine, ils ne fournissent pas d'informations avancées sur l'état de celle-ci.

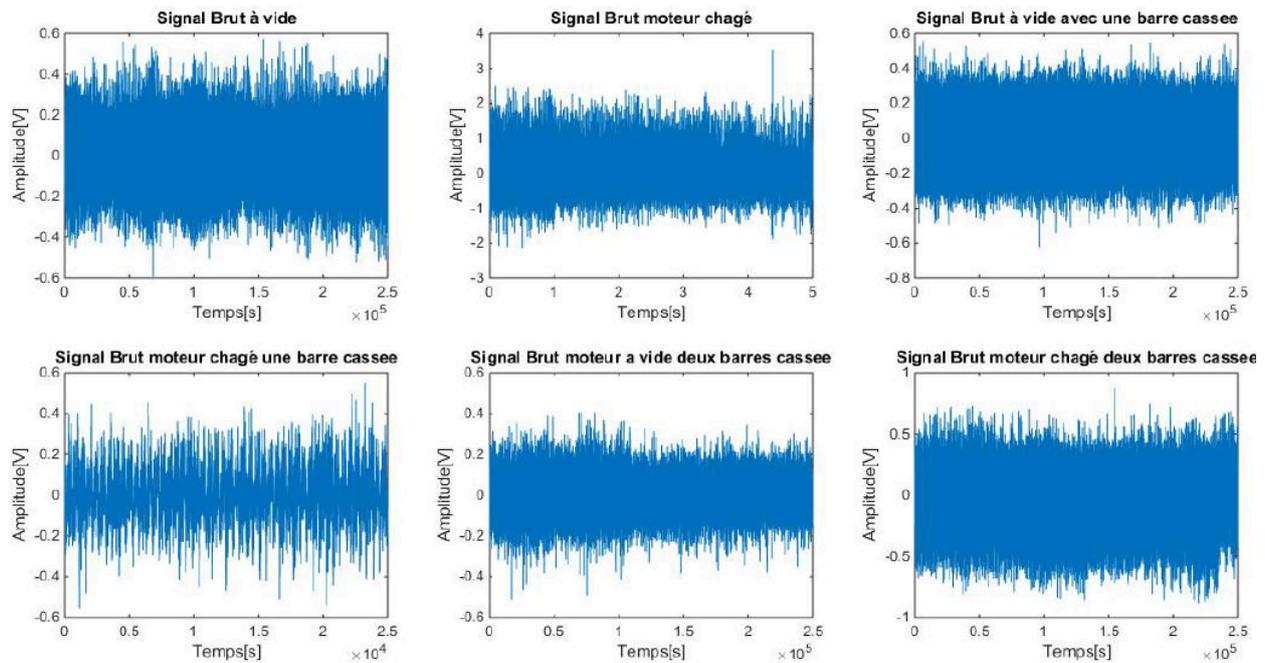


Fig. 8. Signaux des niveaux 0,1 et 2

Pour résoudre ce problème, ces signaux doivent être filtrés. L'opération de filtrage permettra ainsi de visualiser les zones de choc (singularité) et même de calculer leurs périodes de répétition.

Dans notre travail, nous avons porté notre choix sur le filtre Butterworth d'ordre 5 (figure 9) [7].

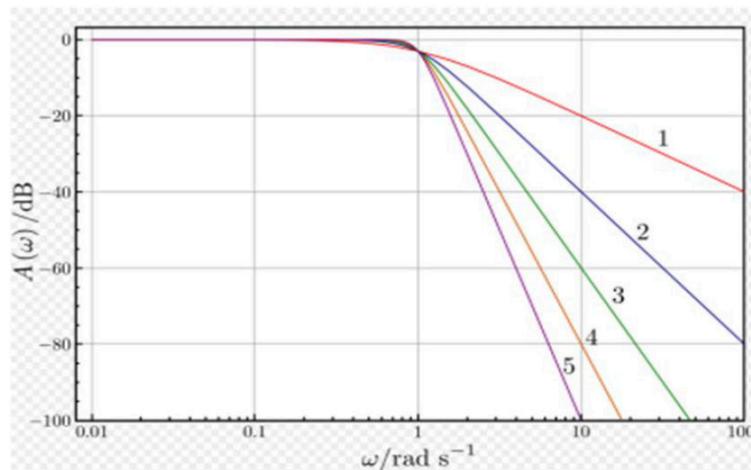
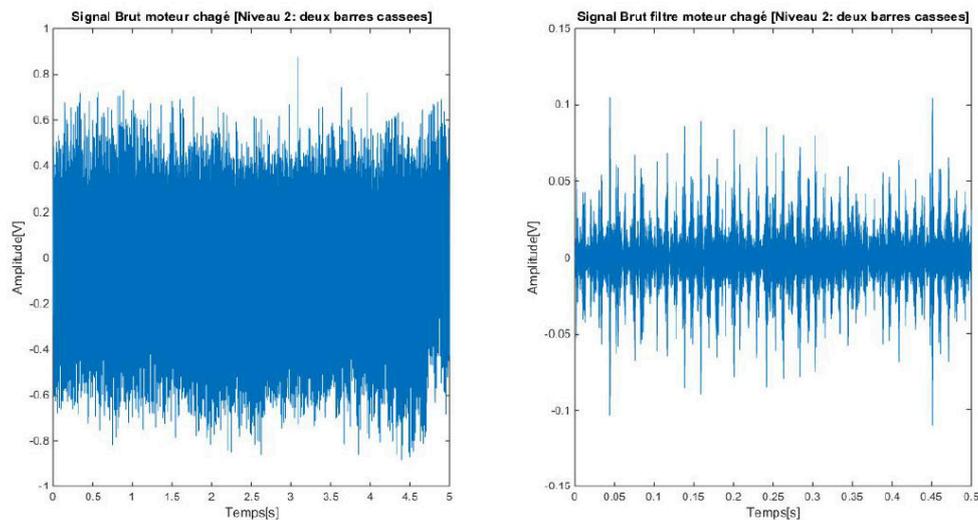


Fig. 9. Filtre Butterworth<sup>1</sup>

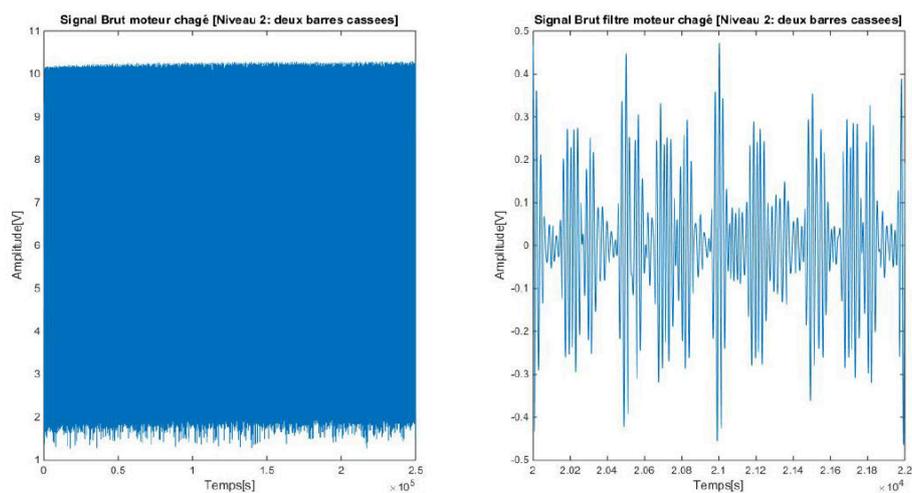
Lorsqu'il s'agira de calculer les spectres générés par les défauts des roulements, un filtrage passe-bande sera d'abord appliqué au signal avant de calculer sa transformée de Fourier. Nous utilisons un filtre passe bande puisque les défauts que nous analysons se manifestent généralement dans les basses fréquences, ce qui signifie qu'il faut filtrer les hautes fréquences.

<sup>1</sup> Julien DUEZ. Détection et diagnostic des défauts de moteurs électriques par analyse conjointe de signaux mécaniques et électriques. Master's thesis, FACULTE POLYTECHNIQUE DE L'UNIVERSITE DE MONS, 2009-2010.

La figure 10 propose un filtrage du signal de vibration de niveau 2 tandis que la figure 11 visualise le filtrage du signal de courant du même niveau.



**Fig. 10. Signal vibratoire du niveau 2 original (  gauche) filtré (  droite)**



**Fig. 11. Signal d'une phase du niveau 2 original (  gauche) filtré (  droite)**

Les signaux originaux sur les figures 10 et 11, ont d'abord été filtrés dans une gamme fréquentielle de 2 à 3 kHz, puis zoom s autour de 2 et 2,2 kHz (figure 11) pour pouvoir correctement visualiser les zones de chocs.

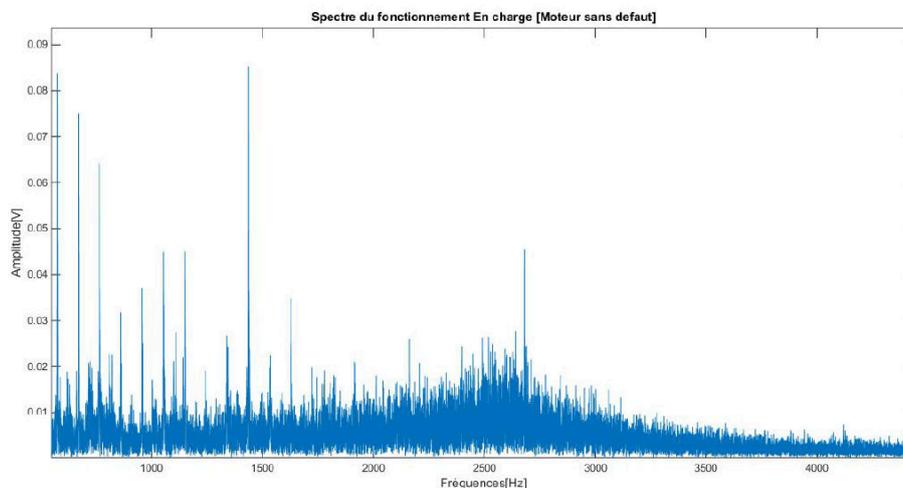
### 3.3 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Le domaine temporel ne nous renseigne pas suffisamment sur les informations contenues dans les signaux analysés d'où le recours sur l'approche temps-fréquence en vue de détecter les renseignements utiles contenus dans les signaux à analyser, s'avère indispensable. Par conséquent, l'analyse spectrale donne la cartographie de la repartie de l'énergie contenue dans le signal.

En outre, à travers l'identité de Parseval, elle permet d'évaluer la quantité de l'énergie contenue dans les différentes composantes fréquentielle d'un signal.

Ainsi, en ce qui nous concerne, il sera question de prendre en compte les composantes spectrales des fréquences caractéristiques de chacun de types des défauts qui sont traités dans cette étude.

La figure 12 présente un exemple de spectre type qui a été enregistré lors des essais.



**Fig. 12. Spectre type du niveau 3**

Cependant, lorsqu'une barre est cassée ou fendue ou encore s'il y a une fissuration d'anneau de court-circuit, on remarque un déséquilibre des forces radiales<sup>2</sup>. La fréquence de la barre cassée sera alors exprimée par [8] :

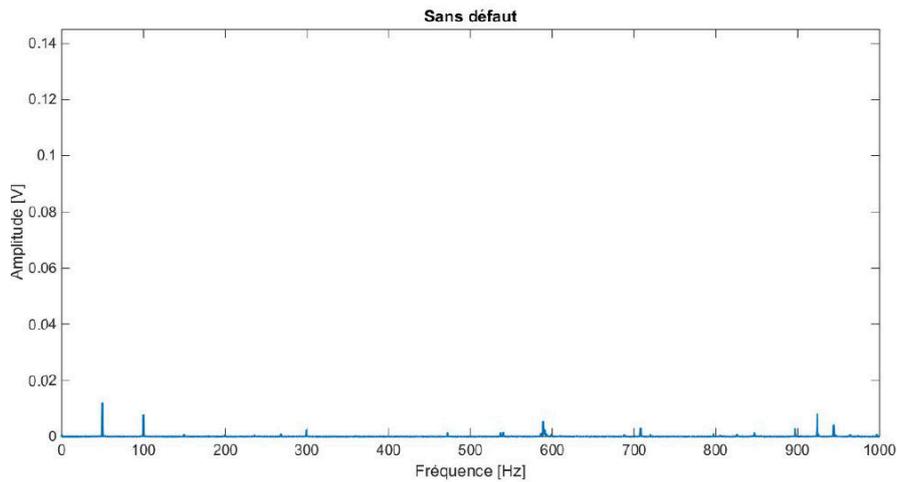
$$f_{vbc} = h \cdot f_r \pm 2 \cdot f_p \quad (3.1)$$

Où  $h$  est le facteur multiplicateur de  $f_r$  ou numéro d'harmonique ( $h = 2,3,4,\dots$ ),  $f_r$  est la fréquence de rotation du rotor (*en [Hz]*) et  $f_p$  est la fréquence de passage par pôle.

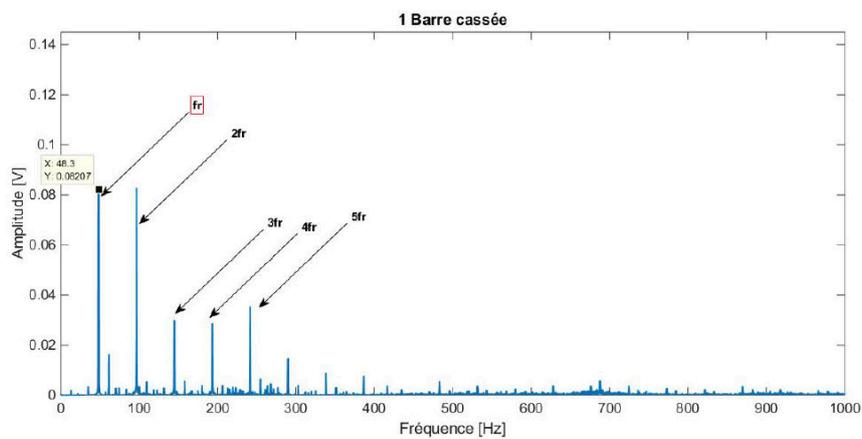
Les figures 13 et 14 reprennent les spectres pour le cas de référence, c'est à dire du fonctionnement sans défaut, et celui avec une barre cassée.

---

<sup>2</sup> Bovic KILUNDU Y'Ebono. Détection et diagnostic vibratoire de dégradations mécaniques : apport du data mining. PhD thesis, Faculte Polytechnique de Mons, 10 juillet 2008.



**Fig. 13. Spectre du fonctionnement sans défaut**



**Fig. 14. Spectre du fonctionnement avec défaut - Une barre cassée**

Nous pouvons clairement remarquer sur la figure 14, la présence des pics de fréquence qui n'existent pas à la figure 13. Ces pics traduisent la variation de la configuration du système de départ.

Ainsi, la configuration du signal utile de départ s'avère être modifiée à certaines fréquences précises appelées en d'autres termes « des harmoniques ». En effet, la principale différence est l'augmentation significative des amplitudes de ces composants assimilables aux défauts donc au bruit car ils viennent perturber le signal utile de départ.

Ainsi, nous voyons apparaître sur la figure 14 des harmoniques aux fréquences multiples de la fréquence de rotation du rotor. Lorsque nous sommes en présence de rupture de deux barres comme à la figure 15, nous remarquons un apport significatif d'énergie dans les composants suite aux défauts appelés aussi bruits.

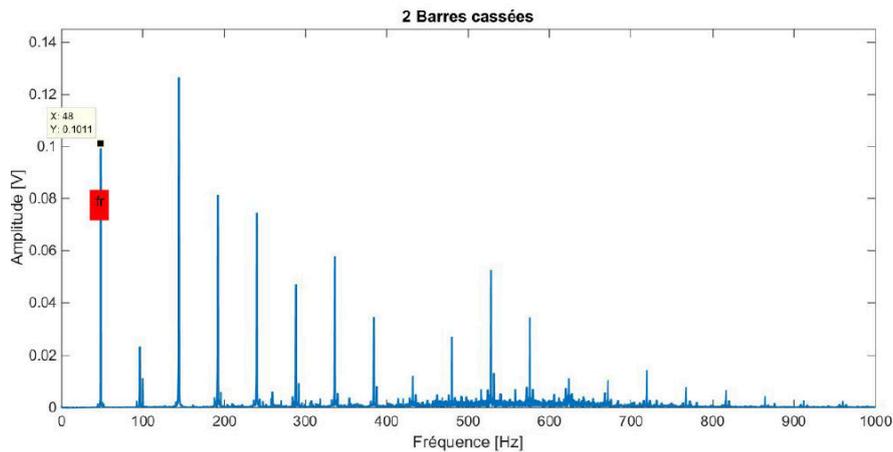


Fig. 15. Spectre du niveau 2 - le moteur tourne en charge

Ceci se traduit par une augmentation des valeurs des amplitudes, d’abord au niveau de la fréquence de rotation, ensuite sur tous les autres harmoniques présents dans le spectre.

Ces spectres orchestrés par le bruit, nous fournissent donc des informations intéressantes surtout sur les autres harmoniques qui sont manifestement la preuve de l’existence des défauts qui peuvent être d’origine mécanique ou électrique.

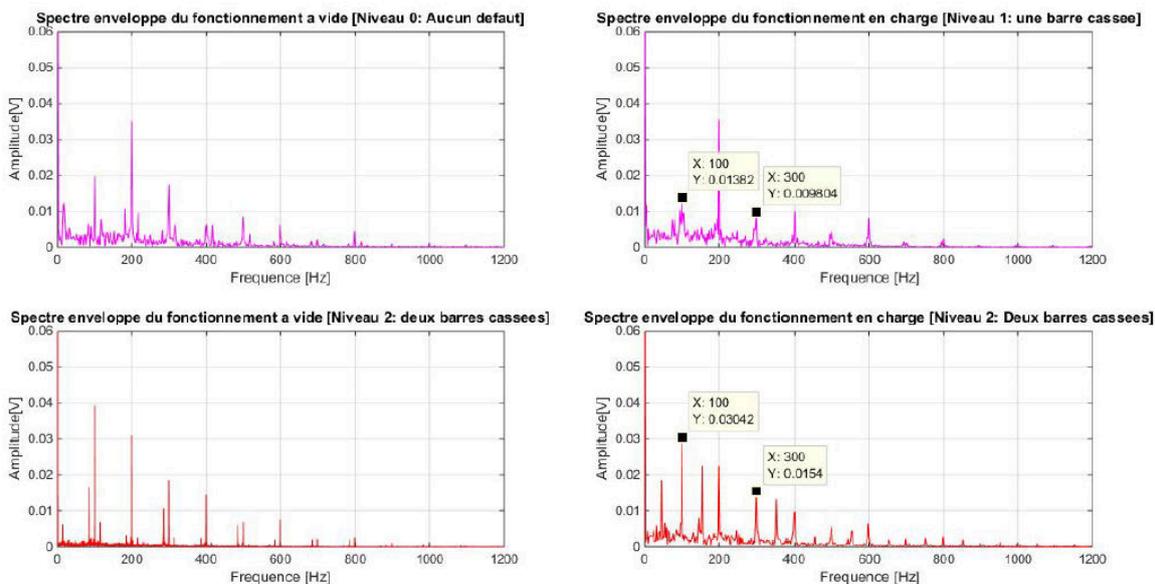


Fig. 16. Les spectres d’enveloppe - tous les niveaux

#### 4 CONCLUSION

Dans notre étude nous avons voulu relever l’utilité de bruit dans son approche de signalement des défauts du moteur asynchrone. L’influence de bruit se remarque surtout sur la modification de la cartographie spectrale de certaines fréquences indicatives des organes mobiles contenus dans le moteur.

Ainsi, la comparaison pourra être directement faite entre l’état de fonctionnement sans défaut et celui avec défaut.

Nous pouvons remarquer qu’à la fréquence de défaut, le pic est bien visible et la valeur d’amplitude augmente clairement.

Enfin, lorsqu’il est difficile de détecter une singularité, puisqu’il y a du bruit qui noie le contenu utile à la détection de défaillance, par exemple sur le roulement. Nous procédons alors par l’extraction d’un signal d’enveloppe après filtrage passe-bande en utilisant le filtre Butterworth, par exemple.

**REMERCIEMENTS**

Nous avons l'obligation de nous acquitter d'un agréable devoir qui consiste à remercier toutes les personnes, qui ont contribué de loin ou de près à la rédaction de cet article. Nos remerciements s'adressent particulièrement au Professeur Ordinaire Pasi Bengi André et à l'équipe de Labo mécanique de l'Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Kinshasa, en sigle ISTA Ndolo.

**RÉFÉRENCES**

- [1] E. Gaucheron. Cahier techniques numéro 207, les moteurs électriques. Schneider Electric, 2004.
- [2] Bovic KILUNDU Y'Ebond. Détection et diagnostic vibratoire de dégradations mécaniques : apport du data mining. PhD thesis, Faculté Polytechnique de Mons, 10 juillet 2008.
- [3] Frédéric de Coulon, Théorie et Traitement des Signaux, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 1996, Page 3.
- [4] Frédéric de Coulon, Théorie et Traitement des Signaux, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 1996, Page 41.
- [5] A. HESS et B. WU G. VACHTSEVANOS, F.L. LEWIS. Intelligent fault diagnosis and prognosis for engineering systems. 2006.
- [6] MEDOUED AMMAR. Surveillance et Diagnostic des défauts des Machines électriques : application aux moteurs asynchrones. PhD thesis, université du 20 aout 1955-Skikda, 2012.
- [7] BELHAMDI Saad. Diagnostic de défauts de la Machine asynchrone contrôlée par différentes techniques de commande. PhD thesis, Université Mohamed Khider-Biskra, 2014.
- [8] Avoci Ugwiri Moise et Kayiba Kalenda Iris. Surveillance vibratoire des machines tournante : application aux roulements. In Travail de fin de cycle. ISTA/Section Mécanique,
- [9] Sadok BAZINE et Jean Claude TRIGEASSOU. Les défauts des machines électriques et leurs diagnostics. Octobre 2010.
- [10] Gaetan DIDIER. Modélisation et Diagnostic de la Machine asynchrone à présence de défaillance. PhD thesis, Université Henri Poincaré, Nancy-I, 29 octobre 2004.