



Rapport de projet de fin d'année

Surveillance des hélicoptères

Asmaa CHEKKOURI & Yousra ABOULHASSAN

2011 - 2012

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier notre encadrant, Mr Pekpe MIDZODZI, pour sa présence, son encadrement, ses conseils ainsi que son attention fournies de façon efficace tout au long de la réalisation de ce projet.

Nous voudrions également exprimer nos remerciements sincères à Mme Leila NACIB qui, par son expérience et son savoir-faire nous a permis de surmonter les difficultés et progresser dans notre projet.

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres du Jury qui nous font l'honneur de participer à la soutenance ainsi à toutes les personnes qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

TABLES DES MATIERES

Introduction	4
I. Les engrenages.....	5
1) Définition	5
2) Fréquence d'engrènement	5
II. Les sources de vibrations des engrenages	6
III. Différents types de détérioration des dentures d'engrenages.....	7
1) Défauts répartis sur toutes les dents.....	7
a) L'usure	7
b) Les piqûres (Pitting)	7
2) Défauts localisés sur certaines dents	8
a) L'Écaillage	8
b) Le grippage	8
c) La fissuration	8
IV. Les techniques d'identifications des défauts.....	8
V. Description du système étudié: Boîte de vitesse d'un hélicoptère	9
Acquisition du signal	10
VI. Comparaison des différentes méthodes de diagnostic	10
1) La transformée de Fourier rapide (FFT)	11
2) Le spectre	12
3) Le cepstre	13
4) Analyse temporelle.....	15
5) Analyse du temps moyen synchrone.....	16
Conclusion	17
Bibliographie	18

INTRODUCTION

La surveillance des hélicoptères est un problème crucial en termes de sécurité. En effet un défaut non détecté à temps peut s'aggraver et se propager et conduire à des dommages matériels importants, voire des pertes en vies humaines. C'est pour cela que d'importants moyens sont déployés pour la détection précoce des défauts des hélicoptères. La maintenance peut être faite de manière périodique, mais la maintenance périodique a montré ses limites puisque certains défauts peuvent apparaître de manière aléatoire. On a alors recours aux méthodes de surveillance conditionnelle basées sur différents tests réalisés de manière régulière. L'analyse de signaux vibratoires issus d'accéléromètres est l'une des méthodes les plus adaptées à ces tests. L'objectif de ce projet est d'implémenter des méthodes de diagnostic de pannes, basées sur l'analyse vibratoire pour la surveillance des hélicoptères. Nous allons donc mettre en œuvre une de ces méthodes fréquentielles basées sur la transformée de Fourier discrète pour la surveillance des hélicoptères. Aussi, le projet a pour but la caractérisation des défauts sur la partie mécanique de l'hélicoptère, en l'occurrence les engrenages, et ce à l'aide de leurs signatures fréquentielles. Afin de tester ces méthodes, sous Matlab Simulink, des données enregistrées en vols ont été mises à notre disposition.

Afin de comprendre la démarche que nous avons utilisée pour mener à terme notre projet, notre rapport se structure de la façon suivante :

Nous analyserons le problème en commençant par expliquer les sources de vibrations dans les engrenages ainsi que décrire les différentes anomalies, et ce afin d'étudier le sujet en question ; Nous visualiserons et comparerons par la suite les différents signaux avec et sans défauts, et donc à travers une étude concrète de ceux-ci, nous utiliserons des méthodes adéquates pour visualiser le défaut d'une façon claire et succincte pour pouvoir le reconnaître rapidement pour le corriger.

I. Les engrenages :

1) Définition :

Un engrenage est composé de l'ensemble de deux roues dentées engrenant l'une avec l'autre, permettant de transmettre de la puissance entre deux arbres rapprochés avec un rapport de vitesse constant. Selon la position relative des deux arbres, on distingue trois classes d'engrenages :

- ✚ Les engrenages parallèles (les 2 arbres sont parallèles)
- ✚ Les engrenages concourants (les 2 arbres sont tels que leurs prolongements se coupent).
- ✚ Les engrenages gauches (les 2 arbres occupent une position relative quelconque)

Les dentures d'engrenage peuvent être droites, hélicoïdales ou à chevrons.

Les amplitudes vibratoires générées par les engrenages à denture hélicoïdale sont généralement plus faibles que celles générées par les autres types de dentures.

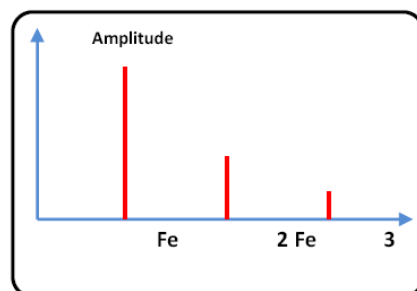


2) Fréquence d'engrènement :

Observons un engrenage, composé de deux roues dentées 1 et 2, présentant Z_1 et Z_2 dents et tournant aux fréquences F_1 et F_2 . Chaque fois qu'une dent de la roue menant 1 s'engage dans la roue menée 2, il se produit une prise de charge périodique au rythme d'engagement des dents selon une fréquence d'engrènement F_e égale à la fréquence de rotation de la roue multipliée par son nombre de dents, selon la relation suivante :

$$F_e = F_1 \cdot Z_1 = F_2 \cdot Z_2$$

- F_e : Fréquence d'engrènement
- F_1 et F_2 : fréquences de rotations des roues 1 et 2
- Z_1 et Z_2 : Nombre des dents des roues 1 et 2.



Si la denture est correcte, le spectre est constitué de composantes dont les fréquences correspondent à la fréquence d'engrènement ou à ses harmoniques.

II. Les sources de vibrations des engrenages:

L'engrenage dans une boîte de vitesse génère des vibrations normalement, et le signal de vibration correspondant pourrait être utilisé comme caractéristique de référence lorsque le train est en bon état mécanique.

Si des défauts se produisent à l'un des engrenages en cours de fonctionnement, la boîte de vitesses défectueuse entraînerait un préjudice grave. Les changements dans les signaux de vibration sont souvent une indication que l'un des engrenages est en mutation.

Par conséquent, la surveillance de l'état du système de la boîte de vitesses lors de son fonctionnement est cruciale, car elle a pour but d'empêcher le dysfonctionnement du système qui pourrait causer l'arrêt de celui-ci, voire même des dommages matériels ou humains. Jusqu'à maintenant la surveillance de l'état et l'identification de dommages des réducteurs industriels a reçu une grande attention par les chercheurs engagés dans des activités pluridisciplinaires.

Les progrès rapides dans la technologie des matériaux, et la technologie des capteurs intelligents, traitement du signal et technologies de l'information apportent de nouvelles solutions pour résoudre une variété de problèmes, liés aux pannes des boîtes de vitesses industrielles dans un environnement opérationnel réel avec précision et efficacité.

Ces méthodes sont bien établies dans la pratique industrielle et parmi elles, la technique de traitement du signal de vibration qui est bien connue. Toutefois, étant donné que les signaux de vibration mesurée à partir de boîtes de vitesses sont **non stationnaires et transitoires** dans la nature, lorsque le dommage se produit, il est encore plus intéressant de mener une enquête. Tous ces techniques ont certaines limites et ne peuvent pas être appliquées dans toutes les conditions, c'est à dire que certains types de défaillances ne peuvent pas être détectées par des méthodes simples de vibrations, il est donc plus souhaitable d'étudier les possibilités de certaines de ces méthodes. La simple analyse spectrale est généralement incapable de détecter les dommages d'engrenage à un stade précoce; pour cette raison, de nombreux chercheurs ont proposé l'application d'autres techniques d'évaluation des vibrations pour la détection précoce des symptômes de dommages.

Dans le domaine fréquentiel, l'apport de l'utilisation de l'analyse spectrale et cepstrale a été démontré dans plusieurs travaux. En effet, l'amplitude de la fréquence d'engrènement augmente progressivement avec l'augmentation de la taille de la fissure. En plus dans le cas d'un écaillage, des bandes latérales apparaissent autour de la fréquence d'engrènement et dont l'espacement correspond à la fréquence de rotation de la roue portant la dent défectueuse. Dans certains cas, ces bandes ne sont pas toujours visibles sur le spectre, et c'est la raison pour laquelle on utilise un autre outil de traitement de signal appelé cepstre, qui a la particularité de séparer les familles de raies permettant une détection claire du défaut.

Les engrenages sont largement utilisés dans les machines à transmission de puissance d'un arbre à un autre ; Ils sont généralement liés à un changement de vitesse et de couple.

En tenant compte du mécanisme réducteur, les sources de vibration les plus importantes sont: les variations de temps dans la raideur de masse, causées par la variation du nombre de dents en contact, et la variation de la raideur des dents individuelles; effets dynamiques causés par la déviation de profil de la dent idéale. Dans la pratique, tous les engins contiennent des erreurs de fabrication des dents, comme des

erreurs dues à la découpe de l'engrenage, l'écart dans l'angle d'engrènement, les écarts par rapport au profil en développante, la rugosité de surface des engrenages...etc.

En raison de ces mécanismes, l'amplitude de modulation du signal ou la fréquence de vibration peuvent être affectées, résultant dans des structures à bande latérale autour de la fréquence d'engrènement de l'engrenage et ses harmoniques.

Le fait que l'amplitude du signal vibratoire varie en fonction de la charge moyenne implique que les mesures de vibration doivent être comparées à des études vibratoires de la même charge à la fois.

III. Différents types de détérioration des dentures d'engrenages :

On distingue principalement deux catégories de défauts. Les défauts affectant toutes les dents : usure, piqûres... ; et ceux localisés sur des dents particulières : fissuration, écaillage. Les défauts localisés sur des dents particulières conduisent rapidement à la rupture de celles-ci, contrairement aux défauts tels que l'usure normale.

1) Défauts répartis sur toutes les dents :

a) L'usure

L'usure est un phénomène local caractérisé par un enlèvement de matière dû au glissement de deux surfaces, l'une contre l'autre. Le développement de l'usure est lié à la charge et à la vitesse de glissement en chaque point des surfaces de contact, ainsi qu'à la présence plus ou moins grande d'éléments abrasifs dans le lubrifiant.

L'usure normale progresse lentement, elle est inversement proportionnelle à la dureté superficielle de la denture. L'usure anormale se produit lorsque le lubrifiant est souillé de particules abrasives ou lorsque le lubrifiant est corrosif. Elle conduit à un mauvais fonctionnement de l'engrenage, voire à sa mise hors service.

b) Les piqûres (Pitting) :

Il s'agit de trous peu profonds, qui affectent toutes les dents. Le pitting est une avarie qui se produit surtout sur des engrenages en acier de construction relativement peu dur. Il est moins à craindre si la viscosité du lubrifiant est élevée. L'apparition des piqûres est associée aussi à un rapport épaisseur de film lubrifiant sur rugosité composite insuffisant pour éviter des contacts entre aspérités.

2) Défauts localisés sur certaines dents :

a) L'Écaillage :

Il se manifeste aussi sous forme de trous, mais ceux-ci sont beaucoup moins nombreux, plus profonds et plus étendus que ceux des piqûres. L'écaillage se trouve dans les engrenages cimentés, qui sont les plus répandus à l'heure actuelle car ils permettent de passer des couples importants avec des dimensions faibles. Ce type d'engrenage ne présente pratiquement pas de phénomène d'usure, l'écaillage, qui est le principal défaut, évolue rapidement vers la rupture. La cause est connue : la pression superficielle est trop importante.

b) Le grippage :

Il est la conséquence directe de la destruction brutale du film d'huile, sous l'effet de la température résultant d'un frottement sous charge. Le grippage est favorisé essentiellement par des vitesses élevées, de gros modules, un faible nombre de dents en contact. La probabilité de grippage est influencée par l'état physico-chimique du lubrifiant et par les conditions de mise en service.

c) La fissuration :

Elle progresse à chaque mise en charge, à partir d'un point initial situé presque toujours au pied de la dent. Elle apparaît surtout sur des aciers fins, durcis par traitement thermique, qui sont très sensibles aux concentrations de contraintes. L'apparition de ces fissures est la conséquence d'une contrainte au pied de la dent qui dépasse la limite de fatigue du matériau, et est en général située du côté de la dent sollicitée en traction.

IV. Les techniques d'identifications des défauts :

La plupart des techniques modernes pour la détection des dommages des engrenages sont basées sur l'analyse des signaux vibratoires acquises à partir de la boîte de vitesse. L'objectif commun est de détecter la présence d'une faute, rarement le type de défaut à un stade précoce de développement et de suivre son évolution, afin d'estimer la durée résiduelle de la machine. Il est bien connu que les éléments les plus importants dans les spectres de vibration sont **la fréquence d'engrènement** et leurs harmoniques, ainsi que **les bandes latérales de modulation**.

Les modulations d'amplitude sont présentes quand un engrenage entraîne un autre engrenage monté sur un arbre tordu ou mal alignés. S'il y a un défaut d'engrenage local, la vitesse angulaire vitesse pourrait changer en fonction de rotation. Suite à la variation de vitesse, des modulations de fréquence peuvent se produire. Dans de nombreux cas, l'amplitude et la modulation de fréquence sont présentes.

L'augmentation dans le nombre et l'amplitude des bandes latérales de indique souvent des conditions défectueuses. Depuis des fréquences de modulation résultent de défauts de certains composants de la machine y compris l'engrenage, le roulement, et l'arbre. La détection du signal de **modulation** est utile pour détecter le défaut.

Ces types de modèles spectraux présentent une situation typique dans laquelle l'examen de la forme d'onde temporelle est souvent utile pour déterminer le problème spécifique qui est réellement la cause des vibrations de la machine.

V. Description du système étudié: Boîte de vitesse d'un hélicoptère

Notre projet traite les deux arbres d'engrenages NGR et NGL visualisés ci-dessous :

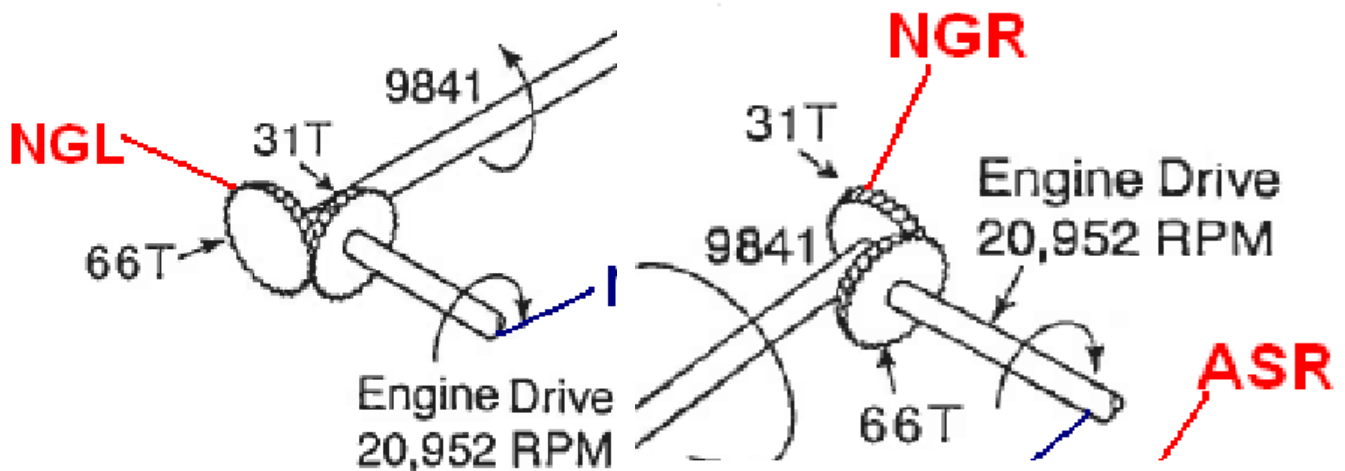


Figure 1: Parties étudiées de la boîte de vitesse d'un hélicoptère

NGL : Noise Gear Left

NGR : Noise Gear Right

Acquisition du signal :

Le système utilisé pour l'obtention des signaux est un test Banc d'une transmission mécanique, qui est composé de plusieurs arbres rotatifs, un moteur, une paire d'engrenages, une ceinture et des roulements à plusieurs billes.

VI. Comparaison des différentes méthodes de diagnostic :

Dans cette étude on va travailler sur des données réelles (données enregistrées pendant le vol), en utilisant les différentes méthodes de diagnostic des défauts, et ce en comparant à chaque fois le signal avec défaut et le signal sans défaut afin de caractériser le type de défaut. Sachant que le défaut sur lequel nous allons travailler est Gear tooth crack, à savoir la fissure des dents des engrenages NGR et NGL. (Noise Gear Right et Noise Gear Left) .

Pour NGR et NGL, les caractéristiques sont les suivantes :

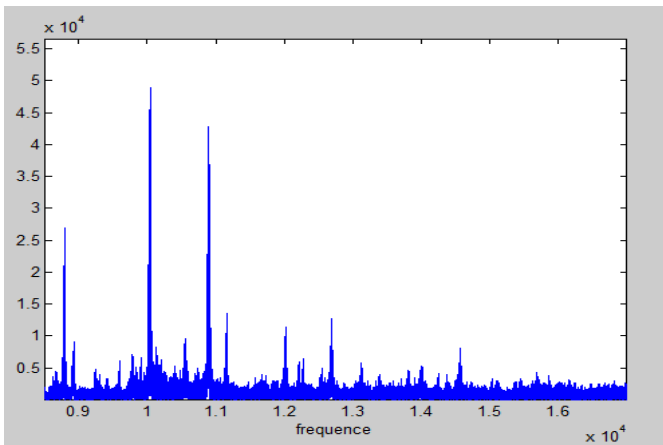
- Le nombre de dents est le même que NGR, i.e : respectivement de **31** dents sur la première roue et **66** dents sur la seconde.
- La vitesse de rotation de l'arbre d'entrée du réducteur est: $Rpm = 20952 \text{ tours / min}$, donc la fréquence de rotation est de $F_r = 349.2 \text{ Hz}$ et 164.017 Hz sur l'arbre de sortie.
- la fréquence d'engrènement est $F_e = 10825 \text{ Hz}$.

Les différentes méthodes de résolutions utilisées sont : **la FFT, le spectre, le cepstre et l'étude du signal temporel.**

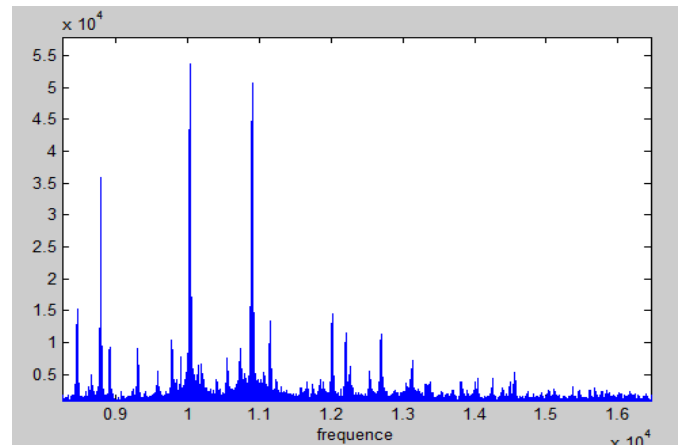
1) La transformée de Fourier rapide (FFT) :

Une des caractéristiques les plus connues pour les signaux de vibrations générés par les roulements et qu'elle représente différents types de séries d'harmoniques. Ces harmoniques se composent des multiples de la fréquence de défaut et de la bande latérale de la fréquence de rotation.

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin(2 \pi t / T) + A_2 \sin(4 \pi t / T) + \dots + A_n \sin(2n \pi t / T)$$



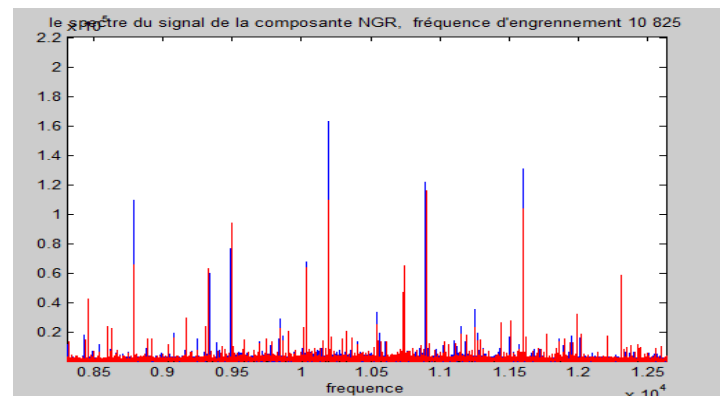
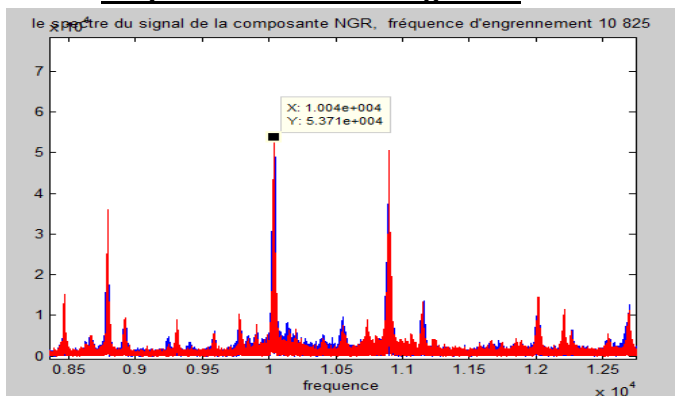
FFT d'un signal sans défaut de type NGR
fréquence=10825Hz



FFT d'un signal avec défaut 301 de type NGR
fréquence=10825Hz

On peut voir ici que l'amplitude de la raie fondamentale et ses multiples a augmenté ce qui confirme la cassure d'une dent.

la synchronisation des signaux :



La fréquence d'engrènement est de 10 825 HZ, on remarque qu'on a une grande raie à 10 040 Hz à cause des phénomènes de vibrations. Donc nous devons resynchroniser les signaux pour pouvoir distinguer les défauts des phénomènes de vibrations.

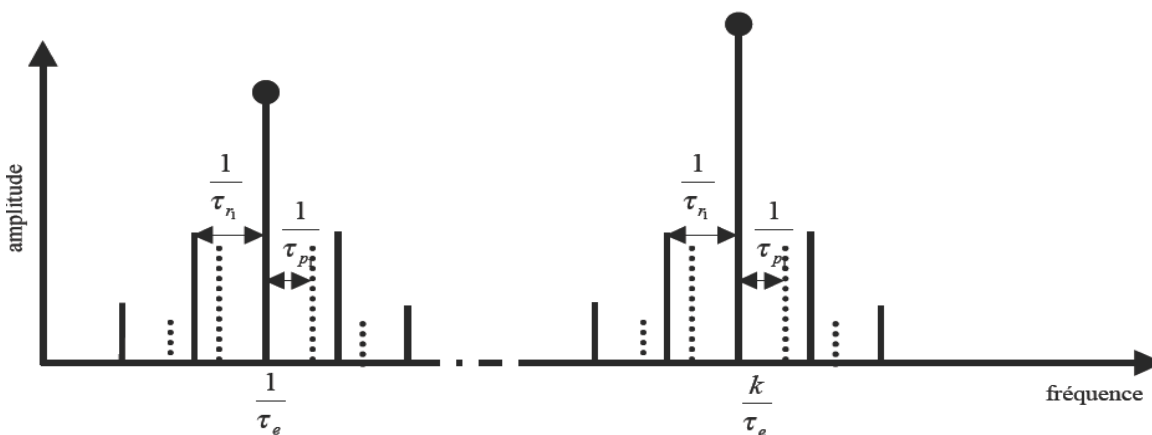
Après resynchronisation des signaux on peut voir les raies qui n'existaient pas dans le signal sans défauts et maintenant à cause des phénomènes de vibrations et de la présence des défauts ou l'augmentation de leur amplitude.

Quand il y a un défaut la fréquence de rotation augmente et aussi le nombre d'échantillons par période, donc avec la synchronisation on impose le nombre d'échantillons par période ce qui rend le signal moins bruité.

2) Le spectre :

La première méthode à investiguer pour détecter des harmoniques dans un signal est l'analyse spectrale. L'intérêt de l'analyse spectrale est de pouvoir dissocier et identifier les sources vibratoires en fonction des caractéristiques cinématiques des différents éléments constitutifs et de leur vitesse de rotation (ou de leur fréquence de mouvement). La caractéristique la plus marquante du signal, est la modulation d'amplitude due à la rotation des roues.

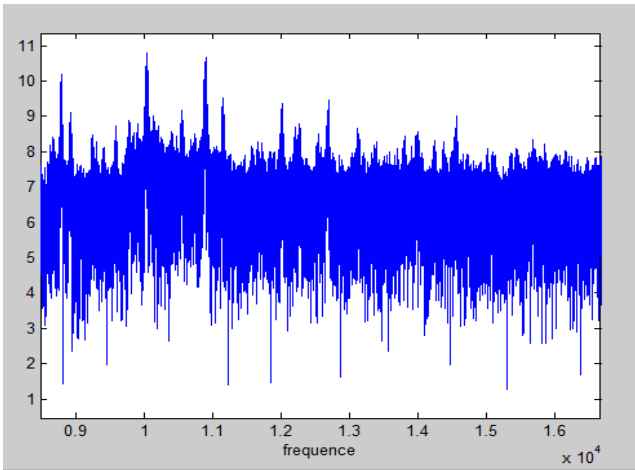
Le spectre sera composé par une famille de raies de fréquence due au fondamental et aux harmoniques du signal d'engrènement. Cette famille de raies est étalée sur une grande partie du spectre, car la nature du signal d'engrènement est de type large bande. De plus, la modulation d'amplitude se traduit par la présence de bandes latérales autour des harmoniques d'engrènement, à des distances multiples pour la modulation due au pignon, et pour la modulation due à la roue.



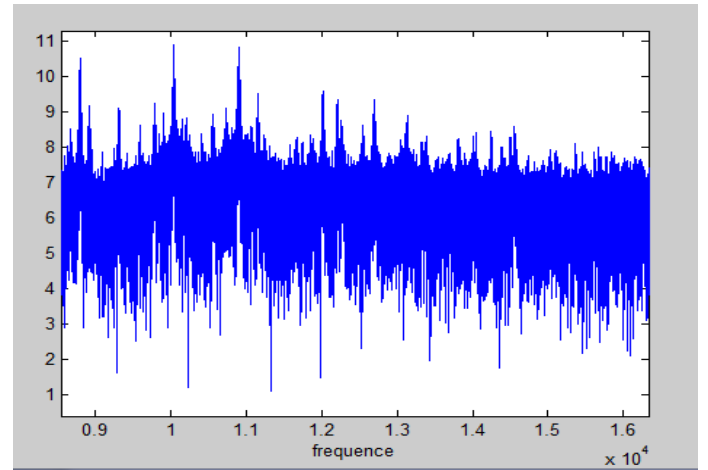
En réalité, l'amplitude de toutes les raies est pondérée par la réponse impulsionnelle de la structure mécanique reliant la source excitatrice au capteur.

Considérons un engrenage, si la denture est correcte, le spectre vibratoire aura la même allure que celle définie sur la figure ci dessus, avec des bandes latérales d'amplitudes données. Si l'une des deux roues possède une dent détériorée, il se produit alors, un choc périodique à la fréquence de rotation de cette roue. Ce choc modulera en amplitude le signal d'engrènement, il y aura donc une **augmentation du facteur de modulation** de la roue considérée, et **donc une augmentation d'amplitude de ses raies latérales**.

On considère dans cet exemple, que le spectre d'énergie est obtenu à partir de la transformée de Fourier. Celle-ci est calculée sur le signal vibratoire moyenné de manière synchrone par rapport à la période de rotation de la roue à surveiller.



Spectre d'un signal sans défaut de type NGR
fréquence=10825Hz



Spectre d'un signal avec code défaut 301 de
type NGR fréquence=10825Hz

A travers cette méthode, on aperçoit une augmentation de l'amplitude des raies. Néanmoins, cette méthode reste insuffisante, dans la mesure où l'augmentation de l'amplitude des raies est peu apparente, d'où le recours à des méthodes plus sophistiquées.

3) Le cepstre

Le **cepstre** (anagramme de spectre) d'énergie est un opérateur homomorphique introduit par Bogert en 1963 pour faire de la détection d'écho. Dans les systèmes mécaniques tournants, les signaux ont un caractère périodique après échantillonnage synchrone, de plus les défauts induisent des motifs récurrents pouvant être considérés comme un système d'échos multiples, c'est la raison pour laquelle il est utilisé. On trouve plusieurs définitions du cepstre d'énergie dans la littérature. Celle qu'on utilise est la suivante :

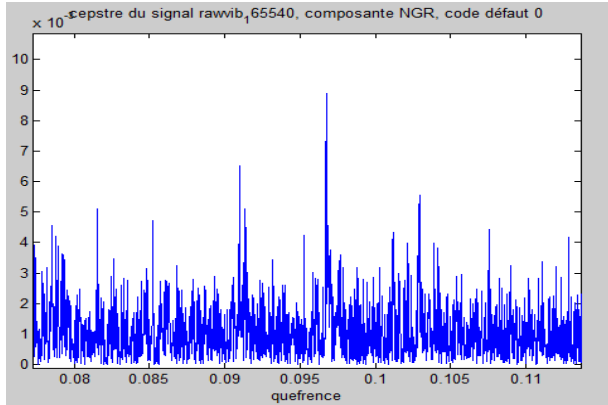
$$C(n) = FFT^{-1}(\log|FFT(x_n)|) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \log(|X(e^{jw})|) e^{jwn} dw$$

Où S est la transformée de Fourier du signal s . Bien que la variable générique du cepstre ait la dimension d'un temps, elle est souvent appelée **quéfrence** car le cepstre peut être interprété comme **le spectre d'un spectre**. On remarque que le cepstre d'énergie transforme le produit de convolution $s(t)=h(t)*e(t)$ en une addition $s(t)=h(t)+e(t)$.

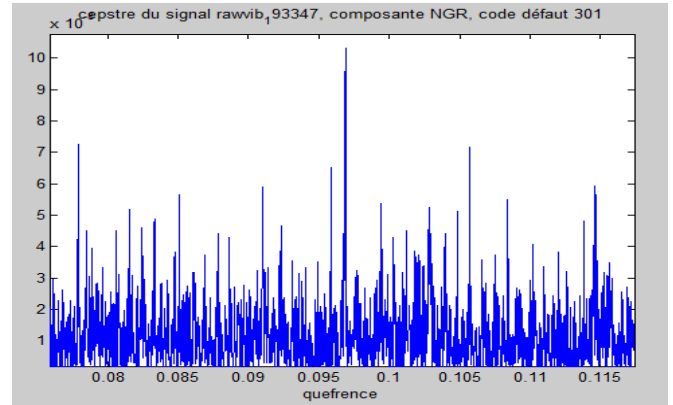
Le cepstre d'énergie d'un signal accélérométrique, pour une position donnée du capteur, est donc la somme du cepstre de la fonction de transfert source-capteur qui caractérise le système et du cepstre de l'excitation. Dans le cas des signaux d'engrenage, cette propriété est à l'origine d'une certaine indépendance du cepstre d'énergie vis à vis de la position du capteur.

Le cepstre est donc la transformée de Fourier appliquée au logarithme de la transformée de Fourier d'une variable $x(t)$. Le résultat s'exprime selon une variable uniforme du temps : la quéfrence q . La transformée de Fourier d'un signal permet de mettre en évidence les périodicités d'un signal temporel. Ainsi, le cepstre met en évidence les périodicités d'une transformée de Fourier. Le cepstre fournit donc une information sur l'existence de peignes de raies ainsi que sur leurs fréquences.

Nous réalisons donc sur Matlab une analyse cepstrale des signaux NGR avec et sans défauts. Les résultats sont les suivants :



Cepstre d'un signal sans défaut de type NGR
fréquence=10825Hz

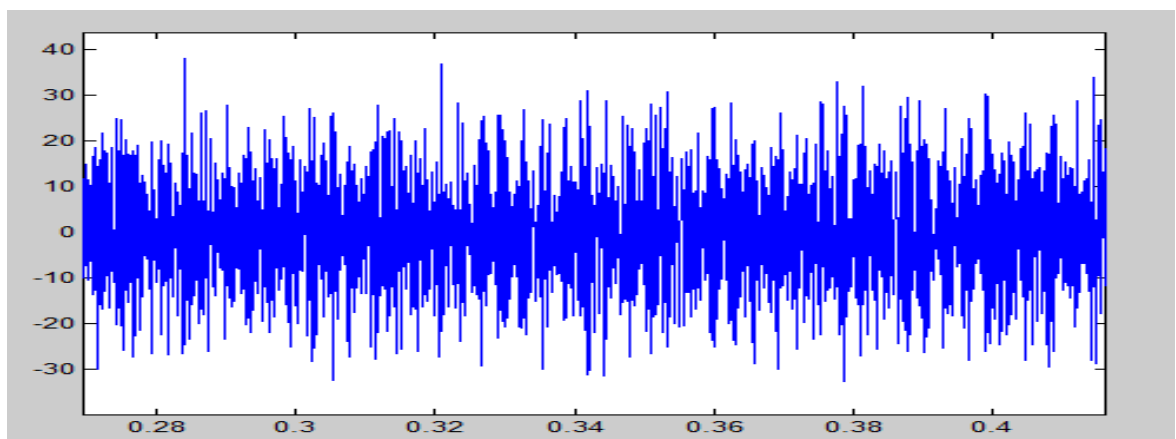


Cepstre d'un signal avec défaut 301 de type
NGR fréquence=10825Hz

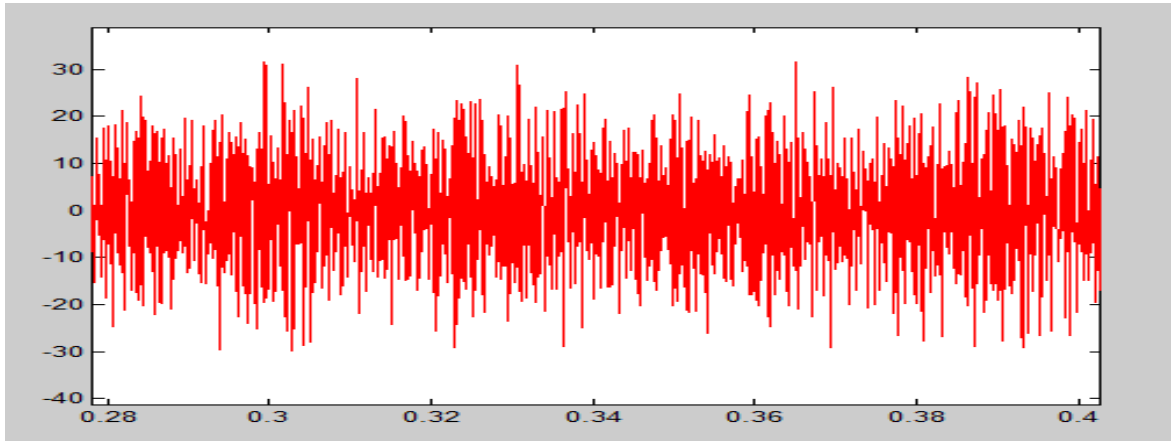
Ainsi, et grâce à la méthode du cepstre se confirme la présence d'un défaut à travers l'augmentation très claire de l'amplitude des raies.

4) Analyse temporelle :

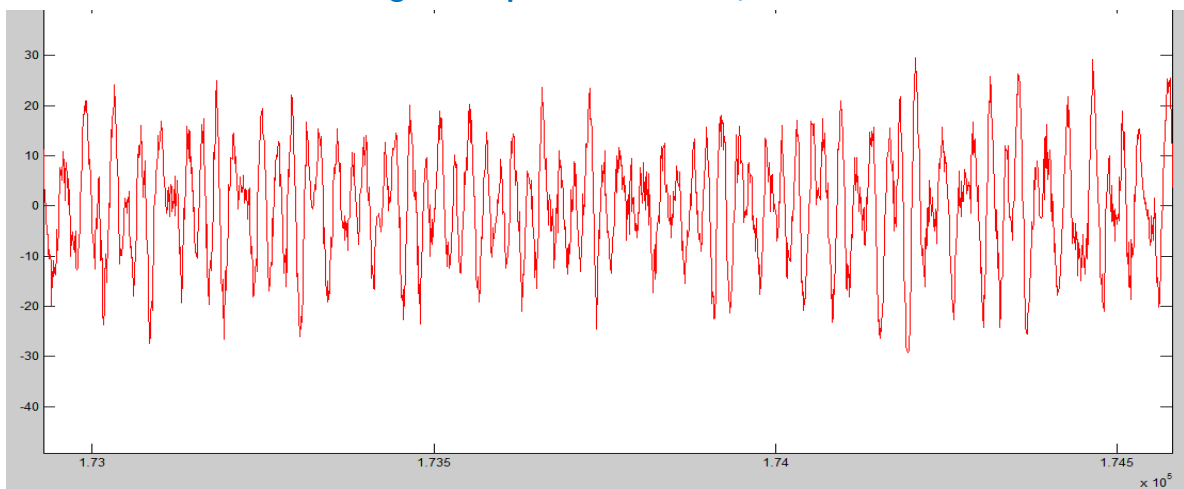
L'étude des formes d'onde en fonctions du temps peut être très complexe graphiquement pour la recherche, mais peut souvent déceler les problèmes qui ne sont pas techniques. Des problèmes particuliers peuvent générer des spectres de vibration très similaires, et peuvent aussi générer des signaux différents et provoquer différentes amplitudes. Comme un argument majeur pour l'utilisation de formes d'onde en fonctions du temps est la période qui pourrait être associé à une certaine forme de dommages ou d'irrégularités. Le signal temporel est également la principale source pour toute autre analyse et le bon usage de celui-ci peut donner des résultats fiables.



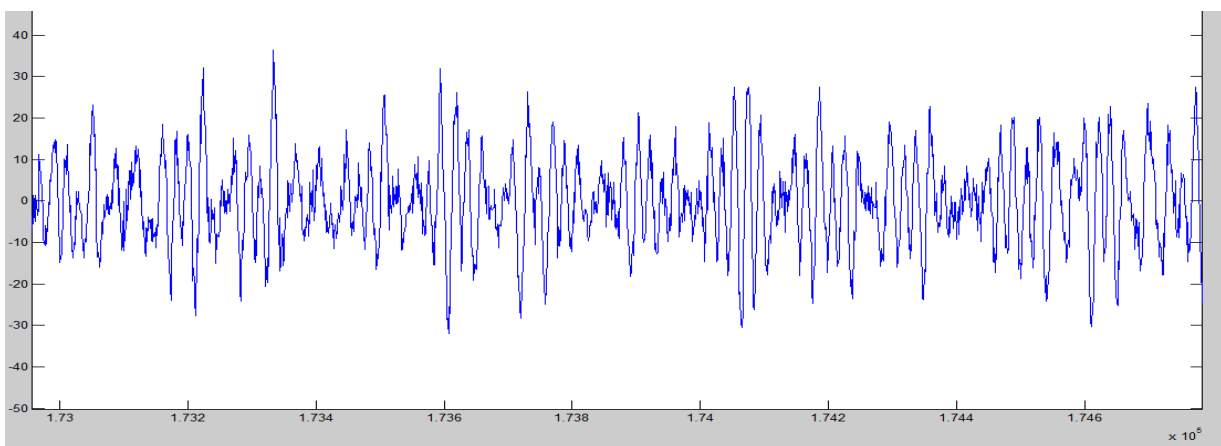
Signal temporel sans défaut, code 0



Signal temporel avec défaut, code 301



Zoom sur le signal défectueux précédent



Zoom sur le signal sans défaut

Dans le signal sans défaut, on observe une modulation du signal qui est presque périodique, alors que quand il y a un défaut, le signal perd sa périodicité et il devient difficile de trouver la période.

5) Analyse du temps moyen synchrone:

Le temps moyen synchrone est une méthode utilisée pour régler la contribution d'un arbre individuel et ses engrenages associés à la signature des vibrations très complexes d'un réducteur à plusieurs étages.

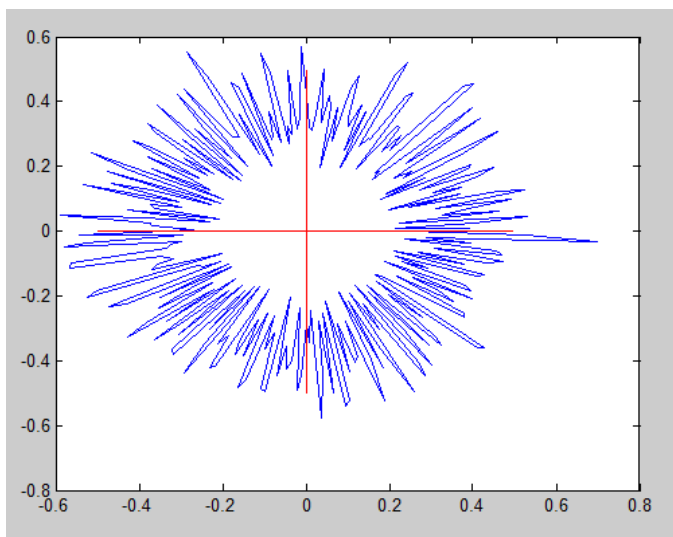
La moyenne atténue le bruit aléatoire, ainsi que le bruit non synchrone à partir des arbres et des engrenages dont les périodes de rotation ne correspondent pas à la période moyenne. Il est possible de concentrer l'analyse sur les engrenages d'un arbre spécifique.

L'idée est qu'il est plus facile de détecter un défaut dans le cas d'une fréquence dominante attendue dans un engrenage dont les signaux de vibration ont été enlevés. La figure suivante montre la moyenne synchrone circulaire et le changement relié à l'arbre de pignon.

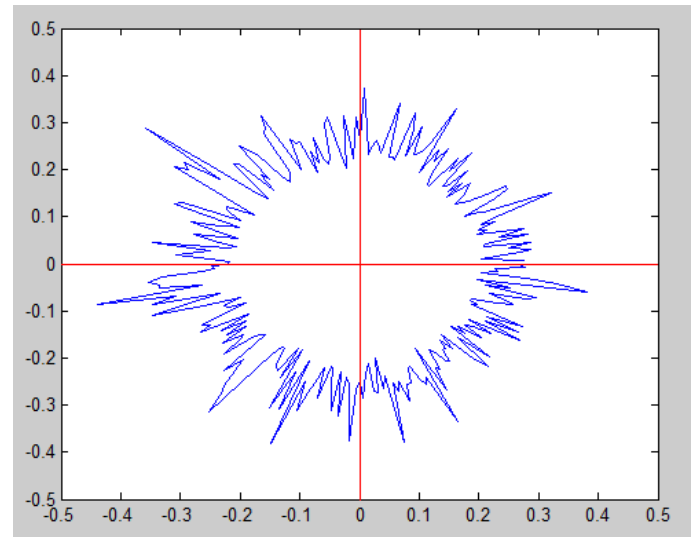
Pour NGR :

- ✚ La vitesse de rotation est 20 952 RPM pour la roue à 31 dents et 9841 RPM pour la roue à 66T.
- ✚ La période de rotation de l'arbre est de 0,006 secondes.
- ✚ La fréquence d'échantillonnage est : 48 000 Hz
- ✚ Le signal contient 1666 échantillons
- ✚ Le nombre d'échantillons par période : $N = f_e * T = 288$

Ainsi, les résultats de la moyenne synchrone obtenus sur NGR avec et sans défauts sont les suivants :



Le signal avec défaut 301 de type NGR
fréquence=10825Hz



Le signal sans défaut de type NGR
fréquence=10825Hz

Le principal avantage du temps synchrone moyen est la possibilité de diviser les signaux de vibrations d'une boîte en des signaux plus simples pour chaque arbre. L'inconvénient est la nécessité de beaucoup de matériels de mesure. Capteurs supplémentaires sont nécessaires pour mesurer la vitesse de rotation.

CONCLUSION

Bien que de nombreuses réalisations soient encore possibles, le projet est arrivé à un résultat intéressant, qui remplit les objectifs fixés dans le cahier des charges.

Nous avons donc réussi à déployer plusieurs moyens pour la détection précoce des défauts des hélicoptères et donc la reconnaissance des défauts d'engrenages NGR de type « Cassure de dent », en les visualisant sur Matlab, et ce, en ayant recours aux méthodes de surveillance, basées sur l'analyse vibratoire des signatures fréquentielles issues des accéléromètres liés à ces engrenages.

Notons que ces méthodes restent qualitatives dans la mesure où leurs résultats admettent une présence obligatoire d'une personne pour comparer à chaque vue des résultats les différences entre les signaux et en déduire l'existence ou non de l'erreur. Ces méthodes restent donc insuffisantes et peuvent être l'objet d'une étude plus poussée, qui a pour but l'automatisation des résultats, c'est-à-dire la création d'un programme automatique, capable de détecter les défauts sans l'indispensabilité de la présence d'un spécialiste derrière chaque hélicoptère.

Ce projet nous a permis de découvrir plusieurs outils Matlab – Simulink en mettant en œuvre des connaissances acquises jusqu'à présent en IMA ; Cela nous a permis notamment de les développer en utilisant plusieurs fonctions : FFT, spectre, cepstre, signaux temporels, moyenne synchrone et synchronisation de signaux, qui ont pour but le diagnostic de ces pannes.

Enfin, ce projet aura été l'occasion d'apprendre à travailler en binôme, d'une façon autonome et efficace, nous a amené à enrichir notre savoir et notre expérience, et nous a permis de nous initier à la recherche, dans une optique éventuelle de poursuite d'études dans ce domaine qui évolue sans cesse.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- A. FERNÁNDEZ, *J. BILBAO, I. BEDIAGA, A. GASTÓN, J. HERNÁNDEZ
Control Engineering Department *Department of Applied Mathematics
Ideko Research Centre University of the Basque Country
Pol. Ind. Arriaga, 2 20870 Elgoibar School of Engineering Alda. Urkijo, s/n 48013 - Bilbao
SPAIN
<http://www.ideko.es>
- 2- Baptiste TRAJIN soutenue le 1 Décembre 2009
Analyse et traitement de grandeurs électriques pour la détection et le diagnostic *de défauts mécaniques dans les entraînements asynchrones*
Application à la surveillance des roulements à billes.
- 3- Rusmir Bajrić¹, Denijal Sprečić², Ninoslav Zuber³
1-Coal Mines Kreka, Open pit mine Dubrave, Tuzla, Bosnia & Herzegovina
2-Faculty of Mechanical Engineering, University of Tuzla, Tuzla, Bosnia & Herzegovina
3-Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia
- 4- RANDALL R.B., HEE J. 1981, "Cepstrum analysis", Brüel & Kjær Technical Review, No. 3, 3-40.
- 5 - Leon Cohen, Hunter College, "Time-frequency analysis", Prentice Hall Inc., 1995.