

## UNE NOUVELLE MÉTHODE POUR DIFFÉRENCIER LES SIGNAUX DE CHOC SYNCHRONES ET ASYNCHRONES

### A NEW METHOD TO DETECT SYNCHRONOUS AND ASYNCHRONOUS SHOCK DATA IN A SIGNAL

*Badri B.<sup>1</sup>; Thomas M.<sup>1</sup>; Sassi S.<sup>2</sup>; Archambault R.<sup>3</sup>, Lakis A.A.<sup>4</sup>, Mureithi N.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Département de génie mécanique, École de technologie supérieure, Montréal, Québec, Canada  
marc.thomas@etsmtl.ca ; bechir.badri@gmail.com

<sup>2</sup>Département de Physique et Instrumentation, Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie,  
Centre Urbain Nord, BP 676, 1080 Tunis Cedex, Tunisie

<sup>3</sup>International Measurement Solutions, Baie D'Urfé, Québec, Canada

<sup>4</sup>Département de génie mécanique, École Polytechnique de Montréal. C. P. 6079, Succ. Centre-Ville,  
Montréal, Québec, H3C 3A7, CANADA

#### RÉSUMÉ

Dans le cadre de l'optimisation de la reconnaissance non supervisée des défauts de roulements via un système expert, une nouvelle méthode de classification des chocs a été mise au point. Utilisant une technique numérique de détection de chocs basée sur l'index Julien (IJ), cette méthode permet de remonter à l'empreinte de chocs laissés par un défaut donné en présence d'autres défauts ou de tout autre phénomène générant des chocs. Un aperçu de la procédure est présenté suivi d'une application sur un signal complexe (roulement accusant 2 défauts).

#### ABSTRACT

Previous works made possible to partially achieve the detection and the severity of degradation for a defective bearing, using an appropriate neural network, but only for a restricted number of localized defects. To avoid this limitation, a new technique has been developed for a better characterization and recognition without restriction of bearings defects number. This technique, called *the shocks extractor*, consists in associating the neural network to an advanced technique of signal processing. The method, using the time waveform, consists to recognize, the pattern of each defect, to extract and treat it separately of the original signal. Thus, the effect of each defect in the vibratory signal can be treated independently of the others that make possible to localize the default and to recognize its severity of degradation.

**KEYWORDS:** vibration, shock detection, synchronous signal, bearing, pattern recognition

## 1. INTRODUCTION

L'index Julien a été développé pour identifier la présence de chocs à partir du domaine temporel. Dans sa configuration d'origine [1, 2, 3], il était plus utilisé comme un compteur de choc (par secondes ou par révolutions), ce qui présentait un avantage certain du côté pratique. L'Index Julien est un filtre qui tire sa puissance du fait qu'il est directement relié aux phénomènes de chocs qui sont le plus souvent synonymes de comportement anormal des machines tournantes, contrairement aux autres descripteurs donc le caractère mathématique les éloigne de la réalité physique du phénomène physique. L'index Julien a été ensuite amélioré pour tenir compte de l'amplitude des chocs du signal. Il a été utilisé comme outil pour séparer dans le signal la composante de choc des composantes aléatoires et harmoniques [4, 5], mais aussi pour différencier des chocs synchrones (engrenages) de ceux pseudo-synchrones (roulements) [5, 7].

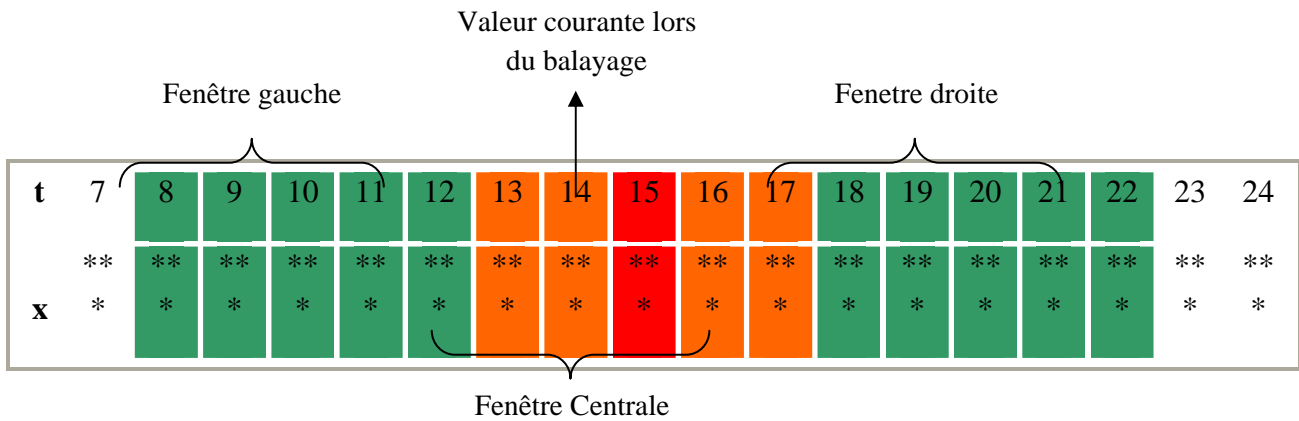
Le présent travail traite de l'utilisation de ce détecteur de chocs pour isoler et extraire l'empreinte d'un défaut particulier dans le cas où plusieurs défauts contribuent à la création de chocs dans le signal. L'extracteur de choc (SE), est utilisé comme variable d'entrée dans un système expert analysant les signaux vibratoires en vue de caractériser (par leurs tailles et emplacement) les défauts de roulements.

## 2. L'INDEX JULIEN

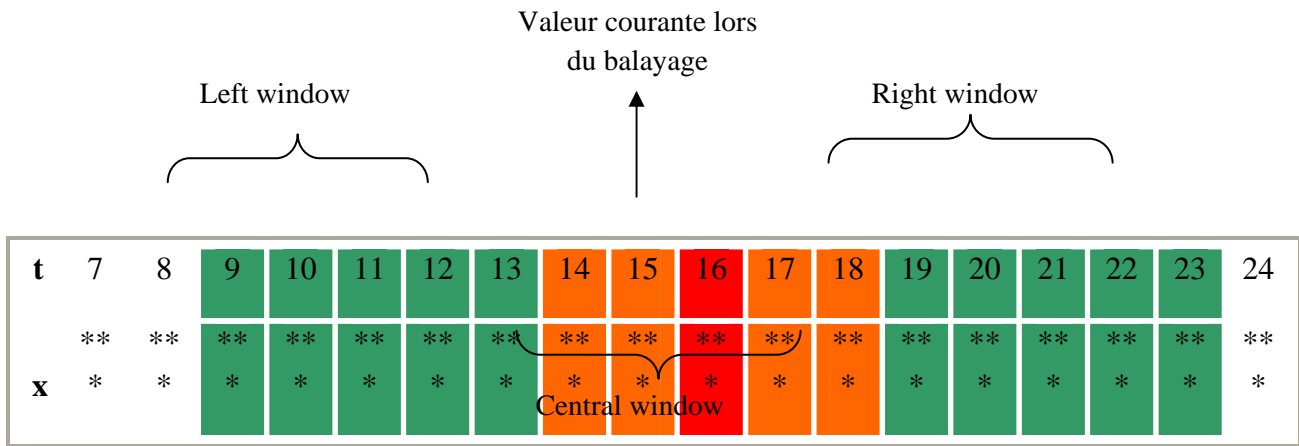
Dans ce qui suit, on présente l'INDEX JULIEN, qui est l'outil permettant la détection des chocs. La procédure consiste à effectuer un balayage du signal temporel à l'aide de trois courtes fenêtres adjacentes de longueur  $2n+1$  échantillons (figure 1). À chaque point du signal temporel ( $i$ ), l'énergie contenue dans chacune des fenêtres est évaluée et la présence d'un choc est validée si la fenêtre centrale a une énergie plus grande que les deux fenêtres latérales. La figure 1 montre un exemple d'un signal temporel avec une fenêtre centrale (orange) de longueur  $2*n+1 = 5$  centrée sur  $i = 15$  et les deux fenêtres latérales en vert.

Une fois les chocs localisés, une opération de nettoyage du signal est effectuée (fig. 2), permettant de ne garder dans le signal que la composante de chocs. Le signal est ainsi débarrassé des autres composantes aléatoires ou harmoniques.

La figure 3 montre un exemple de calcul de l'Index Julien à partir du signal temporel d'un roulement SKF 6205 tournant à 1730 RPM, et souffrant d'un défaut de 0.72mm de diamètre sur la bague extérieure.



a)  $i = 15$



b) scan,  $i=16$

Figure 1 : Identification des fenêtres locales lors du balayage

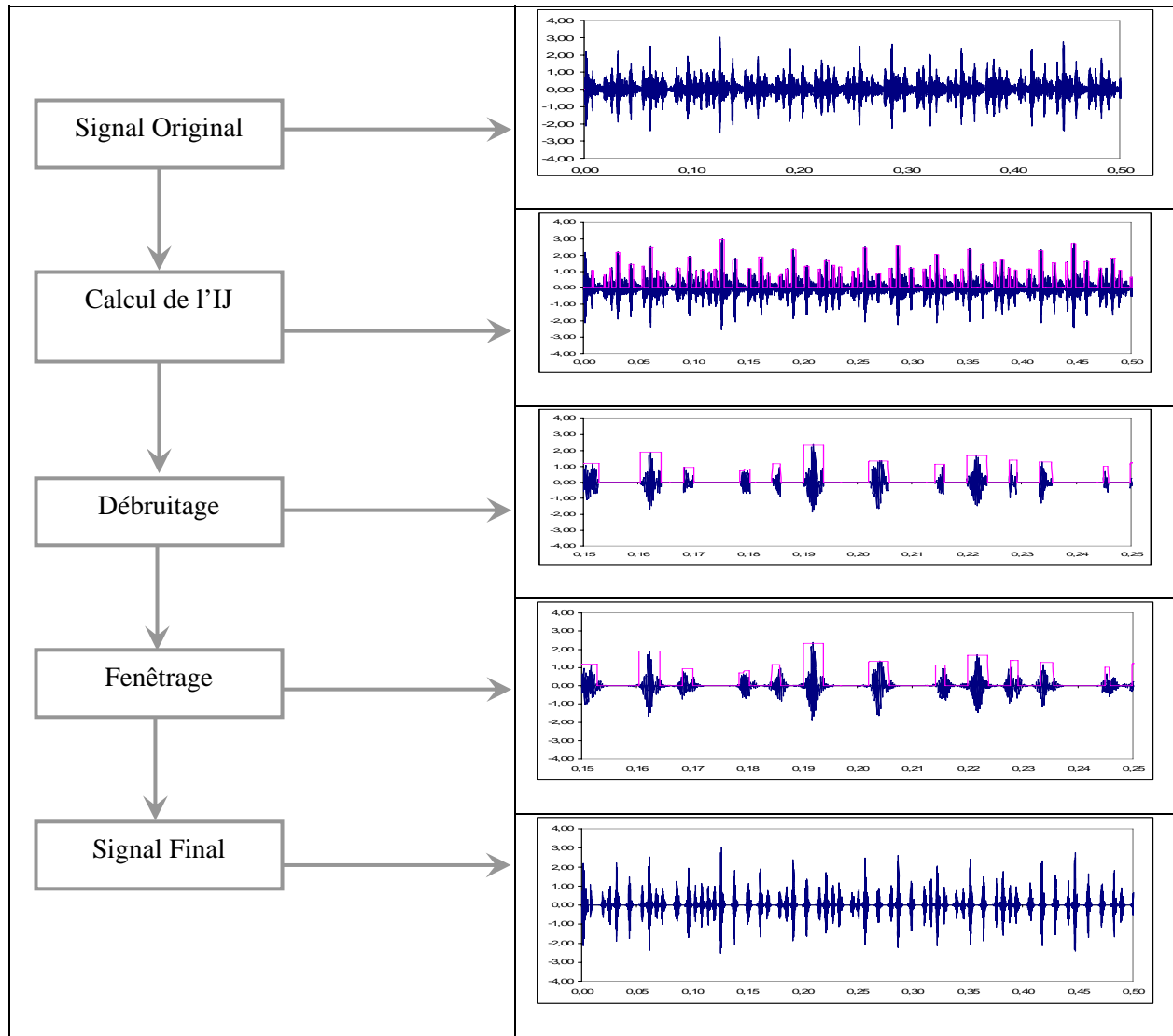


Figure 2 : Calcul de la transformée de Julien

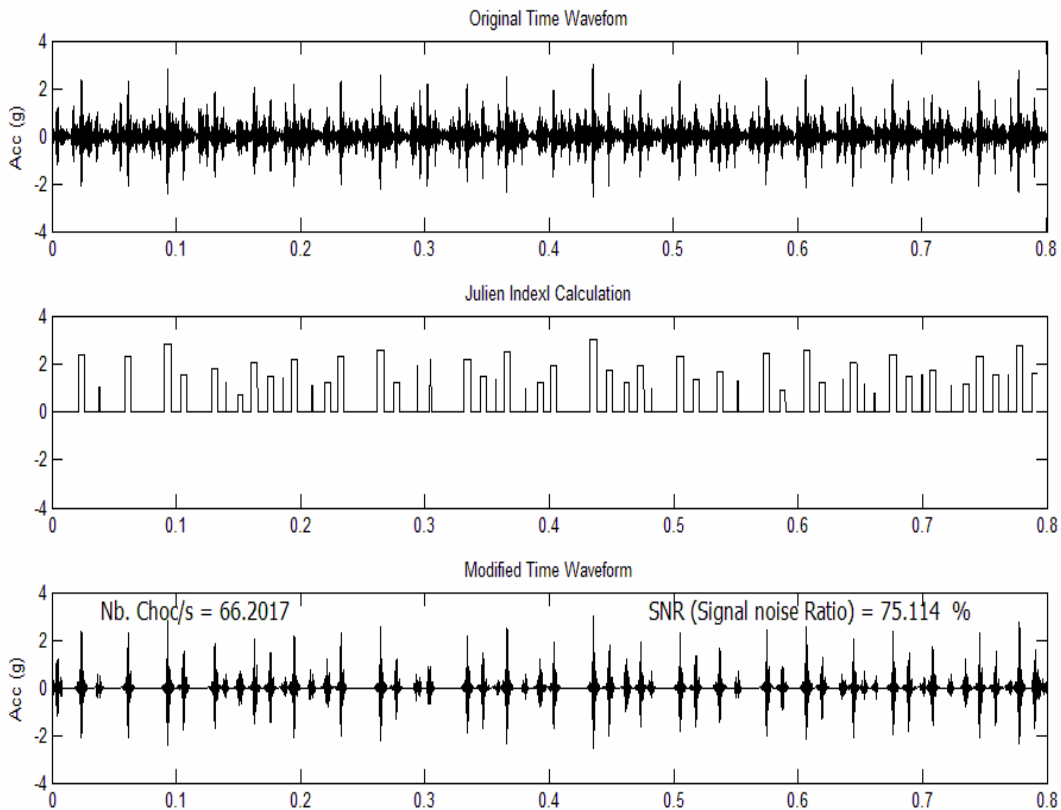


Figure 3 : IJ appliqué sur un signal expérimental de roulement défectueux (0.72 mm sur BE) : a) Temporel original, b) IJ, c) extraction des chocs et nettoyage de la partie aléatoire.

### 3. L'EXTRACTEUR DE CHOCS

L'idée principale sur laquelle est basée l'extracteur de choc est que chaque défaut de roulement (ou tout autre phénomène **PROVOQUANT** des chocs) va générer une empreinte régulière de chocs (ou pseudo-régulière). Connaissant à l'avance la fréquence des défauts (en particulier pour un roulement), il devient facile de d'établir alors qu'un tel choc provient d'un tel défaut.

Dans cette section, l'extracteur de chocs sera appliqué sur un signal de roulement contenant deux défauts :

- 1 défaut de 1 mm sur la BE @ 0 deg (en face de l'accéléromètre).
- 1 défaut de 0.8 mm sur la BE @ 180deg (diamétralement opposé)

Le signal temporel de cette configuration de défaut (fig. 4) est généré par le simulateur de défaut BEARING Toolbox (BEAT) [8 à 11]. La figure 5 montre l'application de l'IJ sur le signal temporel original et les chocs détectés.

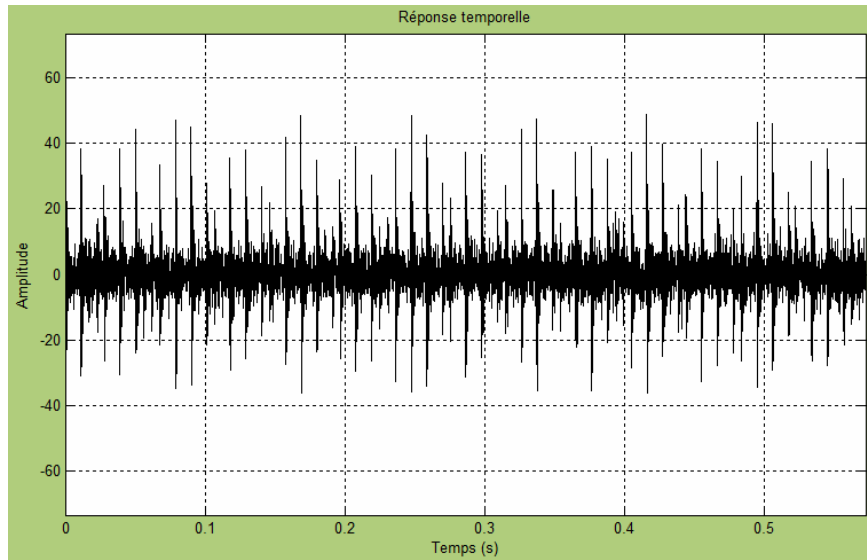


Figure 4: Signal temporel comprenant deux défauts.

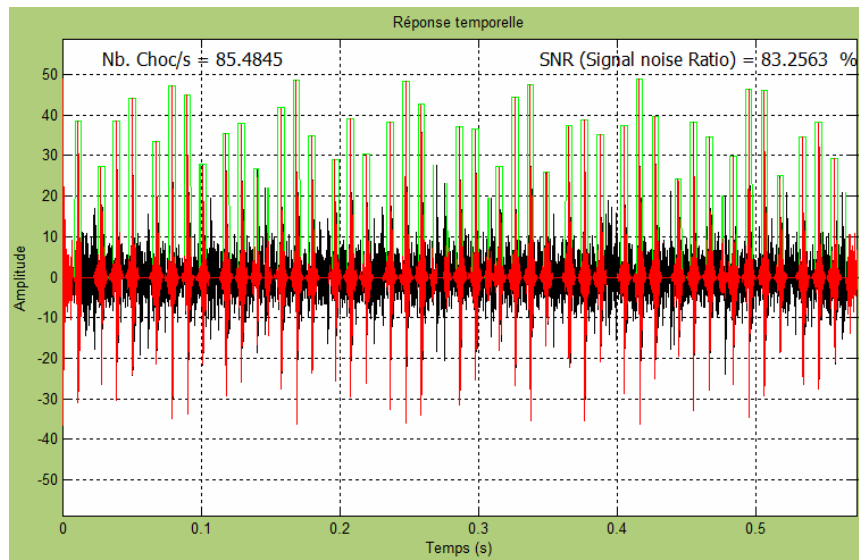


Figure 5: Calcul du IJ du signal comprenant deux défauts

L'application de l'IJ permet de localiser les chocs dans le domaine temporel. L'étape suivante consiste en l'extraction d'une empreinte de chocs appartenant à un choc particulier. Comme la fréquence de défaut est connue pour la BE, un balayage temporel est effectué pour détecter les chocs périodiques formant une *empreinte*, en utilisant la période du choc. Les fréquences d'intérêt lors du balayage peuvent être choisies sur un spectre d'enveloppe, qui indique les fréquences des défauts (dans le cas de défauts de roulements).

La Figure 6 montre l'application de l'extracteur de chocs sur le signal original. La figure 6-a montre le signal temporel extrait d'un roulement comprenant deux défauts sur BE, soit 1mm et 0.8 mm. Le calcul de l'IJ pour localiser les chocs est montré à la figure 6-b. Un balayage temporel permet de localiser l'empreinte laissée par le premier défaut, en accrochant un choc en particulier et en marquant tout les chocs périodiques. Les chocs sont alors marqués en rouges (figure 6b) et extraits du signal pour former un premier signal temporel modifié (fig. 6c) contenant les chocs du premier défaut et éliminés du signal temporel original. Un deuxième balayage temporel est ensuite effectué sur le restant du signal temporel pour extraire la deuxième empreinte de chocs (figure 6d).

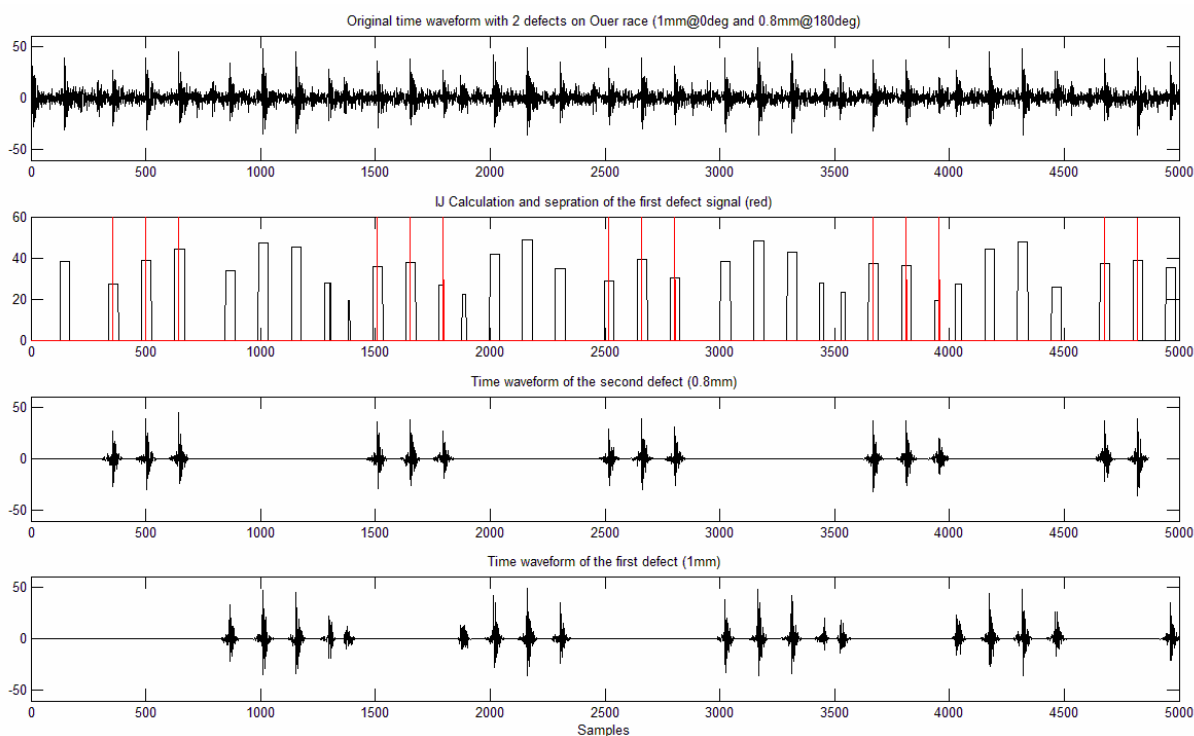


Figure 6: Shock Extractor applied to the signal 1

Ainsi, la méthode permet d'aboutir à autant de signaux (modifiés) que de défauts. Chaque signal modifié ne contient que les informations sur les chocs ne provenant que d'un seul défaut. Les signaux modifiés serviront à caractériser les défauts, en utilisant un réseau de neurones spécialement conçu pour le diagnostic des roulements [12 à 17].

La section suivante présente une brève description du système expert.

#### 4. CONFIGURATION DU RÉSEAU DE NEURONES

Le réseau de neurones a été développé sur la plateforme MATLAB. L'idée de base est de valider les capacités de prédiction d'un réseau de neurones utilisant comme variables d'entrées des descripteurs temporels et fréquentiels optimisés pour les roulements.

Pour la présente étude, trois paramètres fréquentiels ont été retenus (BPFO, BPFI et BSF), auxquels ont été ajoutés six descripteurs temporels [18] pour former un total de neuf variables d'entrées (figure 7).

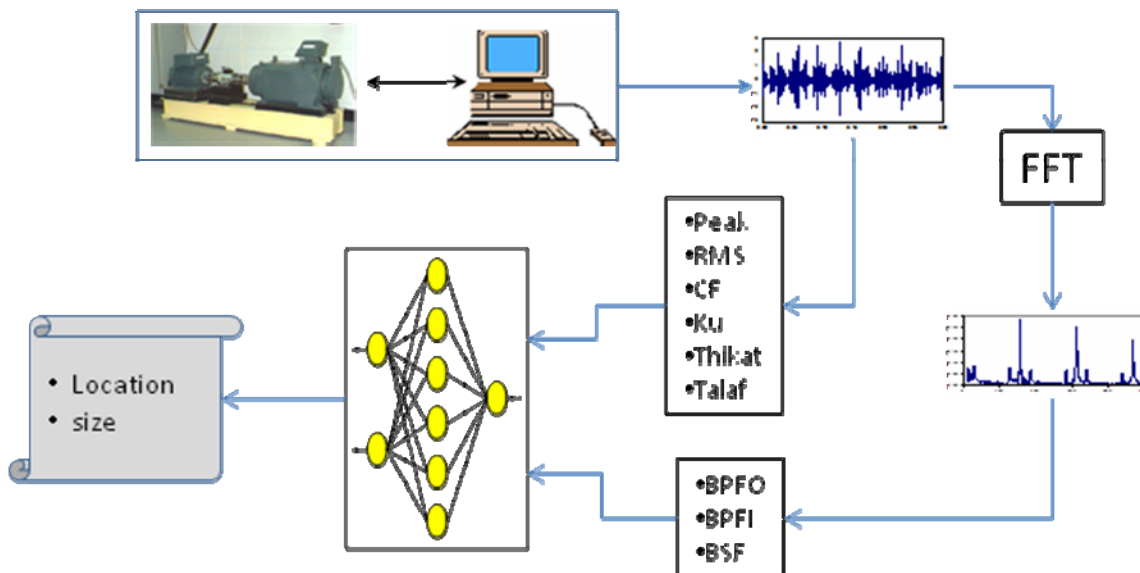


Figure 7: Concept du réseau de neurones

Comme la configuration du réseau de neurones constitue une étape cruciale du développement, une analyse de sensibilité a été conduite pour fixer les paramètres du réseau.

Ainsi une analyse qualitative a permis de déterminer le nombre de couches optimal, ainsi que le nombre de neurones dans les couches intermédiaires. La configuration retenue se compose alors de trois couches incluant les couches d'entrée et de sortie (une seule couche intermédiaire), avec cinq neurones dans la couche cachée. La fonction d'activation est une log-sigmoïde.



## 5. RÉSULTATS

Le Tableau 1 présente les descripteurs temporels pour le signal original (2 défauts sur BE) ainsi que les deux signaux modifiés extraits pour les 2 défauts.

Tableau 1 Descripteurs temporels

<i>Descripteurs</i>	<i>Original</i>	<i>Défaut 1</i>	<i>Défaut 2</i>
<i>Kurtosis</i>	9.4340	28.1514*	26.1928*
<i>Crest Factor</i>	5.6592	8.2516	8.8734
<i>RMS</i>	7.5509	4.7239	3.2401
<i>Peak</i>	42.7320	38.9795	28.7505
<i>IF</i>	8.5077	26.6173*	25.7169*
<i>SF</i>	1.5033	3.2257	2.8982

Les valeurs disproportionnées de certains descripteurs (KU et IF) s'expliquent par la disparition de la partie aléatoire du signal, l'opérateur de détection de chocs agissant comme outil de débruitage.

L'apprentissage du réseau de neurones est effectué à l'aide d'une base de données combinant 1400 défauts sur la bague extérieure et intérieure. Les valeurs de grosseurs de défauts identifiés que livre le réseau de neurones sont résumées dans la figure 8.

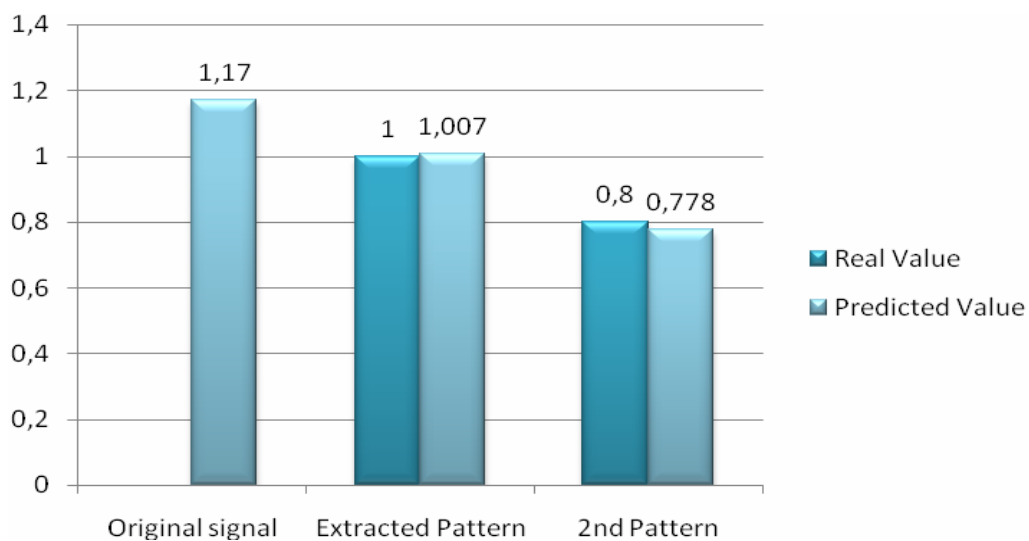


Fig 8 Grosseurs de défauts prédits.

Il est important de signaler que lorsque le signal original brut (les 2 défauts ensembles) est considéré par le réseau de neurones, ce dernier ne reconnaît qu'un seul défaut de 1.17mm. Tandis que, après application de l'extracteur de choc, les grosseurs de défauts sont reconnues avec une précision de 0.7% et de 2% respectivement.

## 6. CONCLUSION

Ce travail présente le développement d'une nouvelle technique permettant de détecter et d'isoler les chocs provenant de défauts particuliers dans le domaine temporel. Des signaux contenant des défauts multiples ont été analysés et l'extracteur de chocs a permis de recueillir des signaux modifiés pour chaque défaut. La technique de détection a été associée à un réseau de neurones pour contourner la limitation de reconnaissance d'un seul défaut. Lors du processus de validation, une erreur maximale de 2% a été atteinte quand à la caractérisation de la sévérité du défaut de roulements.

## 7. REFERENCES

1. Archambault J., Archambault R. and Thomas M., (2002), "A new Index for bearing fault detection", Proceedings of the 20<sup>th</sup> seminar on machinery vibration, ISBN 2-921145-34-0, Québec, ETS, Montreal, 10 pages.
2. Thomas M., Archambault R. and Archambault J., (2003), "Modified Julien Index as a shock detector: its application to detect rolling element bearing defect", 21<sup>th</sup> seminar on machinery vibration, CMVA, Halifax (N.S.), 21.1-21.12.
3. Thomas M., Archambault R. and Archambault J., (2004), "A new technique to detect rolling element bearing faults, the Julien method", Proceedings of the 5<sup>th</sup> international conf. on acoustical and vibratory surveillance methods and diagnostic techniques, Senlis, France, paper R61, 10 p.
4. Badri B., Thomas M., Archambault R. and Sassi S., (2005), "The Rapid Julien transform: A new method to detect and process shock data in a signal", Proceedings of the 23<sup>th</sup> seminar on machinery vibration, Edmonton, 10 pages.
5. Badri B., Thomas M., Archambault R., Sassi S. and Lakis A., June 2007, Rapid Julien Transform: A New Method for Shock Detection and Time-Domain Classification, Proceedings of the 20<sup>th</sup> international conference of Comadem07, Faro, Portugal, pp 667- 676.
6. Badri B., Thomas M., Archambault R and Sassi S., (2006) "The Julien Transform to detect synchronous and asynchronous shock data ( in French)". Proceedings of the 24<sup>nd</sup> Seminar on

- machinery vibration, paper A20-Canadian Machinery Vibration Association, ISBN 2-921145-61-8, ÉTS Montréal, p. 448-459.
7. Badri B., Thomas M., Archambault R., Sassi S., Lakis A. et Mureithi N., October 2007, The Shock Extractor, Proceedings of the 25<sup>th</sup> Seminar on machinery vibration, Canadian Machinery Vibration Association CMVA 07, Saint John, NB.
  8. Sassi S., Badri B. and Thomas M., 2007, A Numerical Model to Predict Damaged Bearing Vibrations, Journal of Vibration and Control, Vol. 13, No. 11, pp 1603-1628.
  9. Case Western Reserve University, (2006) bearing data center, <http://www.eecs.cwru.edu/laboratory/bearing/download.htm>.
  10. Badri B, Thomas M. and Sassi S., October 2004, BEAT, a numerical simulator for ball bearing affected by localized defects, Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Seminar on machinery vibration, Canadian Machinery Vibration Association, Ottawa, ON, 13 p.
  11. Sassi S., Thomas M. and Badri B., October 2004, Numerical simulation for vibration response of a ball bearing affected by localized defects, Proceedings of the 5<sup>th</sup> international conference on acoustical and vibratory surveillance methods and diagnostic techniques, Senlis, France, paper R48, 10 p .
  12. Badri B., Thomas M. , Sassi S. and Lakis A., June 2007, Combination of bearing defect simulator and artificial neural network for the diagnosis of damaged bearings, Proceedings of the 20<sup>th</sup> international conference of Comadem07, Faro, Portugal, pp 175- 185
  13. Badri B., Thomas M., and Sassi S., (2006) "Étude et développement d'un système expert basé sur les réseaux de neurones pour le diagnostic des défauts de roulements". Proceedings of the 24<sup>nd</sup> Seminar on machinery vibration, paper B1-Canadian Machinery Vibration Association, ISBN 2-921145-61-8, ÉTS Montréal, p. 386- 403
  14. Frank, P.M. and KoppenSeliger, B. 1997: New developments using AI in fault diagnosis. Engineering Applications of Artificial Intelligence 10, 3–14.
  15. Li B., G. Goddu, and M. Y. Chow, 1998. "Detection of common motor bearing faults using frequency–domain vibration signals and neural network based approach," in Proc. of American control conference, pp. 2032–2036.
  16. Samanta B.and K. R. Al-Balushi, 2003. " Artificial Neural Network Based Fault Diagnostics of Rolling Element Bearings Using Time-Domain Features", Mechanical Systems and Signal Processing , 17(2), 317–328.
  17. Subrahmanyam M. and Sujatha C., 1997. Using neural networks for the diagnosis of localized defects in ball bearings, Tribol. Int., vol. 30, no. 10, p. 739-752.
  18. Sassi S., Badri B. and Thomas M., 2006, TALAF" and "THIKAT" as innovative time domain indicators for tracking BALL bearings. Proceedings of the 24<sup>nd</sup> Seminar on machinery vibration, paper A19- Canadian Machinery Vibration Association, ISBN 2-921145-61-8, éditeur M. Thomas, ÉTS Montréal, p. 404-419.

## 8. REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le Centre de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG) pour leur support financier. La Case Western reserve University ( USA) est également remerciée pour nous avoir permis d'utiliser ses données expérimentales sur les défauts de roulements.

## 9. BIBLIOGRAPHIE

- Béchir Badri is a Ph.D. student at the École de Technologie supérieure (Montreal). He is involved in the field of vibration signal analysis and simulation of damaged bearings dynamic behavior as well as signal processing development applied to shock detection in gears and bearings mechanisms
- Marc Thomas is professor in mechanical engineering at the École de Technologie supérieure (Montreal) since 16 years. He has a Ph.D. in mechanical engineering from Sherbrooke university. His research interests are in vibration analysis and predictive maintenance. He is the leader of a research group in structural dynamics (Dynamo) and an active member of the Canadian machinery Vibration Association (CMVA). He is the author of the book: Fiabilité, maintenance prédictive et vibrations de machines. He has acquired a large industrial experience as the group leader at the Centre de Recherche industrielle du Québec (CRIQ) for 11 years.
- René Archambault is president and technical director of International Measurement Solutions (IMS), a Canadian company offering World-Class measurement solutions in the field of vibration monitoring of rotating machinery. He is also a former president of the CMVA (2000-2002) and a member of the Canadian delegation to ISO TC108 SC2 SC5 Shock & Vibration.
- Sadok Sassi is an expert in vibration analysis and troubleshooting of mechanical installations and equipments. He is currently conducting research on different areas of mechanical engineering and industrial maintenance. His most significant contributions are the development of powerful software called beat for vibration simulation of damaged bearings and the design of an innovative intelligent damper based on electro and magneto rheological fluids for the optimum control of car suspensions.
- Aouni.A. Lakis is professor in mechanical engineering at the École Polytechnique (Montreal). He has a Ph.D. in mechanical engineering from Mc Gill university (Montreal). He is actively involved in the field of diagnosis of machinery, random vibrations in time-frequency domain and numerical methods applied to fluid-shell interaction.
- Mureithy Nujki is professor in mechanical engineering at the École Polytechnique (Montreal). He has a Ph.D. in mechanical engineering from Mc Gill university (Montreal). He is actively involved in the field of diagnosis of machinery.