

## 1. Contexte

La simulation numérique des procédés d'usinage est un outil clef pour permettre leur optimisation en terme de productivité et de stabilité par exemple. La prédiction des efforts de coupe est un maillon essentiel dans l'étude du procédé global:

- **Prédiction 'statique' des efforts de coupe**
  - Puissance de la machine-outil
  - Résistance de l'outil de coupe
- **Simulation dynamique**
  - Etude du niveau vibratoire
  - Prédiction des états de surface
  - Analyse de stabilité (prédiction du broutage par exemple)



## 2. Modélisation des efforts de coupe

- Des modèles numériques (approche aux éléments finis) sont développés mais leur emploi reste assez lourd et la détermination des lois de comportement des matériaux reste délicate
- Une approche 'mécaniste' est couramment employée en simulation : l'effort local est proportionnel à des grandeurs macroscopiques (section du copeau, longueur de l'arête de coupe). Celui-ci est ensuite intégré numériquement le long de l'outil de coupe

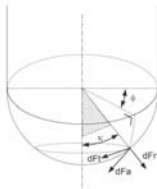
## 3. Objectifs de la recherche

Le travail présenté vise à identifier des modèles d'efforts de coupe à partir de mesures réalisées en fraisage

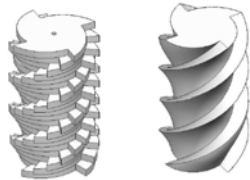
- Identification de modèle linéaire par approche des moindres carrés
- Identification de modèles non-linéaires par méthodes d'optimisation par algorithmes génétiques
- Approche par plans d'expérience pour extraire un modèle multiplicatif

## 4. Méthode

L'outil de coupe est découpé axialement en tranches infinitésimales. Pour chacune des tranches, le modèle d'effort de coupe chois est utilisé



Fraise boule et angles associés



Discretisation d'un outil cylindrique

Le modèle général d'effort est le suivant ( $h$  est l'épaisseur du copeau,  $db$  la hauteur des disques,  $dS$  la longueur local de l'arête de coupe,  $K_c$ ,  $K_e$  et  $n$  sont les paramètres du modèle)

$$F = K_c \cdot h^n \cdot db + K_e \cdot dS$$

Trois cas de figure sont couramment employés:

- Modèle linéaire:  $K_c, K_e$  constants ;  $n=1$
- Modèle exponentiel:  $K_c$  constant ;  $K_e=0$  ;  $n \neq 1$
- Modèle multiplicatif:  $K_c=K_0 \cdot Vc^{a1} \cdot St^{a2}$  ;  $K_e=0$  ;  $n=1$

Les efforts sont ensuite projetés dans un repère global en tenant compte de la rotation de l'outil et des inclinaisons locales de l'arête de coupe. Les efforts sont ensuite intégrés analytiquement sur la hauteur de l'outil

$$\begin{Bmatrix} dF_x \\ dF_y \\ dF_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos\phi & -\sin\phi \sin\kappa & -\sin\phi \cos\kappa \\ \sin\phi & -\cos\phi \sin\kappa & -\cos\phi \cos\kappa \\ 0 & -\cos\kappa & -\sin\kappa \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} dF_1 \\ dF_2 \\ dF_3 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{Bmatrix} = \sum_{i=1}^{n_d} \sum_{j=1}^{n_s} \begin{Bmatrix} dF_x(i,j) \\ dF_y(i,j) \\ dF_z(i,j) \end{Bmatrix} = \left( \sum_{i=1}^{n_d} \sum_{j=1}^{n_s} B A \right) K$$

Les paramètres du modèle d'effort de coupe sont calculés par la méthode des moindres carrés ([1][2]). Si le modèle non linéaire est employé, les paramètres ayant une influence non linéaire sont estimés en amont par une méthode d'optimisation (une approche par algorithme génétique donne de bons résultats [3]). Pour le modèle multiplicatif, une approche par plans d'expérience est employée

## 5. Validation

La méthode a été validée expérimentalement en réalisant des usinages avec différents paramètres de coupe dans un acier de construction (St52-3) avec un outils cylindrique en acier rapide. Les ajustements donnent une bonne correspondance entre calcul et mesure

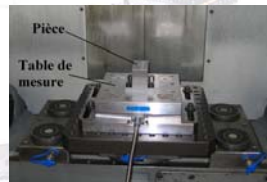
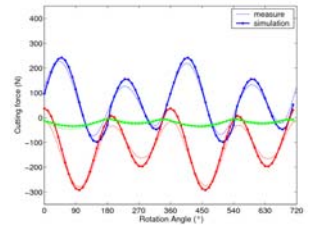


Table de mesure d'efforts de coupe



Exemple d'ajustement réalisé Avec le modèle linéaire

## 6. Conclusion

La méthode développée permet par des mesures expérimentales simples d'obtenir les paramètres de trois modèles différents d'efforts de coupe en fraisage pour un couple outil/matière donné. La méthode est adaptable à diverses géométries d'outils et peut tenir en compte les écarts de pas ou le faux-rond de l'outil.

Les paramètres identifiés peuvent par la suite être employés comme données de base dans des modèles de simulation du fraisage.

## Publications liées à la recherche

[1] E. Rivière-Lorphèvre. *Etude et simulation de procédés de fraisage grande vitesse : efforts de coupe, stabilité, états de surface*. thèse présentée à la Faculté Polytechnique de Mons, Service de Génie Mécanique, 2007.

[2] E. Rivière-Lorphèvre, E. Filippi, P. Dehombreux. *Inverse method for cutting forces parameters evaluation*. Engineering mechanics Engineering MECHANICS, Vol. 14, 2007, No. 5, p. 345-357.

[3] E. Rivière-Lorphèvre, J. de Arizon, E. Filippi and P. Dehombreux, *Cutting forces parameters evaluation in milling using genetic algorithm*, Proceedings of the 10th CIRP workshop on modelling of machining operations, pp. 237-243, 2007