

Evolution et estimation de l'usure des outils de coupe en usinage

Mohamed Khemissi Babouri, Nouredine Ouelaa, Abderrazek Djebala

Laboratoire De Mécanique & Structures (LMS), Université 8 Mai 1945 de Guelma

babouri_bmk@yahoo.fr, n_ouelaa@yahoo.fr, djebala_abderrazek@yahoo.fr

Résumé :

L'influence de l'usure des outils coupants sur la qualité de l'état de surface demeure le problème principal. En vue de suivre l'usure des outils de coupe à partir des signaux des efforts de coupes fusionnées avec des signatures vibratoires (accélération) nous proposons dans ce travail une méthode fondée sur analyse conjointe en temps et en fréquence (FFT, transformée en ondelettes) des signaux mesurés en tournage. L'objectif de cette méthode est de prouver, d'une part, la variation des signaux statiques et dynamiques et l'influence de l'usure en dépouille sur les indicateurs scalaires et d'autre part, permet la détermination de plusieurs indicateurs d'usure: fréquences caractéristiques, niveau vibratoire, les changements brusques pouvant déceler l'endommagement brutal de l'outil de coupe, élargissement spectrale. Dans ce contexte les résultats d'évaluation de l'usure obtenus sont validés par une approche expérimentale de l'état de l'outil de coupe.

Mots-clefs :

Usure d'outil, Signatures des vibrations, Effort de coupe, Indicateurs scalaires, Transformée en ondelettes.

1 Introduction

L'usinage par enlèvement de matière est le procédé de fabrication le plus important dans l'industrie. Cependant, l'usure de l'outil de coupe représente l'un des facteurs majeurs lorsque nécessite d'une plus grande productivité associée à une meilleure qualité des produits élaborés nécessitent une connaissance approfondie du processus de coupe. En effet, le phénomène d'usure s'avère évolutif et se développe au cours de la coupe ce qui nuit à la qualité de l'usinage. La dégradation de l'état de l'outil affecte aussi bien la qualité des surfaces usinées, les tolérances géométriques imposées, la tenue de l'outil dans le temps, et engendre des efforts élevés, qui ont pour effet d'augmenter la

puissance de coupe et l'énergie consommée. Dans la littérature, Jae-seobkwak (2006) a conçu la décomposition discrète de l'ondelette employée pour détecter l'échec d'outil basée sur l'utilisation du signal de force de coupe considéré comme le plus sensible à l'usure de l'outil. Il a proposé une méthode de noising qui est plus efficace que la FFT (technique de filtrage). L'analyse à conclure que le phénomène de vibration de broutement s'est produit juste avant l'échec d'outil. Jemielniak (1998) ont employé un algorithme de traitement statistique pour identifier quelques caractéristiques, tels que la racine carrée moyenne RMS, le Skew (S_B) et le Kurtosis (K_B) du signal d'EA dans la détection de l'endommagement brutale des outils de coupe. L'inspection des résultats d'essai a montré que le Skew et le Kurtosis peuvent être de meilleurs indicateurs de défaillance brutale d'outil que les valeurs du RMS. Arnaud (2007) ont développé un logiciel permettant à l'optimisation les conditions de coupe et de limite le nombre d'essais et la surveillance de processus d'usinage. Xiaoli (2002) a employé l'AE comme technique pour des études quantitatives des processus de fabrication des outils. Il a proposé diverse méthodologie comme la FFT, l'ondelette, transformée de Gabor,....ect.

A travers cet aperçu, la surveillance du processus de coupe est rendue nécessaire et fait appel à des méthodes de supervision des états d'outil très robustes et fiable est très nécessaire et importante pour identifier l'usure de l'outil de coupe dans le processus d'usinage.

2 Surveillance des outils de coupe et traitement des signaux

La surveillance de l'état d'outil permet aux opérateurs de maximiser le produit et d'améliorer la qualité de celui-ci. Donc une

technique rapide et fiable de traitement des signaux est très nécessaire et importante pour un système de surveillance du processus d'usinage.

L'extraction des informations utiles incorporées a ces signaux (par analyse, filtrage, détection, estimation, identification) et la présentation des résultats sous une forme appropriée a l'homme ou a la machine constitue l'une des tâches essentielles dévolues au traitement des signaux. A cet effet, La force statique \tilde{F} est la moyenne de la force prélevée F_i durant l'usinage. La composante dynamique de force variable en temps pour chaque point de repère a pu être déterminée $F_{d(i)}$.

$$\tilde{F} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_i(t_i) \quad (1)$$

$$F_{d(i)} = F_i - \tilde{F} \quad (2)$$

Dans le cas d'une surveillance vibratoire dans le domaine temporel consiste à l'estimation des paramètres des indicateurs scalaires, ces indicateurs associant à un signal vibratoire, la description mathématique de ces indicateurs tels que :

$$\tilde{S} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{k=N} S_k \quad (3)$$

$$RMS = S_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^{k=N} (S_k - \tilde{S})^2} \quad (4)$$

Plusieurs autres paramètres ont été largement utilisés (Pachaud *et al.* (1998)), tels que l'énergie et la puissance, qui sont égaux à :

$$E = \sum_{k=1}^{k=N} S_k^2 \quad (5)$$

$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{k=N} S_k^2 \quad (6)$$

A cause des effets de masque, dont les origines sont diverses, ces impacts sont noyés dans des perturbations, bruit de fond et autres constituants de la machine viennent polluer le signal et rendent la détection difficile voire impossible. Les indicateurs scalaires étant

limites, plusieurs méthodes de débruitage ont été proposées pour améliorer leur sensibilité. L'analyse spectrale basée sur la transformée de Fourier était depuis longtemps l'outil le plus utilisé pour le traitement des signaux émis par les systèmes mécaniques. Lors de la transformation au domaine fréquentiel l'information du temps est perdue. Pour remédier à cet inconvénient, une nouvelle technique de traitement s'est généralisée ces dernières années bien qu'elle ait vu le jour au début du siècle. La méthode des ondelettes (Analyse Multirésolution en ondelette) est sans doute un outil très efficace, elle permet une analyse apparaît donc comme une décomposition du signal par une cascade de filtres, associant une paire de filtres à chaque niveau de résolution.

3 Description d'installation et de procédé expérimentaux

L'installation expérimentale pour l'étude courante est montrée dans la Fig 1 cette figure indique de divers équipements utilisés et leur endroit respectif sur l'outil. L'acquisition des signaux générés en usinage a été effectuée à l'aide d'un dispositif moderne dynamomètre (KISTLER), qui permet d'enregistrer l'intensité des efforts de coupe en temps réel dans les trois directions principales de coupe.

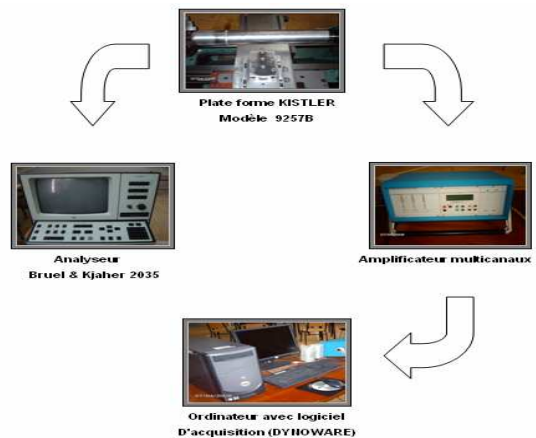


FIG. 1 Chaîne de mesure des efforts de coupe et d'accélération.

D'autre part, les accélérations sont mesurées à l'aide d'un analyseur des signaux bicanale (B&K2035), avec un accéléromètre piézoélectrique de type 'BK4384'. L'étude expérimentale a été effectuée sur un acier à une excellente tenue à l'usure Z200Cr12, en

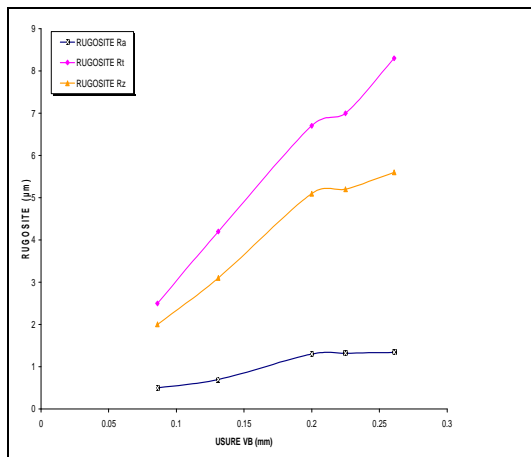
utilisant un outil de coupe CSBNR 2525M 12 portant une plaquette de carbure non revêtue S40T. Les paramètres de processus étaient : une avance $V_f = 0.12$ mm/ tr, une profondeur de passe $a_p = (0.5, 1)$ mm et une vitesse de coupe $V_c = (100, 135, 190)$ tr/ min, sans lubrification.

4. Résultats et discussions

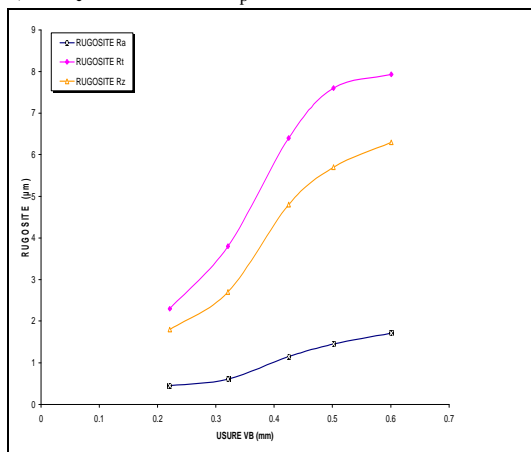
4.1 Analyse temporelle

4.1.1 Evolution de la rugosité en fonction de l'usure en dépouille

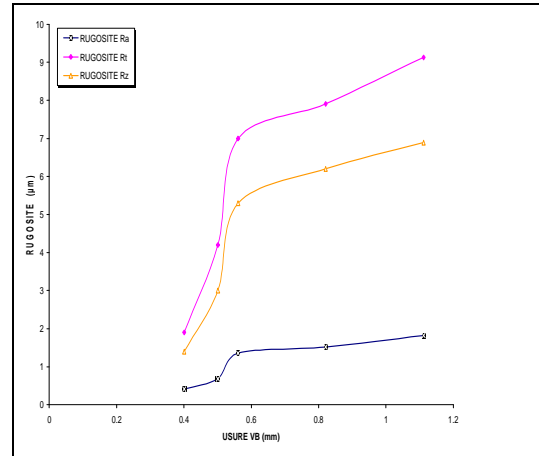
Nous présentons sur les Fig 2 l'évolution de la rugosité en fonction de l'usure en dépouille pour différente vitesse de coupe. L'analyse de ces résultats montre que la rugosité s'améliore avec l'augmentation de la vitesse de coupe. Mais avec l'évolution du temps, l'usure va jouer son rôle, ou la vitesse de coupe élevée provoque une usure plus rapide de l'outil de coupe, et dégrade ainsi l'état de surface.



a) $V_c = 100$ m/min, $a_p = 0.5$ mm, $f = 0.12$ mm/tr



b) $V_c = 135$ m/min, $a_p = 0.5$ mm, $f = 0.12$ mm/tr



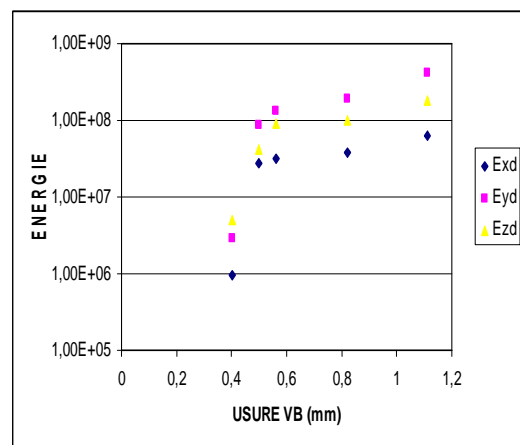
c) $V_c = 190$ m/min, $a_p = 0.5$ mm, $f = 0.12$ mm/tr

FIG. 2 Evolution de la rugosité en fonction de temps et de l'usure en dépouille

Concernant L'analyse des résultats de la rugosité en fonction de l'usure montre que l'augmentation de l'usure en dépouille VB entraîne un endommagement de la qualité de la surface usinée. La rugosité (R_a) évolue très lentement et l'état de surface demeure bon. Au-delà de la valeur admissible, la rugosité subit une augmentation relative brusque.

4.1.2 Evolution des indicateurs scalaires en fonction d'usure en dépouille

L'analyse comporte, de choisir des indicateurs spécifiques qui sont sensibles à la forme du signal. La Fig 3 représente le semi log des indicateurs scalaires en fonctions de l'usure en dépouille (VB).



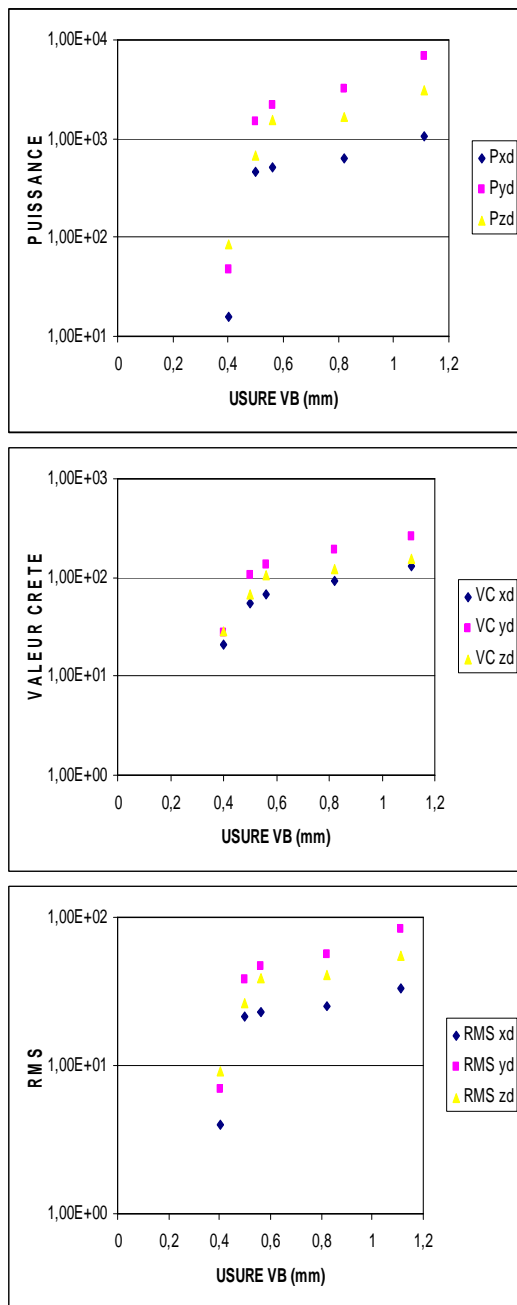


FIG. 3 Semi log des indicateurs scalaires en fonction de l'usure en dépouille. $V_c = 190$ m/min, $a_p = 0.5$ mm, $f = 0.12$ mm/tr

L'inspection de ces indicateurs pour des signaux dynamiques montre une augmentation apparente des ces indicateurs et lorsque l'outil de coupe usé a une usure admissible [$VB = 0.5$ mm], on constate une légère augmentation ($VB_3 - VB_5$) cela est dû à notre avis d'une évolution croissante de l'usure qui se manifeste d'un recule d'arête de coupe ('écaillage, ou rupture) causant ainsi une

diminution de la profondeur de passe et ainsi la diminution des efforts de coupe.

4.1.3 Evolution de la force statique en fonction de l'usure en dépouille

Sur la base de la formule (1), nous avons calculé la force statique dans tous les cas de figures étudiées. Les résultats présentés sur les Fig 4-6 pour les trois vitesses de coupe et les deux profondeurs de passe choisies, montrent que la force statique augmente légèrement avec l'usure en dépouille.

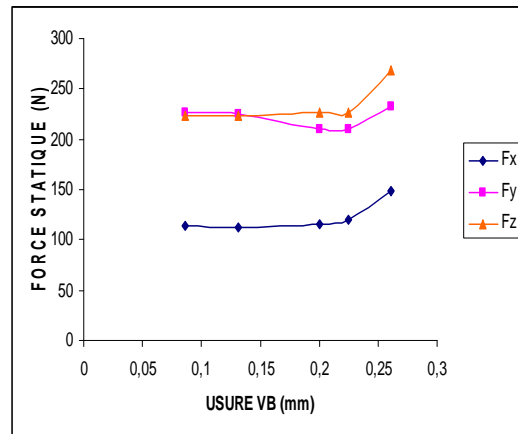


FIG. 4 Force statique en fonction de l'usure en dépouille. $V_c = 100$ m/min, $a_p = 0.5$ mm et $f = 0.12$ mm/tr.

Pour les deux premières vitesses (100 et 135 m/min). Alors que pour la vitesse 190 m/min sa variation devient importante, elle passe de 250 N pour $VB = 0.4$ mm à 355 N pour $VB > 1$ mm.

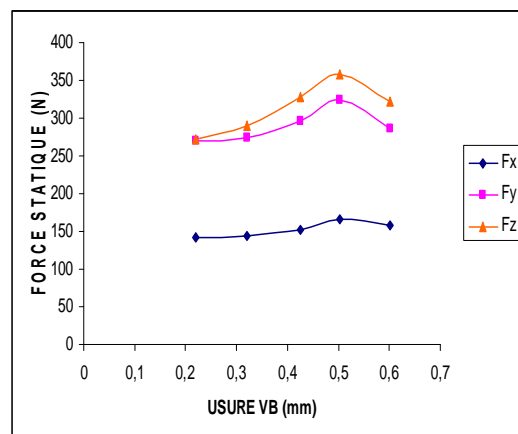


FIG. 5 Force statique en fonction de l'usure en dépouille. $V_c = 135$ m/min, $a_p = 0.5$ mm et $f = 0.12$ mm/tr.

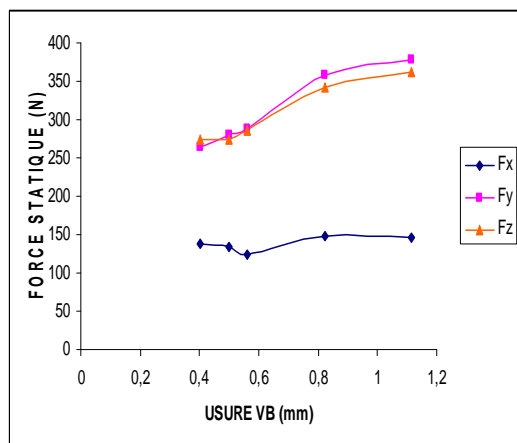


FIG. 6 Force statique en fonction de l'usure en dépouille. $V_c=190$ m/min, $a_p=0.5$ mm et $f=0.12$ mm/tr.

4.2 Analyse fréquentielle

Vue les limites d'acquisition du système de mesure des efforts de coupe, nous avons mesuré ces derniers dans la bande de fréquence [0 – 5 KHz] et vue la complexité des phénomènes physiques qui se produisent à l'interaction outil pièce machine, nous avons choisi de faire une présentation tridimensionnelle (3D), des signaux et des spectres des efforts de coupe et d'accélération en fonction de l'usure en dépouille VB, afin de faciliter l'analyse de ces résultats.

L'analyse des signaux et des spectres des efforts de coupe (Fig 7-8) dans les trois directions axiale, radiale et tangentielle pour trois vitesses de coupe 100, 135 et 190 m/min et pour deux profondeurs de passe 0.5 et 1 mm montre :

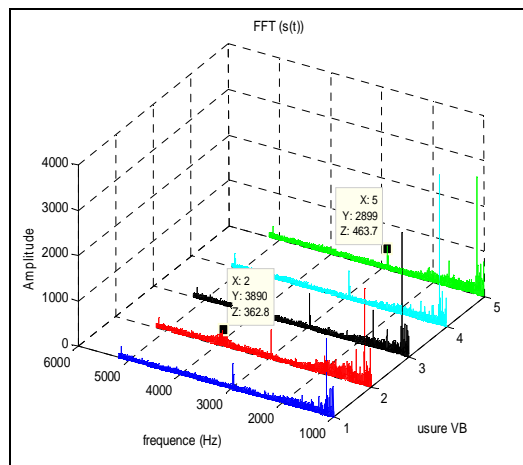
- Les principaux pics qui apparaissent sur les différents spectres sont :

- Un pic correspondant à la fréquence propre de la plate forme dans le plan x, y, qui apparaît entre 2800 Hz et 3100 Hz. Il est influencé par la vitesse de rotation.

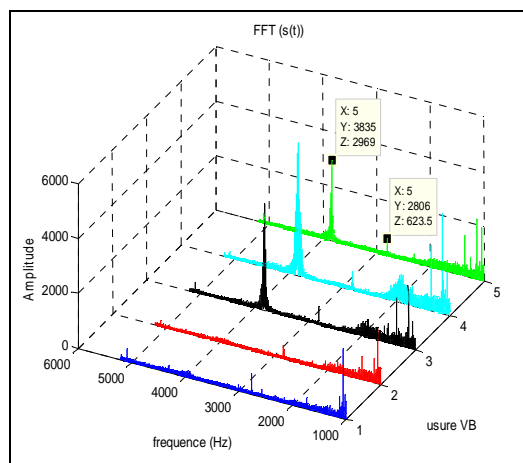
- Un deuxième pic apparaît entre 3800 et 3900 Hz correspondant au premier mode de flexion de l'outil dans sa direction axiale. En vibration libre ce mode apparaît à 4000 Hz.

- La composante radiale de l'effort de coupe fait apparaître d'une manière très claire la première fréquence propre axiale de l'outil,

suivie de la composante axiale. Alors que la composante tangentielle reste bruitée et ne permet pas l'apparition de la fréquence propre surtout pour la profondeur de passe 0.5 mm.



$V_c = 100$ m/min, $a_p = 0.5$ mm, $f = 0.12$ mm/tr



$V_c = 135$ m/min, $a_p = 0.5$ mm, $f = 0.12$ mm/tr

FIG. 7 Les spectres des efforts de coupe direction radiale (F_y) en fonction de l'usure en dépouille (VB).

- L'augmentation de la profondeur de passe ($a_p = 1$ mm) laisse apparaître en plus du premier mode axiale, le mode de torsion de l'outil surtout dans la composante radiale de l'effort, ce résultat est confirmé par Weihong (2005).

- L'analyse des spectrales ne permet pas une apparition claire de l'usure de l'outil, à part un certain nombre de pic qui apparaissent à basse fréquence jusqu'à 2000 Hz qui peuvent être dues au phénomène d'usure (Dimla (2000)) ainsi que l'augmentation des amplitudes du pic correspondant à la

fréquence de résonance de l'outil avec l'augmentation de l'usure VB.

En conclusion, l'analyse des spectres ne permet pas un bon suivi de l'évolution de l'usure, parce que les signaux des efforts de coupe mesurés sont très bruités. Nous présentons dans la section suivante une méthode permettant le débruitage de ces signaux.

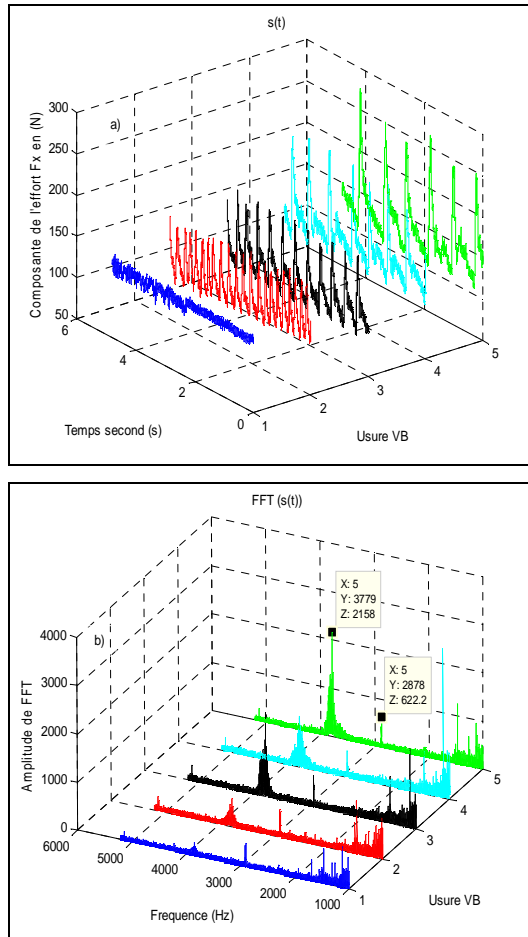


FIG. 8 a) Signaux mesurés (Fx), b) Les spectres des efforts de coupe axiale (Fx) – usures en dépouille. $V_c = 190$ m/min, $a_p = 0.5$ mm et $f = 0.12$ mm/tr.

4.3 Analyse multirésolution en ondelettes

L'analyse comporte, en plus des décompositions en ondelette (détails et approximations) issus de l'AMRO du signal mesuré, l'analyse d'enveloppe du niveau de la décomposition en ondelette et son FFT. L'application de l'AMRO aux signaux mesurés permet d'obtenir un certain nombre d'approximation et de détails. L'analyse de ces

derniers a montré que c'est le détail D1 qui comporte les informations nécessaires. L'analyse globale des ces résultats issus de l'application de l'AMRO montre qu'en peut suivre le phénomène d'usure par l'évolution des deux pics qui apparaissent dans les deux bandes de fréquence (Fig 9). L'augmentation des amplitudes de ces deux pics est proportionnelle à l'usure en dépouille de l'outil.

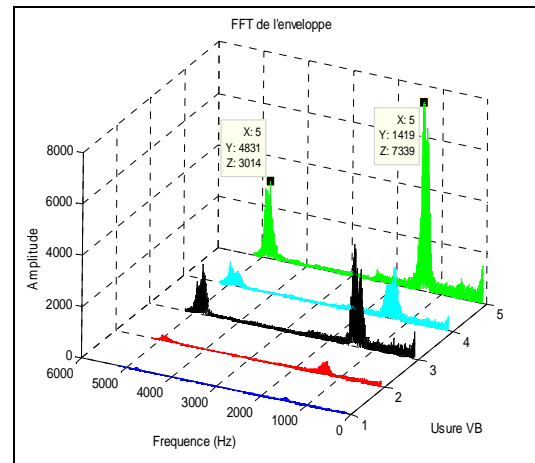


FIG. 9 Les spectres d'enveloppe du signal reconstruit (D1) en fonction de l'usure en dépouille pour l'effort radiale (Fy). $V_c = 190$ m/min, $a_p = 0.5$ mm et $f = 0.12$ mm/tr.

A cet effet, pour élaborer un système de surveillance en ligne sur les machines afin de suivre l'évolution de l'usure de l'outil de coupe, nous recommandons d'utiliser la méthode multirésolution en ondelette qui permet de débruiter les signaux mesurés et fait apparaître d'une manière très clair deux pics dans la bande [1 – 2] KHz et [4.5 – 5] KHz qui sont proportionnel à l'évolution de l'usure. La composante radiale est la plus sensible à l'usure, on peut même installer un système d'alarme lie à l'apparition des deux pics d'usure qui sont synonyme de dépassement de l'usure en dépouille $VB \geq 0.3$ mm.

5. Conclusion

La surveillance de l'usure de l'outil de coupe en tournage sa de monde de réaliser un suivi efficace, plusieurs grandeurs ont été étudiées tels que : le contrôle direct de l'outil de coupe et la pièce en mesurant l'usure dépouille et la rugosité, les effort de coupes et

les réponses vibratoires (accélérations). Afin d'évaluer la rugosité en fonction de temps et de l'usure en dépouille, la stratégie adoptée s'appuie sur une analyse temporelle ou des paramètres, on a pu étudier l'influence de l'usure en dépouille sur la variation des indicateurs scalaires. L'étude a permis de mettre en évidence la nécessité d'utiliser l'analyse fréquentielle et la transformée en ondelettes dans laquelle pouvoir identifier et d'estimer l'influence de l'usure d'un outil coupant sur les signaux obtenus lors d'un processus d'usinage. L'ensemble des résultats obtenus a conduit à déterminer les changements de l'état d'usure d'outil, ce qui rend l'évaluation et l'estimation de l'usure possible.

Références

- Arnaud D., Daniel D., 2007, Tool vibration detection with eddy current sensors in machining process and computation of stability lobes using fuzzy classifiers, *Mechanical systems and signal processing* **21**, 441-456.
- Dimla Snr D.E., Lister P.M., 2000, On-line metal cutting tool condition monitoring-I: Force and vibration analyses, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* **40 (5)**, 739-768.
- Jae-seob K., 2006, Application of wavelet transform technique to detect tool failure in turning operations. *Int Adv Manuf Technol* **28**, 1078-1083.
- Jemielniak K., Otman O., 1998, Tool failure detection based on analysis of acoustic emission signals, *Journal of Material Processing Technology* **76**, 192-197.
- Pachaud C., Boulenger A., 1998, Diagnostic vibratoire en maintenance préventive, DUNOD, Paris.
- Weihong Li., Xieguo G., Obikawa T and Shirakashi T., 2005, A method of recognizing tool-wear states based on a fast algorithm of wavelet transform, *Journal of Materials Processing Technology* **170**, 374-380.
- Xiaoli Li., 2002, A brief review: Acoustic emission method for tool wear monitoring during turning, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* **42**, 157-165.