

THE JULIEN TRANSFORM TO DETECT SYNCHRONOUS AND ASYNCHRONOUS SHOCK DATA

LA TRANSFORMEE DE JULIEN POUR DIFFERENTIER LES CHOCS SYNCHRONES DES CHOCS ASYNCHRONES.

B. Badri¹; M. Thomas¹; R. Archambault²; S. Sassi³

- (1) Department of Mechanical Engineering, École de Technologie Supérieure, Montreal, Qc, Canada
marc.thomas@etsmtl.ca; bechirbadri@yahoo.fr
- (2) International Measurement Solutions, Baie D'Urfé, Qc, Canada
rene@intlmeas.com
- (3) Département de Physique et Instrumentation, Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie, Centre Urbain Nord, BP 676, 1080 Tunis Cedex, Tunisie.
Sadok.sassi@insat.rnu.tn

ABSTRACT

Une nouvelle méthode de classification des chocs a été mise au point. Utilisant une technique numérique de détection de chocs, cette méthode permet de différencier les chocs synchrones des chocs pseudo synchrones. Un aperçu de la procédure qui fait appel à la transformée de Julien est appliqué à l'étude de 2 signaux synchrones et pseudo synchrones. Cette nouvelle méthode est comparée à un ensemble de techniques conventionnelles (spectres, spectres enveloppe, Temps fréquences...).

1. INTRODUCTION

L'index Julien a été développé pour identifier la présence de chocs dans le domaine temporel. Dans sa configuration d'origine [1], il était utilisé comme un simple compteur de choc, soit par secondes ou par révolutions. L'index Julien a été ensuite amélioré pour tenir compte de l'amplitude des chocs du signal : Index Julien modifié [2, 3]. Ensuite il a été utilisé dans le domaine fréquentiel (Transformée de Julien) comme méthode pour filtrer les composantes de chocs (amplitude et fréquence) des autres composantes aléatoires et harmoniques [4].

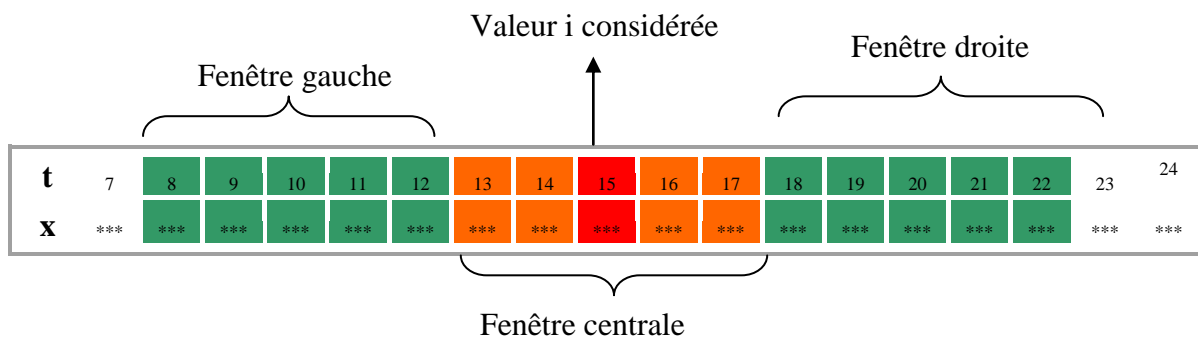
Le présent travail traite de l'utilisation de la transformée de Julien pour différencier les chocs parfaitement synchrones des chocs pseudo synchrones. En effet, dans les machines tournantes, des problèmes surgissent lorsqu'on est en présence de chocs provenant à la fois d'un roulement et d'un engrenage défectueux, et qui se manifestent grossièrement dans la même gamme de fréquence [5]. Il est très important à noter ici qu'un engrenage défectueux générera des chocs parfaitement synchrones, contrairement à un roulement, qui même tournant à vitesse constante produira des chocs qui seront légèrement asynchrones due au phénomène de glissement ayant siége dans le roulement.

Dans ce qui suit, on présente la transformée de Julien, qui est l'outil permettant la détection des chocs en vue de les classifier.

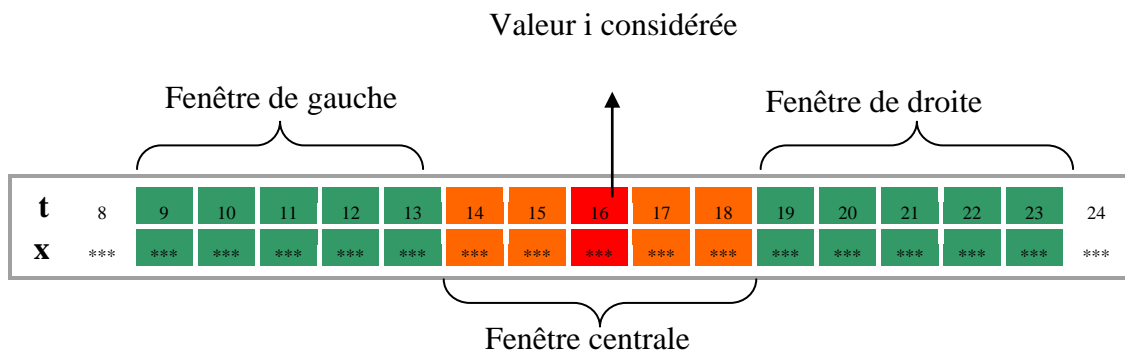
2. DESCRIPTION DE LA TRANSFORMEE DE JULIEN

2.1 L'index de Julien

La procédure consiste à examiner le signal échantillonné bloc par bloc en filtrant le signal à l'aide d'une fenêtre de $2n+1$ échantillons (figure 1). A chaque instant i du signal, la somme des amplitudes des signaux compris dans la fenêtre centrée sur le temps i ($i-n$; $i+n$) est calculée et comparée aux amplitudes des fenêtres situées à gauche ($i-3n$; $i-n$) et à droite ($i+n$; $i+3n$) de la fenêtre i considérée. La figure 1 montre un exemple d'un échantillon temporel glissant de $i = 15$ s à $i = 16$ s, avec une longueur de fenêtre de $2 \cdot n + 1 = 5$, en considérant $n=2$. La fenêtre centrale est montrée en orange et les fenêtres à gauche et à droite en vert.



a) $i = 15$



b) balayage, $i=16$

Figure 1 : Identification des fenêtres

Une fois l'amplitude calculée pour les trois fenêtres, on applique les règles de filtrage booléennes suivantes:

- Si l'amplitude de la fenêtre centrale est supérieure aux deux autres, on déclare l'existence d'un choc et on attribue à l'index Julien I correspondant la valeur unitaire: $JI(i)=1$.
- Sinon, il n'y a pas de choc et on lui attribue une valeur nulle : $JI(i)=0$.

Le balayage du signal continue en incrémentant la valeur temporelle de $i+1$ (figure 1-b). La procédure continue jusqu'à ce que la valeur temporelle $i = N_{\max} - (3n+1)$ soit atteinte.
où : N_{\max} est le nombre d'échantillons du signal

2.2 La transformé de Julien

L'objectif de la nouvelle version de l'Index Julien dans le domaine fréquentiel est la détermination de l'intensité des chocs présents dans le signal vibratoire et de ses fréquences. Plutôt que d'utiliser les techniques usuelles pour estimer l'amplitude vibratoire comprise dans chaque fenêtre comme c'était le cas dans le développement original, il a été jugé plus pratique d'utiliser un descripteur temporel usuel, comme le Kurtosis. Avec une excellente efficacité dans la détection des chocs et une rapidité dans le temps de calcul (le temps de calcul est de l'ordre de 2 secondes pour analyser un signal comprenant 10 000 échantillons), le Kurtosis s'est avéré être le paramètre idéal à être adopté. L'élaboration de la transformée de Julien nécessite au préalable une opération de nettoyage adéquate et un fenêtrage approprié (figure 2).

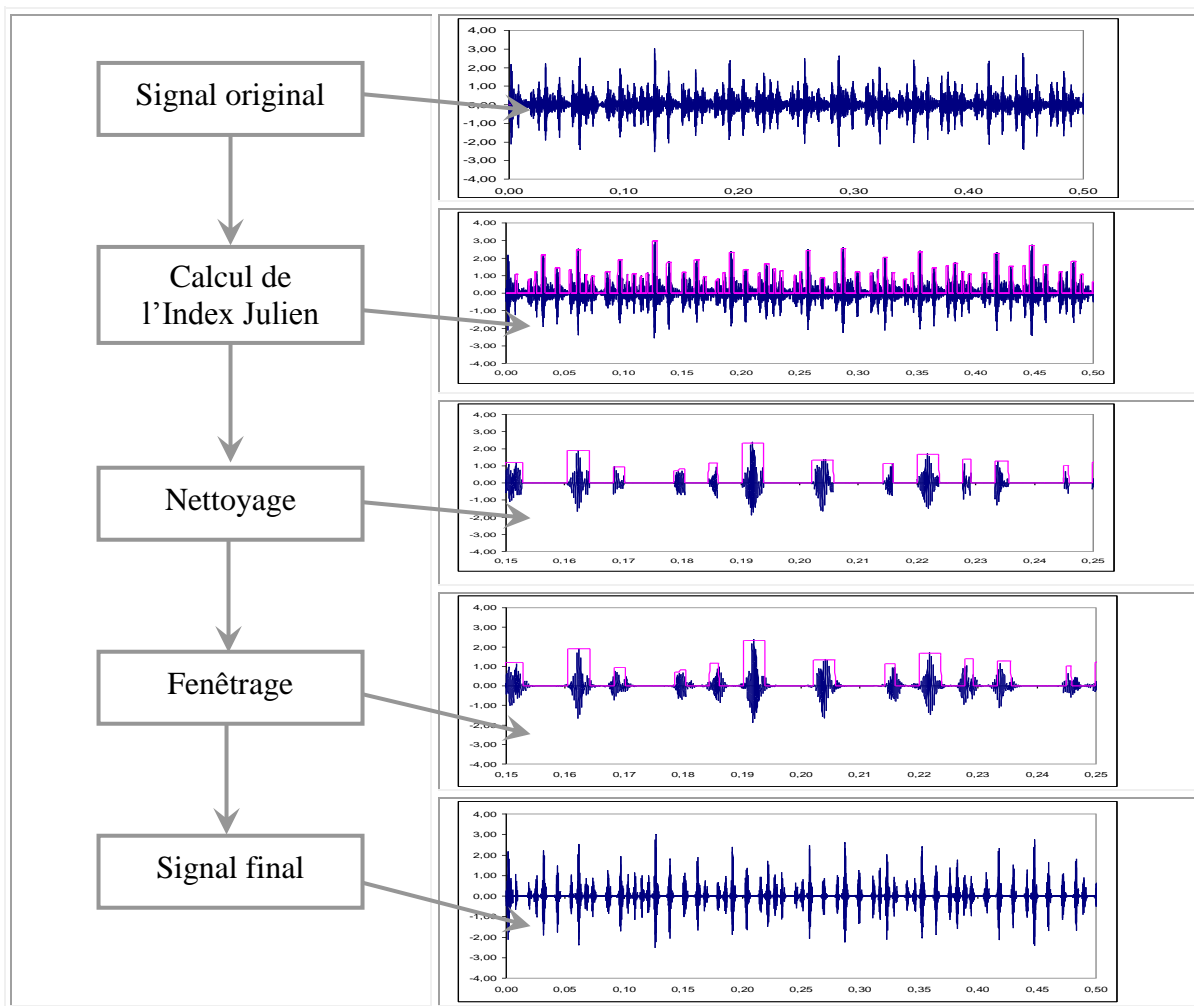


Figure 2 : Calcul de la transformée de Julien

On aboutit ainsi à un signal modifié ne contenant que les chocs et dont la valeur efficace traduit fidèlement l'intensité des phénomènes pulsionnels présents dans le signal. L'opération de filtrage consiste simplement à forcer à zéro tout échantillon du signal dont l'Index Julien est nul, pour ne garder à la fin que les échantillons qui sont le siège de chocs. L'opération de fenêtrage est nécessaire pour éliminer les distorsions qui pourraient apparaître sur le spectre et qui sont dues au passage quasi-instantané de la valeur zéro à une valeur importante. Cette opération de fenêtrage n'altère pas considérablement l'intensité du signal modifié. La fenêtre utilisée dans ce cas est une fenêtre de Hamming appliquée au choc ($IJT \neq 0$) sur une largeur égale à la taille du choc plus 2 fois la largeur de la fenêtre de l'Index Julien. La figure 3 montre un exemple de calcul de l'index Julien (vert) à partir du signal temporel original (noir), ainsi que l'extraction des chocs contenus dans le signal (rouge), éliminant ainsi les composantes aléatoire et harmonique, avec l'opération de nettoyage.

Cette procédure permet de suivre l'évolution de l'intensité des chocs non seulement quand leur nombre par période augmente, mais aussi quand leur nombre reste constant et que leur amplitude augmente.

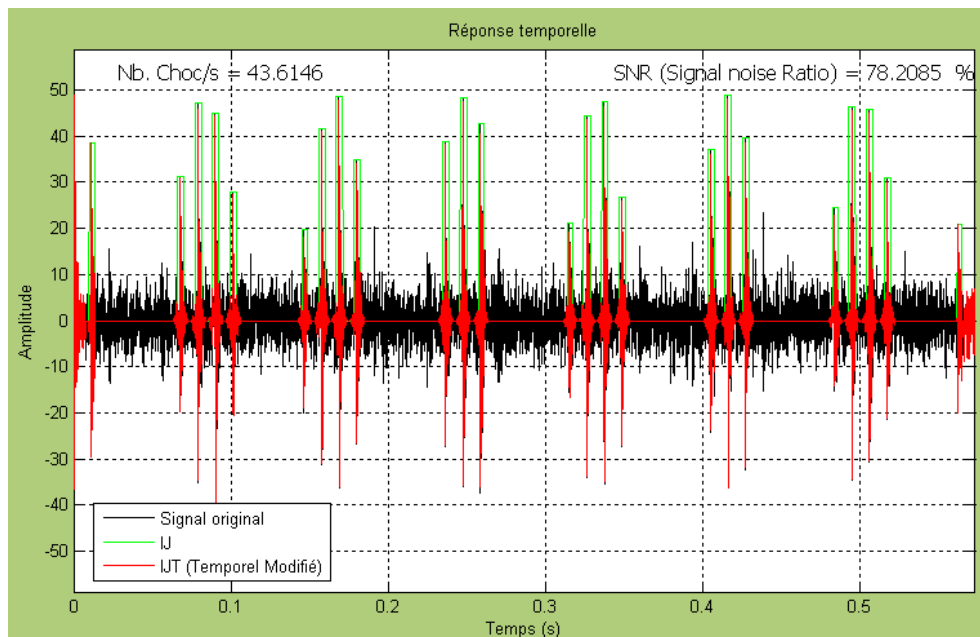


Figure 3 : Index Julien modifié après nettoyage

3.0 POSITION DU PROBLÈME

Deux types de signaux, avec et sans glissements ont été générés à l'aide du générateur de signaux du logiciel AD-LIB. Il s'agit, pour le signal de base, d'un choc périodique composé d'un transitoire ayant une fréquence de 2500Hz avec une amplitude de 7 et qui se répète tel une fonction peigne à tous les 30 Hz.

1/ Signal de base:

- Chocs périodique ayant une fréquence de 2500 Hz et d'amplitude de 7 G, qui se répète à tous les 30 Hz. Durée du signal : 4 sec.

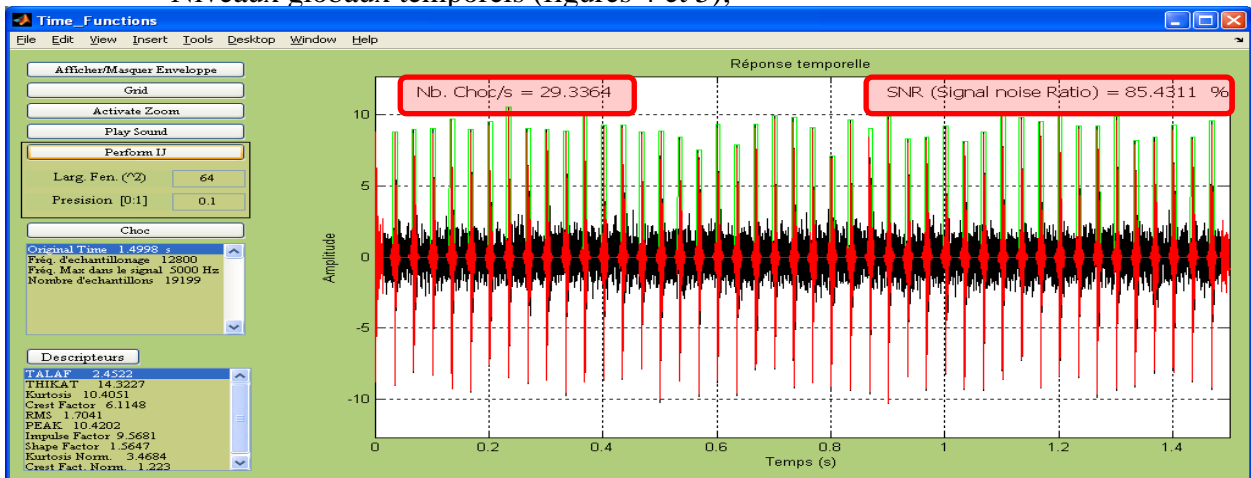
A ce signal de base va s'ajouter un glissement de 1% de la fréquence de répétition.

2/ Signal de base avec glissement :

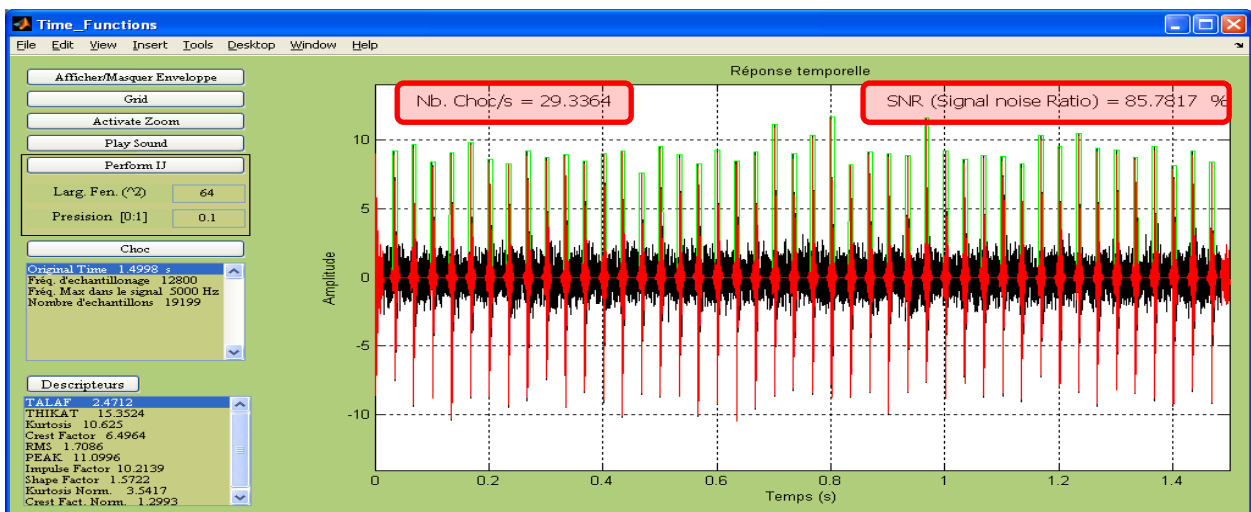
- Chocs périodique ayant une fréquence de 2500 Hz et d'amplitude de 7 G, qui se répète à tous les 30 Hz +/- 1%. La variation de la fréquence de répétition varie aléatoirement dans un intervalle de 1%. Durée du signal :4 sec.

Dans un premier temps, un signal aléatoire de faible amplitude (1 G) a été rajouté à chacun de ces signaux. Le rapport signal sur bruit était de l'ordre de 85%. Dans un deuxième temps, on a rajouté à chacun de ces deux signaux un signal aléatoire d'une amplitude de 5 G avec un rapport signal sur bruit de l'ordre de 30%. Le défi consiste à différencier les deux signaux, même quand ils sont noyés dans le bruit. L'analyse de ces deux signaux a d'abord été effectuée à l'aide des méthodes conventionnelles de traitement de signal , à savoir :

- Niveaux globaux temporels (figures 4 et 5);



a) Choc périodique sans glissement



b) Choc périodique avec glissement

Figure 4 : Analyse des signaux temporels peu bruités.

Le tableau 1 montre l'analyse de ces deux signaux à l'aide de descripteurs temporels communément utilisés.

<i>Descripteurs Temporels</i>	<i>Choc périodique sans glissement</i>	<i>Choc périodique avec glissement</i>	<i>Écart relatif (%)</i>
<i>Kurtosis</i>	10.4	10.62	2,07
<i>Crest Factor</i>	6.11	6.49	5,85
<i>RMS</i>	1.7	1.7	0
<i>Peak</i>	10.42	11.09	6,04
<i>IF</i>	9.56	10.21	6,36
<i>SF</i>	1.56	1.57	0,63

Tableau 1 : Descripteurs temporels

Malgré une légère augmentation (6%) de certains descripteurs temporels lorsque qu'il y a du glissement fréquentiel dans le signal, les descripteurs temporels ne permettent pas de conclure, même si le signal est faiblement bruité.

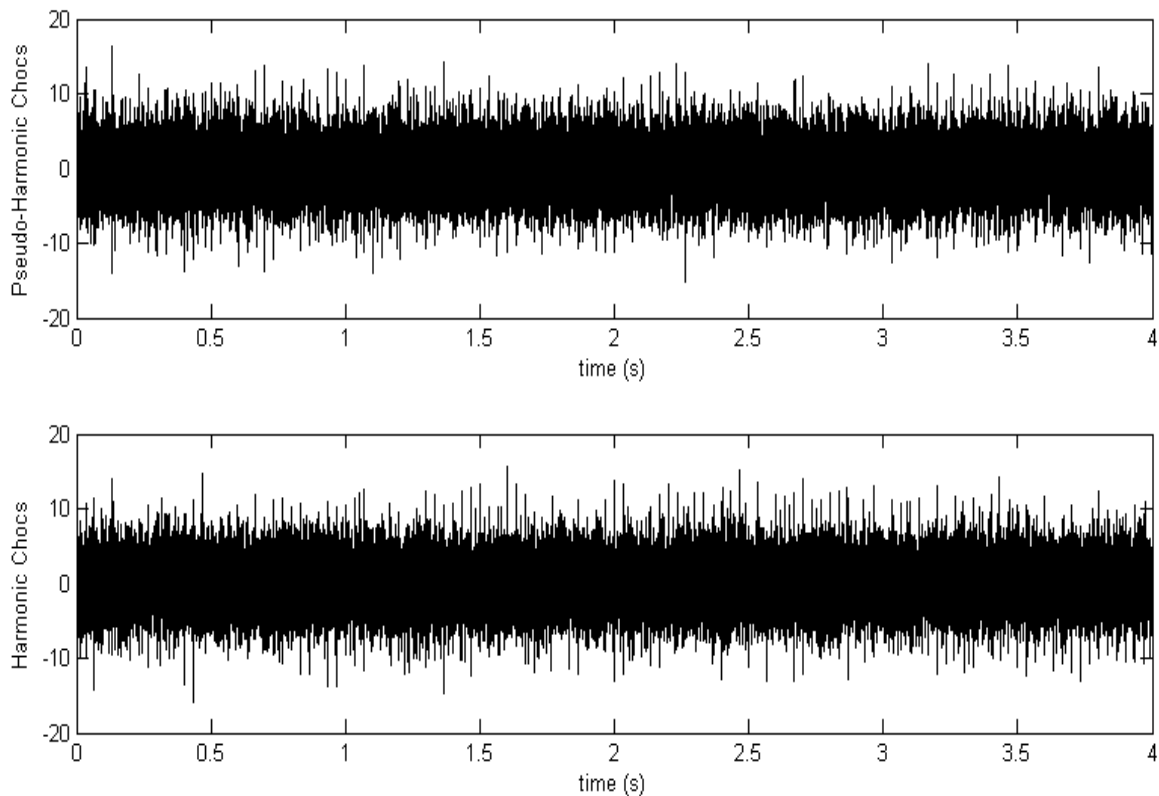


Figure 5 : Analyse des signaux temporels fortement bruités

- Spectres fréquentiels (figure 6);

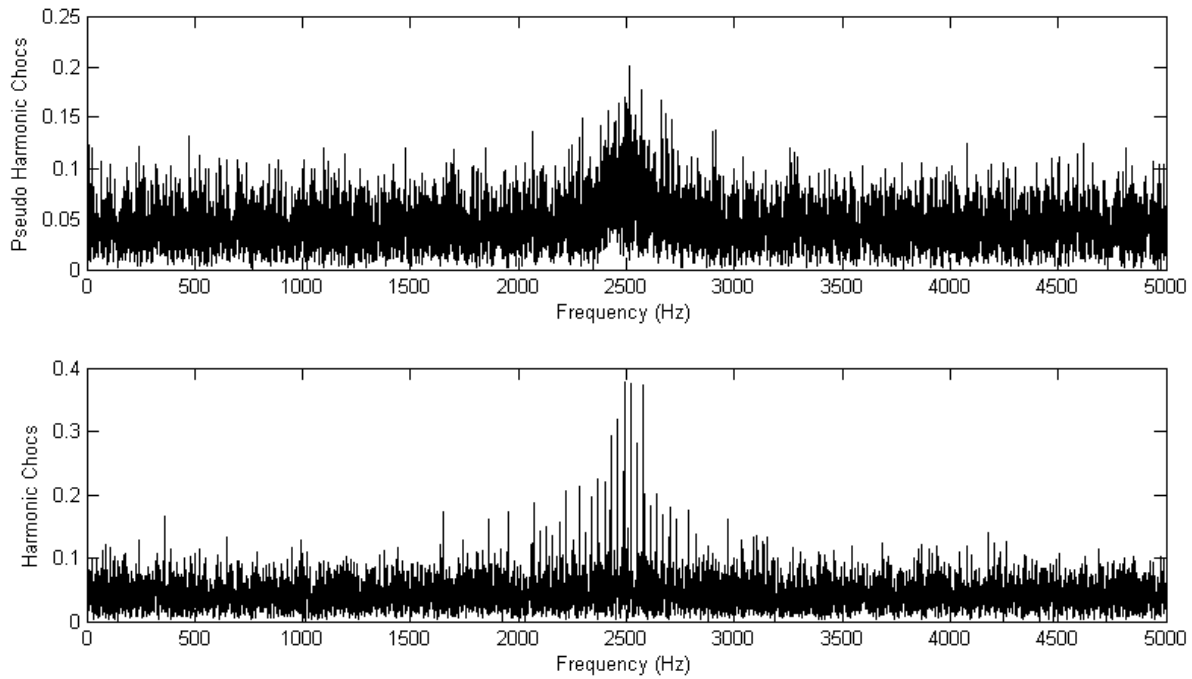


Figure 6 : Analyse spectrale du signal bruité.

- Spectres enveloppes (figure 7);

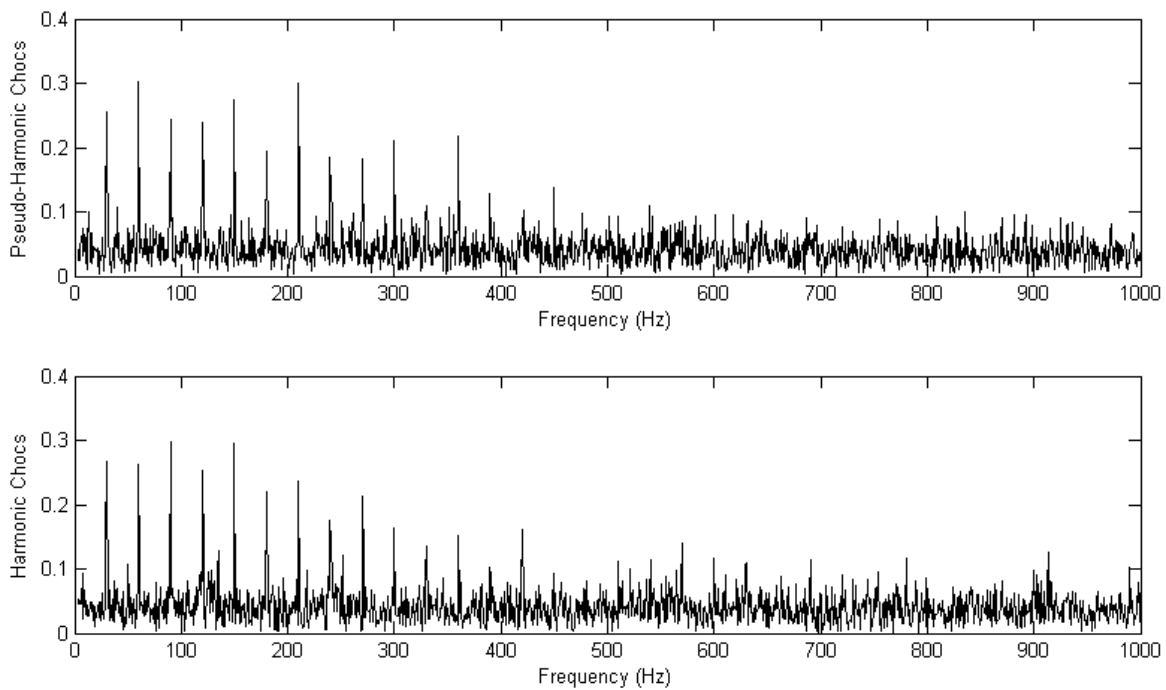


Figure 7 : Analyse d'enveloppes du signal bruité

- Spectrogramme Temps Fréquences (figure 8).

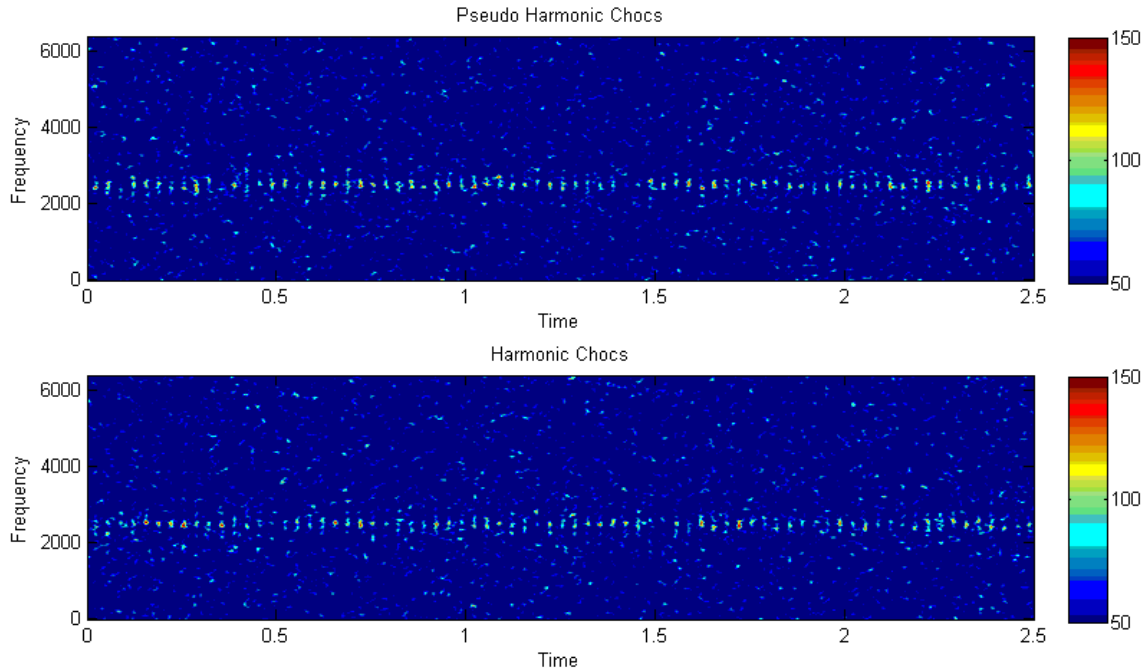


Figure 8 : Analyse temps-fréquence (STFT) du signal bruité

Il est clair au regard des figures 4 à 8 qu'il est très difficile sinon impossible de différencier les deux types de signaux et encore moins de distinguer les chocs synchrones et asynchrones, que le signal soit bruité ou non.

4.0 DÉTECTION DES CHOCS SYNCHRONES ET ASYNCHRONES :

La méthode développée pour classifier des chocs fait appel à la méthode statistique de la loi normale. Il suffit en effet, de suivre la période séparant les chocs, telle que déterminée par la transformée de Julien, sur un laps de temps d'une longueur suffisante pour constituer une population d'individus. Ayant stocké N périodes séparant des chocs, il suffit de tracer ensuite la densité de probabilité de ce vecteur.

Une variable aléatoire de moyenne m et d'écart type σ suit une loi normale $N(m, \sigma^2)$ si sa fonction de densité est :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

avec m , la valeur moyenne;
 σ , l'écart type

Cette fonction est asymptotique et symétrique selon x . La valeur maximale de $f(x)$ est $f(m)$.

La fonction de répartition $F(x)$, représente la probabilité qu'une variable soit comprise entre $-\infty$ et x :

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (2)$$

Très souvent, on saura qu'une variable x répond à une loi normale avec une moyenne m et un écart type connus et on devra déterminer la probabilité que la variable soit comprise dans un intervalle donné.

La figure 9 montre l'application de cette nouvelle méthode pour un signal faiblement bruité. L'abscisse représente la période des chocs ($\cong 1/30$ sec) et l'ordonnée, la densité de probabilité. Le signal contenant des chocs à 30 Hz, correspond donc à une période de 0,033s.

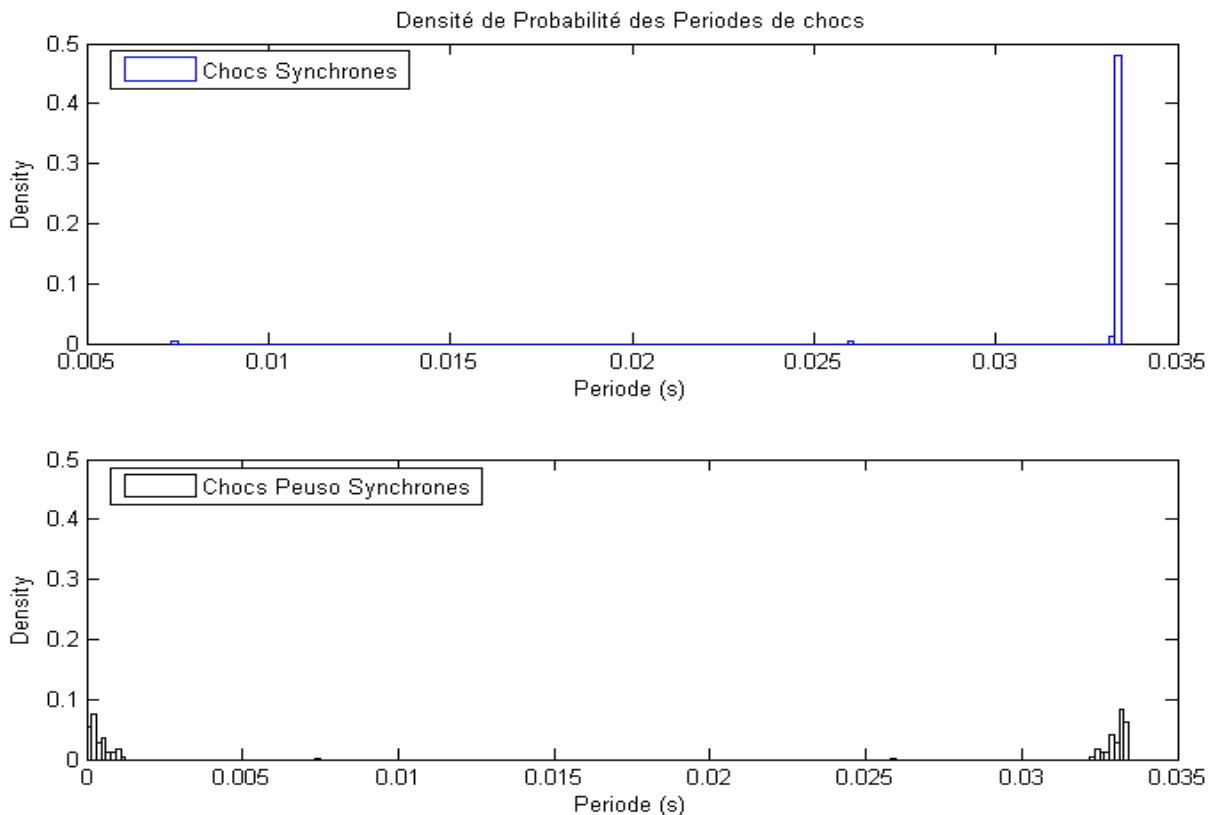


Figure 9 : Densité de probabilité de chocs pour un signal peu bruité

On constate qu'un signal ne contenant pas de glissement de la fréquence (ou période) présente une densité de probabilité nettement plus élevée que lorsqu'il y a glissement de la période.

La figure 10 montre que la probabilité d'avoir des chocs à une fréquence prescrite est très élevée (98.3%) lorsqu'il n'y a pas glissement alors qu'elle tombe à 22.6% lorsqu'il y a glissement des fréquences.

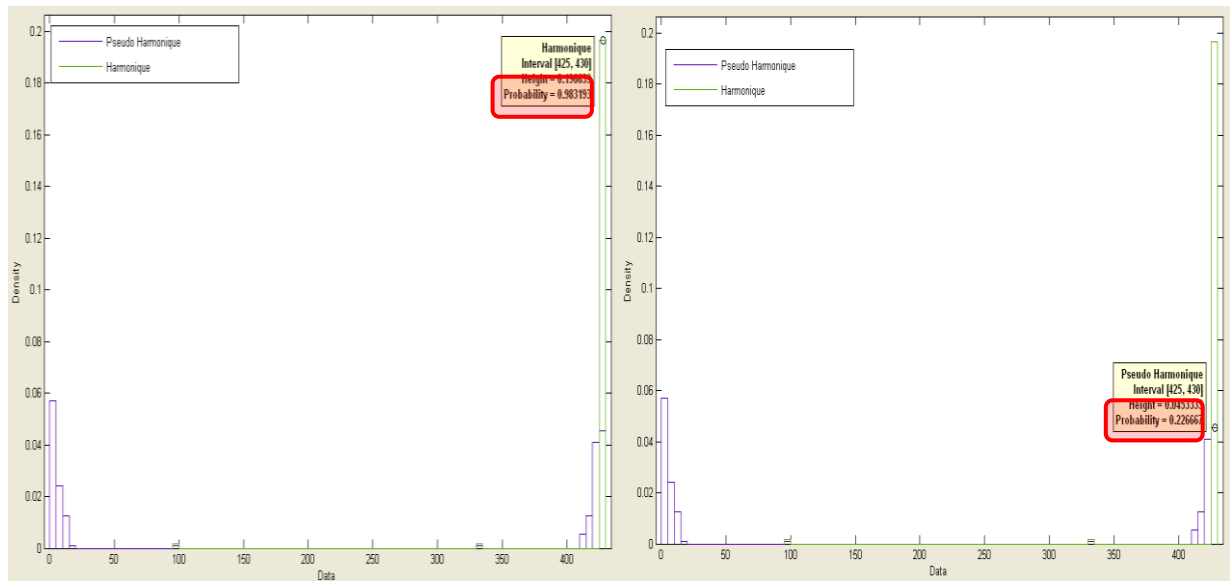


Figure 10 : Probabilité d’avoir des chocs à la fréquence prescrite

Lorsque le signal est fortement bruité, on observe une certaine dispersion de la densité de probabilité même pour des chocs parfaitement synchrones (figure 11). En effet, on peut remarquer que des chocs sont aussi détectés à d’autres périodes. Ceux-ci sont dus à la composante aléatoire qui a été rajoutée, ce qui brouille très légèrement la détection. Toutefois, il apparaît clairement que la densité de probabilité est beaucoup plus élevée pour un signal de chocs synchrones, même si le signal est fortement bruité.

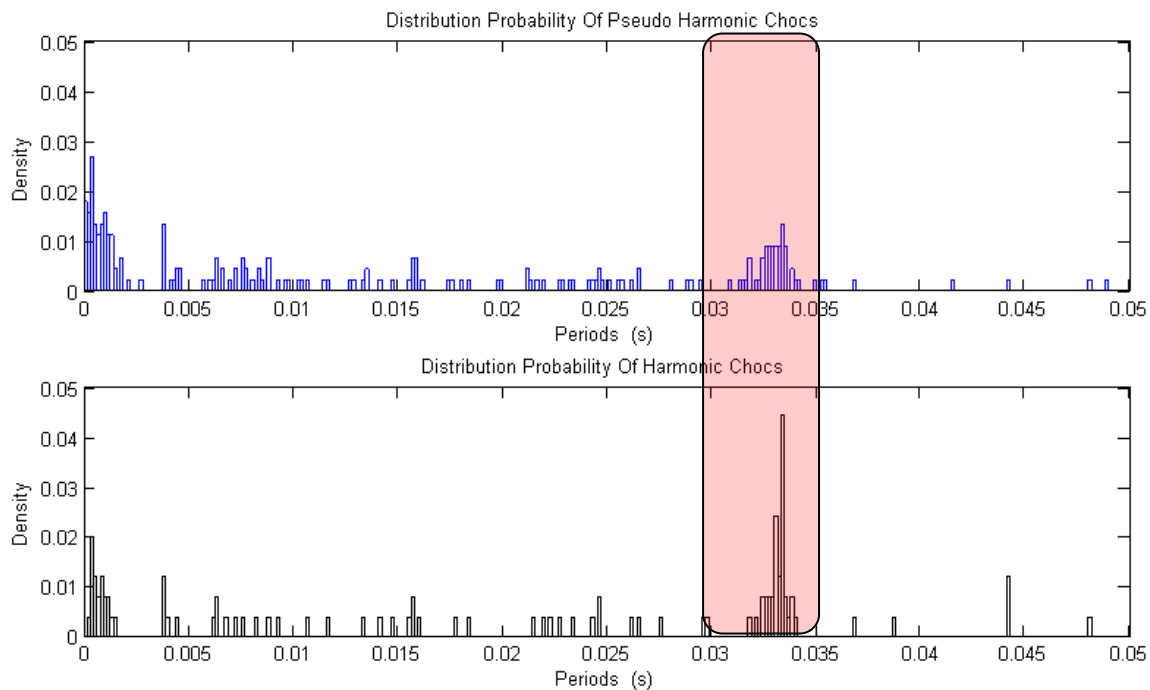


Figure 11 : Densité de probabilité des chocs pour un signal fortement bruité

Nous proposons donc qu'un critère de décision possible, pouvant servir de paramètre de suivi dans le cadre d'un programme de maintenance soit la probabilité calculée à la fréquence (ou période) des chocs.

Il est important de noter que la précision de la méthode est directement reliée à la longueur du signal enregistré. En effet, plus il y a de chocs, plus la population statistique est grande et donc plus la densité de probabilité est précise. Il faut noter aussi que la fréquence d'échantillonnage f_e doit être suffisamment grande pour détecter la légère dérive dans le temps, des chocs pseudo asynchrones. Si le choc dérive de t_d , pour des résultats optimaux, on préconise une période d'échantillonnage T_e qui est 5 fois plus petite que lorsqu'il n'y a pas de glissement.

5.0 CONCLUSION

Ce travail a permis d'élaborer une nouvelle méthode qui permet de distinguer un signal parfaitement synchrone d'un signal avec un faible glissement ou une faible variation de fréquence dans un signal vibratoire, en utilisant l'index Julien modifié comme détecteur de chocs. La technique est très simple et puissante car elle fait appel à des notions de statistique de base, à savoir la densité de probabilité d'une loi normale de la période séparant les chocs que détecte la transformée de Julien.

Une étude comparative des méthodes usuelles de traitement des données a montré que ces dernières étaient déficientes pour distinguer ce faible glissement.

Un suivi de la probabilité de chocs à la fréquence de chocs (vitesse de rotation d'un roulement par exemple) permet de détecter et de quantifier un glissement des fréquences.

6. REFERENCES

1. Archambault J., Archambault R. and Thomas M., Octobre 2002, *A new Index for bearing fault detection*, Proceeding of the 20th seminar on machinery vibration, Québec, 10 pages.
2. Thomas M., Archambault R. and Archambault J., October 2003, *Modified Julien Index as a shock detector: its application to detect rolling element bearing defect*, 21th seminar on machinery vibration, CMVA, Halifax (N.S.), 21.1-21.12.
3. Thomas M., Archambault R. and Archambault J., October 2004, *A new technique to detect rolling element bearing faults, the Julien method*, Proceedings of the 5th 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., Octobre 2005 : *The Rapid Julien transform: A new method to detect and process shock data in a signal*, Proceeding of the 23th seminar on machinery vibration, Edmonton, 14 pages.
5. Antoni J. and Randall R.B., 2002, Differential diagnosis of gear and bearing faults, ASME Journal of Vibration and acoustics, Vol 124, pp 165-171

7.0 REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement les fonds octroyés par le conseil de recherche en sciences et en génie du Canada (CRSNG) pour leur support financier.

8.0. BIOGRAPHIE

- ✓ Béchir Badri est un étudiant de maîtrise en génie mécanique à l'école de technologie supérieure, qui se spécialise dans le diagnostic des défauts de machines par surveillance vibratoire. Il entreprend ses études doctorales à l'ÉTS.
- ✓ Marc Thomas est un professeur en génie mécanique de l'école de technologie supérieure, spécialisé en maintenance, fiabilité et vibrations. Il est mentor du chapitre Québec de l'association canadienne en vibration de machines (ACVM). Il est le directeur de maîtrise (et de doctorat) de Béchir Badri.
- ✓ René Archambault, est le président de la compagnie canadienne INTERNATIONAL MEASUREMENT SOLUTIONS (IMS), Baie D'Urfé. Cette compagnie œuvre au niveau mondial, à la recherche de solutions dans le domaine du diagnostic de défauts de machines, de la surveillance vibratoire des machines et dans le traitement de signal. De nombreux logiciels de traitement de signal ont été créés par cette compagnie (Vibrexpertr, Adlib, etc.). René Archambault a été un précurseur du CMVA et est membre de la délégation canadienne ISO TC108 SC2 SC5 Shock & Vibration.
- ✓ Sadok Sassi est un professeur en génie mécanique de l'INSAT (Tunisie). Il est spécialisé en maintenance, vibrations, calcul de structures et matériaux intelligents. Il est le co-directeur de maîtrise de Béchir Badri.

BIOGRAPHY

- Béchir Badri is a graduate student at ÉTS. He is involved in the field of vibration signal analysis and simulation of damaged bearings dynamic behaviour.
- Marc Thomas is a professor in mechanical engineering at the École de Technologie Supérieure (Montreal) since 13 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 manager of a research group in structural dynamics DYNAMO at ETS and an active member of the CMVA (Chapter Quebec). 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, 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 actually a professor in mechanical engineering at the SOHAR university (Sultanat of Oman). He has a Ph.D. in mechanical engineering from "École Polytechnique de Montréal". His research interests are in vibration analysis, simulation of damaged bearings dynamic behavior and predictive maintenance.