

Analyse temps-fréquence appliquée aux signaux vibratoires relevés en tournage

ABDELJALIL OUAHABI, WAFAA RMILI & ROGER SERRA

LMR EA 2640, Polytech'Tours, 7 avenue M. Dassault, 37200 Tours,
E-mail : ouahabi@univ-tours.fr rmili@univ-tours.fr roger.serra@univ-tours.fr

Résumé :

En vue de suivre l'usure des outils de coupe en usinage à partir de signaux vibratoires, nous proposons dans cet article une méthode fondée sur une analyse conjointe en temps et en fréquence (Transformée de Fourier à Court Terme, Transformée en Ondelettes) des signatures vibratoires mesurées en tournage. Cette technique d'analyse permet la détermination de plusieurs indicateurs d'usure (niveau vibratoire, détection d'événements brusques, fréquences caractéristiques, élargissement spectrale...).

L'évolution de ces descripteurs indique les points de transition de l'état d'usure de l'outil de coupe durant ses trois phases de vie : rodage, stabilisation et vieillissement.

Abstract :

In order to study the cutting tool wear evolution during machining, we propose in this paper signal processing method based on time frequency analysis (short Fourier Transformed, Wavelette transformed) using the vibratory signatures acquired during turning process. This analysis technique allow the determination of several wear indicators (vibratory level of characteristic frequency, spectrum widening,...).

These indicators evolution show the transition point of the cutting tool state during its life witch divided in three stages: breakingin period, wear stabilisation and wear acceleration.

Mots-clefs :

Usure d'outil ; signaux vibratoires ; temps-fréquence

1 Introduction

L'usinage par enlèvement de matière reste le procédé de fabrication le plus important dans l'industrie mécanique. Cependant, l'influence de l'usure des outils coupants sur la qualité de l'état de surface et la durée de vie de l'outil coupant demeure le problème principal auquel sont confrontés les professionnels de l'usinage.

Le tournage est un procédé d'usinage particulier comportant à la fois : une pièce mobile, un outil à plaquette unique et une coupe continue (la matière défile en continu sur la face de coupe). Ces spécificités rendent l'étude de la durée de vie des outils plus complexe.

Le phénomène d'usure s'avère évolutif et se développe au cours de la coupe ce qui nuit à la qualité de l'usinage ainsi qu'à la productivité et surtout peut conduire à la destruction de l'outil dans le cas d'une usure excessive. Pour ces raisons, il est recommandé de développer un système de surveillance en usinage afin d'évaluer l'état d'usure de l'outil de coupe et prédire sa durée de vie.

L'exploitation des signaux vibratoires acquis en usinage permet d'estimer et de surveiller l'état d'usure de l'outil de coupe en suivant l'évolution de divers paramètres pertinents. En d'autres termes, la présence d'irrégularités mécaniques peut être décrite par un changement de ces paramètres.

Plusieurs travaux ont proposé d'exploiter différents types de signaux issus de l'usinage tels que les efforts de coupe Li (2002), l'émission acoustique Kuljanic et al (2005) et les vibrations Martin (1973), Scheffer et al (2001) dans le but d'en extraire l'information nécessaire pour réaliser une surveillance efficace. Plusieurs techniques de traitement de signal ont été adoptées, notamment les méthodes fréquentielles, temporelles, statistiques et l'analyse conjointe temps-fréquence.

Les signaux vibratoires relevés sur les systèmes mécaniques en fonctionnement contiennent l'information utile relative à l'état des composants de la machine (roulements, engrenage, outil de coupe...); l'exploitation de ces signaux permet de suivre l'état de l'outil de coupe.

La manifestation d'irrégularités mécaniques (instabilités, bris, usure...) se manifeste par un signal très bref correspondant à une non stationnarité. D'où l'intérêt d'utiliser des techniques de traitement du signal capables de suivre dans le temps des changements rapides de caractéristiques.

L'analyse des signaux non-stationnaires nécessite la mise en œuvre d'outils spécifiques parmi lesquels émergent les distributions temps-fréquence et temps-échelle, qui constituent une alternative intéressante aux techniques d'analyse spectrale classiques en incluant explicitement une dimension supplémentaire d'évolution temporelle. Celles-ci offrent une grande variété d'espaces de représentations, à la mesure de la diversité des objectifs potentiellement visés par l'utilisateur. Par exemple, il est possible de privilégier l'intelligibilité de l'information délivrée par une représentation en y limitant les manifestations de bruits et autres termes interférentiels nuisant à sa lisibilité Blodt (2006).

Dans ce contexte de surveillance de l'outil de coupe, nous avons utilisé trente plaquettes de coupe de même type. Ceci dans l'objectif d'étudier la répétabilité des résultats trouvés par analyse vibratoire et confirmés par un contrôle direct des plaquettes utilisées.

Ce travail consiste à réaliser une analyse conjointe en temps et en fréquence sur les signaux vibratoires générés en usinage afin de déterminer l'usure des outils de coupe. Deux méthodes d'analyse sont proposées ici : la transformée de Fourier à court terme et la transformée en ondelettes. La comparaison de ces deux méthodes du point de vue de leur capacité à suivre l'évolution du développement de l'usure sur les outils de coupe, et par rapport à leur mise en œuvre numérique.

2 Partie expérimentale

2.1 Usinage

Le but de cette opération était de reproduire une usure réelle de trente plaquettes de coupe en tournage, particulièrement le chariotage. Pour cela, les conditions de coupe sont: avance $V_f = 0.18$ mm/Tr, profondeur de passe $a_p = 1.5$ mm, vitesse de coupe constante $V_c = 340$ m/min et sans lubrification. La durée de chaque passe d'usinage étant d'une minute.

Ces essais ont été réalisés sur un tour à commande numérique, en utilisant un outil de coupe DCLNL 2525M 12 portant une plaquette de carbure de tungstène revêtue CNMG 1204 125B OR2500 sur une fonte grise à graphite lamellaire (FGL 250).

2.2 Mesure des signaux vibratoires

Les signaux vibratoires générés en usinage ont été mesurés à l'aide d'un système d'acquisition et d'analyse Brüel&Kjaer, composé d'un logiciel PulseLabShop et d'un accéléromètre piézo-électrique triaxiale (X Y Z) de type 4520. Pour une bonne acquisition, le capteur a été placé le plus proche possible de la zone d'usinage et sur un endroit fixe conformément à la figure 1.

Les vibrations sont enregistrées pendant 70 secondes dont 60 secondes représentent la durée de chaque passe d'usinage et 10 secondes représentent le temps nécessaire pour l'entrée et la sortie de l'outil par rapport à la pièce à usiner. L'acquisition a été effectuée à une fréquence d'échantillonnage de 16.38 kHz. Le traitement des signaux collectés a été établi à l'aide de notre logiciel d'analyse développé dans l'environnement Matlab.

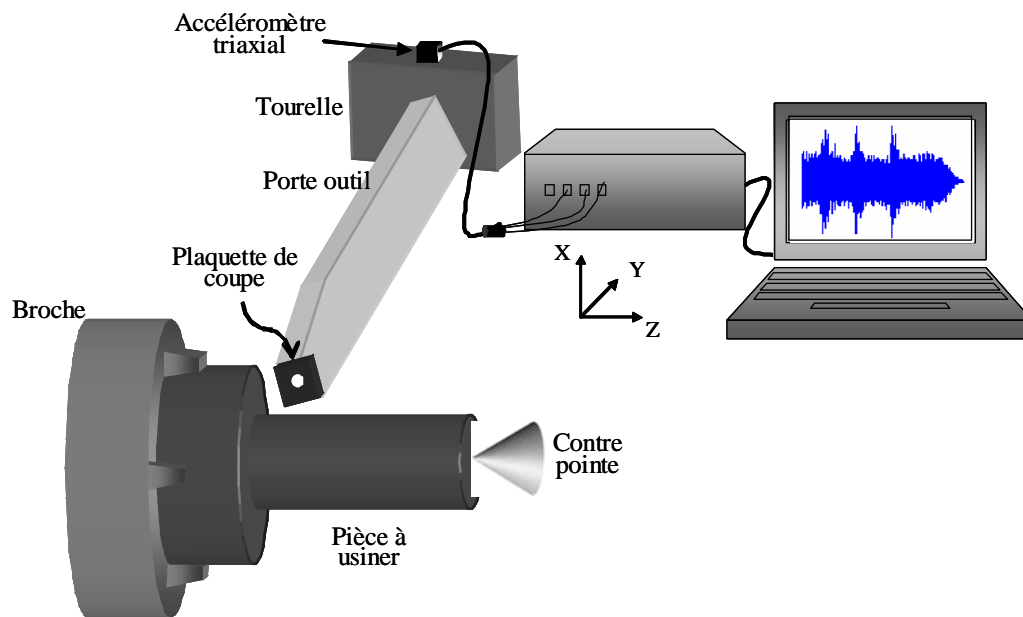


FIG. 1 – Schéma de la chaîne d'acquisition

2.3 Mesure de l'usure des outils de coupe

Dans ce travail, un profilomètre interférométrique 3D Wyko-NT 1100 a été utilisé pour surveiller le développement progressif de la facette d'usure en dépouille après chaque passe d'usinage. Grâce à cet appareil, des images 3D de la surface d'usure ont été générées et finement analysées par ce procédé. Les figures 2-a et 2-b représentent l'exemple d'une plaquette à l'état neuf et la même plaquette à l'état usé.

Les essais d'usinage ont été arrêtés lorsque la largeur de l'usure en dépouille VB atteint ou dépasse la valeur de 0.3 mm, synonyme de la fin de la vie de l'outil de coupe dans les conditions d'usinage choisies dans cette étude.

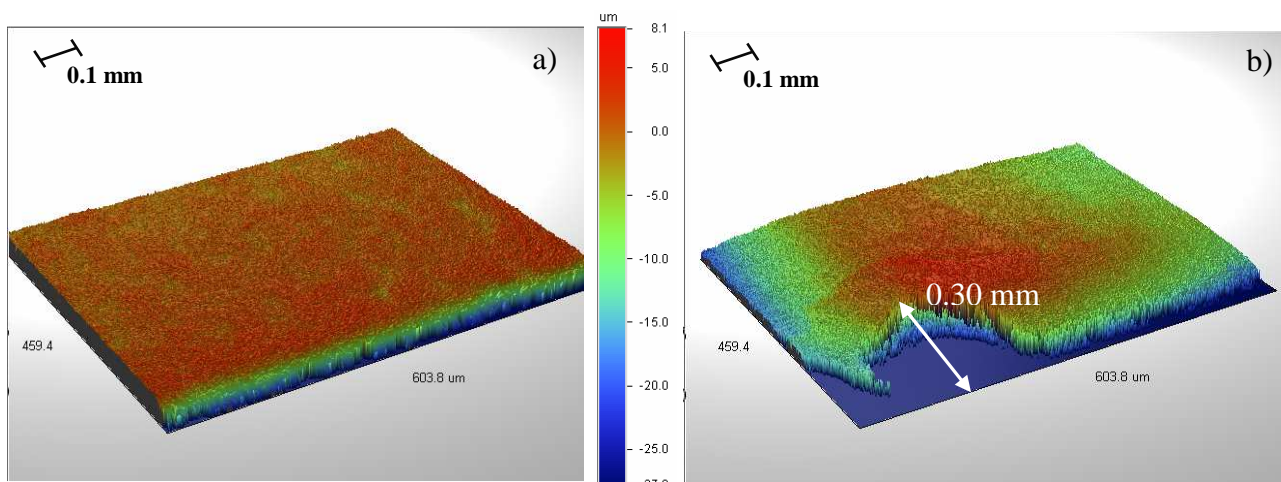


FIG. 2 - Images issues d'un profilomètre optique : a) Plaquette neuve, b) Plaquette usée (dernier essai).

3 Résultats et discussion

3.1 Comportement des plaquettes de coupe

Les trente plaquettes étudiées ont eu un comportement variable vis-à-vis de leur durée de vie et ont été classées en 4 groupes selon ce critère (10 minutes, 11 minutes, 12 minutes et 13 minutes).

Les courbes moyennes des évolutions de la largeur des usures en dépouille (VB) sont tracées en fonction de passes d'usinage pour chaque groupe de plaquettes (Figure 3). Nous distinguons la phase de rodage dans les deux premiers essais, à partir du troisième essai, toutes les plaquettes entrent dans une phase de stabilisation en adoptant le même comportement jusqu'à l'essai 6, après cet essai, chaque groupe se détache pour tracer son propre comportement avant d'atteindre le passage à la phase d'accélération de l'usure. Ce point de passage change d'un groupe à l'autre et globalement il débute à partir de l'essai 9.

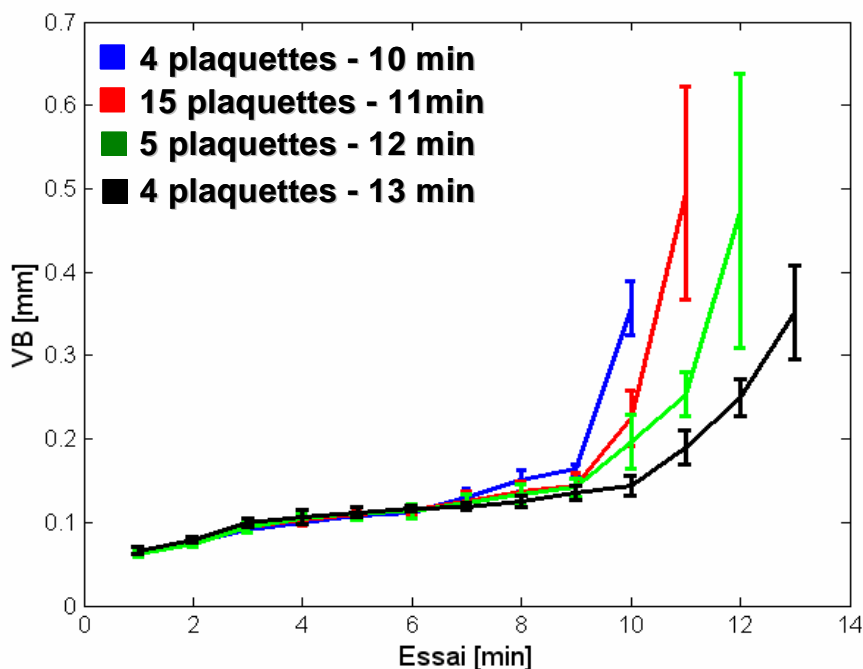


FIG. 3 - Evolution moyenne de la largeur de l'usure en dépouille en fonction de passes d'usinage pour les quatre groupes de plaquettes.

3.2 Etude des réponses vibratoires

3.2.1 Représentation des signaux

A l'issue de la phase expérimentale, trente séries de réponses vibratoires ont été mesurées. Chaque série est constituée par un certain nombre d'enregistrements correspondant à la durée de vie de la plaquette de coupe utilisée. Une allure type des réponses vibratoires acquises selon la direction X de la machine est présentée dans la figure 4. Ces réponses ont été générées au cours d'un usinage en utilisant une plaquette depuis son état neuf jusqu'à sa destruction.

En vue de suivre dans le temps le comportement des bandes fréquentielles, une analyse conjointe en temps et en fréquence des signaux vibratoires générés en usinage a été réalisée dans un premier temps par le carré du module de la transformée de Fourier à court terme (Spectrogramme) et dans un deuxième temps par la transformation en ondelettes.

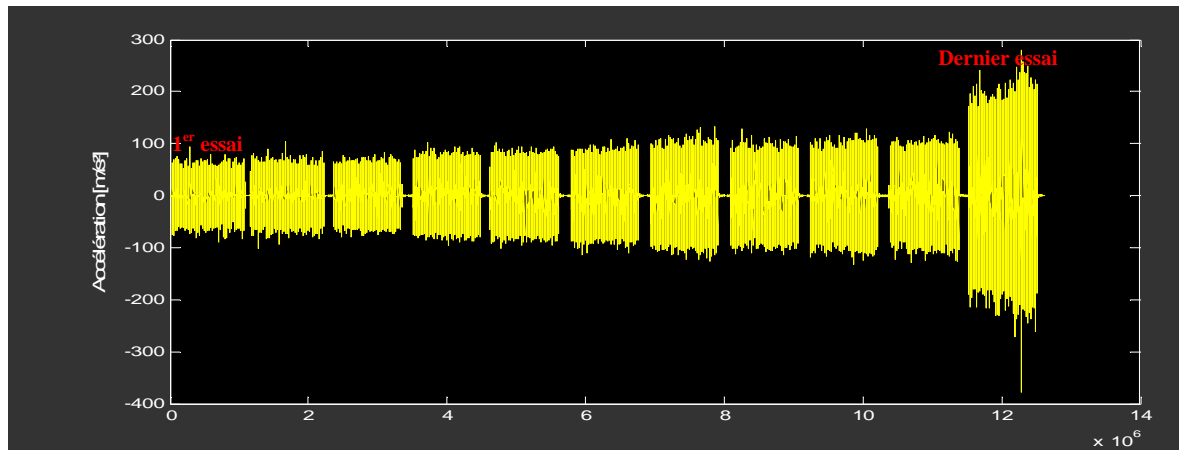


FIG. 4 – Concaténation des signaux sur toute la vie d'une plaquette de coupe

3.2.2 Analyse temps – fréquence

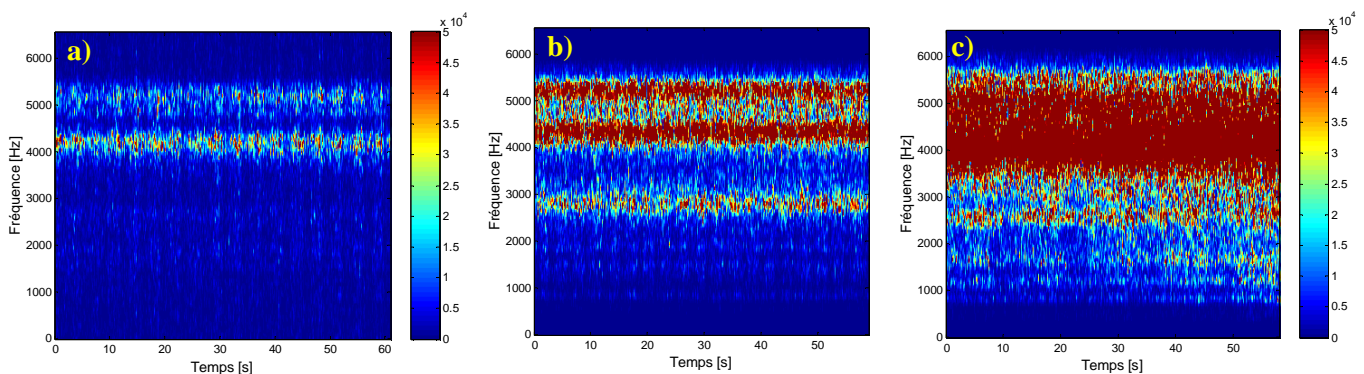


FIG. 5 – Les spectrogrammes types obtenus pour : a) Essai 1, b) Essai 6 et c) Essai 11

Dans la figure 5, nous représentons des exemples des spectrogrammes obtenus pour une même plaquette lors de sa première, sixième et dernière utilisation. Ces spectrogrammes montrent deux bandes fréquentielles centrées au voisinage de 4200 et 5100 Hz correspondent aux fréquences propres de l'ensemble outil et porte outil. A partir du troisième essai, nous remarquons aussi l'apparition d'une bande fréquentielle à 2800 Hz qui peut être interprétée comme un mode créé lors du contact matière-outil. Le niveau vibratoire des deux fréquences caractéristiques ainsi que la fréquence à 2800 Hz augmente progressivement avec la détérioration de la plaquette de coupe utilisée. Au dernier essai, nous pouvons remarquer le phénomène de l'élargissement spectral.

3.2.3 Analyse temps - échelle

L'analyse en temps-échelle consiste à décomposer le signal sur une base de fonctions à support borné. Les fonctions de base se déduisent d'une ondelette mère par dilatation et/ou contraction.

Dans cette application, l'ondelette d'analyse est celle de Morlet, et comme on peut le constater la localisation des fréquences d'intérêt est très mauvaise : une large bande fréquentielle entre 2000 et 5000 Hz apparaît. Toutefois, il est à remarquer que la localisation de l'énergie vibratoire dans le plan temps fréquence est croissante en fonction de l'usure de l'outil de coupe.

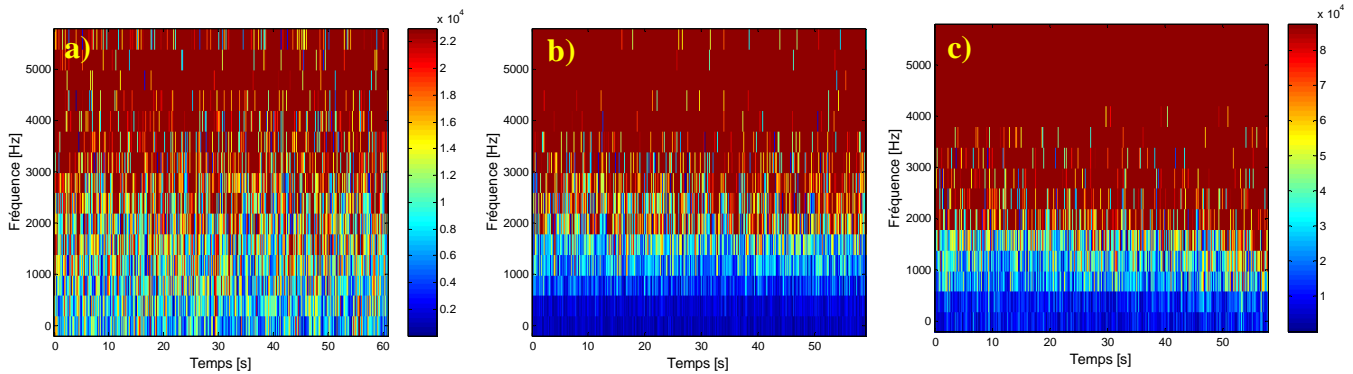


FIG. 7 – Les scalogrammes types obtenus pour : a) Essai 1, b) Essai 6 et c) Essai 11

Conclusion

Du fait que le signal est stationnaire localement, la transformée de Fourier à court terme s'avère suffisante pour le suivi de développement de l'usure des outils de coupe en fonction de l'usinage. Cette méthode permet une représentation plus lisible et suffisante : sa mise en œuvre étant simple, et son temps de calcul étant réduit.

Par conséquent, pour un usage industriel nous préconisons simplement de relever les fréquences caractéristiques et leurs énergies issues d'une analyse de Fourier à court terme et de les utiliser comme des indicateurs pertinents de l'état d'un outil de coupe. Naturellement, ces indicateurs doivent être complétés par un autre jeu de paramètres extrait à partir d'une analyse statistique.

References

- Li, X. 2002 A brief review: acoustic emission method for tool wear monitoring during Turning. *Machine Tools & Manufacture*. **42**, 157-165.
- Kuljanic, E., Sortino, M. 2005 A method based on cutting forces monitoring tool wear in face milling. *Machine Tools & Manufacture*. **45**, 29-34.
- Martin, P. 1973 Influence de l'usure d'un outil de tour sur les vibrations entretenues en coupe. *Thèse de doctorat de l'université de Nancy I*.
- Scheffer, C., HEYNS, P.S. 2001 Wear monitoring in turning operations using vibration and strain measurements. *Mechanical Systems and Signal Processing* **15(6)**, 1185-1202.
- Blodt, M. 2006 Condition monitoring of mechanical faults in variable speed induction motor drives. *Thèse de doctorat de l'INP de Toulouse*.