

# Réduction des vibrations résiduelles outil-pièce (SOM)

## Application à une machine-outil 5 axes de haute précision

Prof. Alain Schorderet, Prof. François Birling, Alain Prenleoup, Sébastien Gay,

### Pour minimiser efficacement les vibrations résiduelles outil-pièce

L'usinage de pièces à haute valeur ajoutée requiert des machines de hautes performances. En particulier, le comportement dynamique doit être adapté pour garantir des précisions et états de surface irréprochables. Les phénomènes vibratoires apparaissant en fonctionnement ne sont pas tous critiques et il est nécessaire d'identifier ceux qui produisent des mouvements relatifs entre la pièce usinée et l'outil afin d'en minimiser les effets.

Les différents travaux du groupe mecatronYx de la HEIG-VD portent sur 3 éléments qui jouent un rôle dans les vibrations nuisibles à l'usinage, en particulier pour les excitations produites par les axes moteurs en interpolation. Ces groupes sont 1. la structure machine, 2. l'électronique de commande et 3. la génération de trajectoires. Dans ce projet, en collaboration

avec la société Willemin-Macodel à Delémont, le groupe mecatronYx a évalué la possibilité de réduire les vibrations dues à la commande d'axes en optimisant les trajectoires d'outils.



La démarche appliquée repose sur 2 axes

- A. analyse de la performance dynamique
- B. optimisation de profils de mouvements d'axes

Dans le cadre de ce projet, la minimisation des vibrations résiduelles dues à un mouvement d'axe est réalisée. Grâce à une approche multidisciplinaire, mécanique, l'amplitude vibratoire résiduelle lors d'une commande d'axe a pu être réduite d'un facteur 3 par optimisation des trajectoires prenant en compte la dynamique modale de la machine.

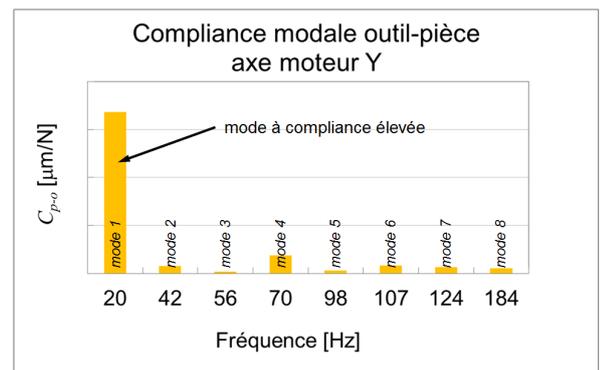
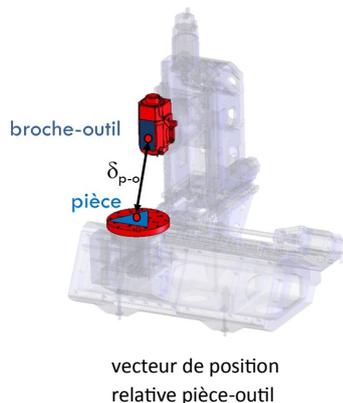
### Un indicateur de performance dynamique machine : la compliance modale

L'efficacité de la méthode repose notamment sur l'utilisation d'un indicateur de performance dynamique permettant de relier l'excitation des axes moteurs de la machine aux vibrations relatives pièce-outil.

La compliance modale outil-pièce  $C_{o-p}$  par axe définit, pour chaque mode, le déplacement dynamique pièce-outil causé par une excitation harmonique d'un axe moteur. Il s'agit de l'inverse d'une rigidité dynamique. Elle permet ainsi d'évaluer les bandes fréquentielles critiques pour un axe moteur. Cet indicateur de performance est obtenu au moyen d'une analyse modale, expérimentale ou numérique FEA. Dans ce projet, c'est la voie expérimentale qui a été retenue : le traitement des mesures vibratoires

effectuées sur la machine (type marteau-accéléromètres) permet d'identifier les propriétés modales de la machine (fréquences, modes propres et amortissement modaux). Ensuite, ces informations sont traitées au moyen d'un calcul numérique spécifique pour

extraire les compliances modales par axe moteur. Le graphe ci-dessous met en évidence la prépondérance du mode 1 (compliance élevée) sur le comportement dynamique machine pour la commande de l'axe Y.



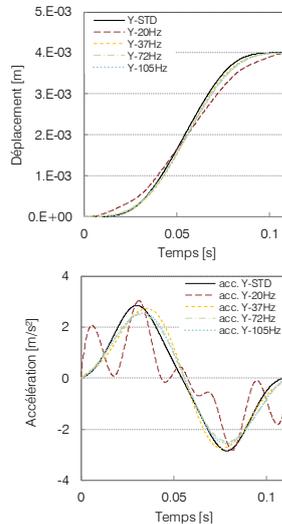
## Optimisation de profils de mouvement d'axe

La méthode d'optimisation utilisée a été développée dans le projet Spline for Motion. Basée sur l'optimisation de profils de mouvements de type splines, elle est appliquée ici à une machine-outils industrielle 5 axes en s'appuyant sur l'analyse de compliance de la machine pour choisir les paramètres d'optimisation.

Plusieurs profils optimisés de mouvements d'axes commande sont déterminés (figures ci-contre) afin de minimiser l'effet d'un ou plusieurs modes vibratoires. Ces profils optimisés sont implémentés dans le contrôleur de la machine et comparés avec le profil standard.

L'optimisation de trajectoire prend en compte le comportement dynamique de la machine et permet de minimiser les

vibrations dues aux modes critiques (compliance modale élevée) tout en conservant le temps de parcours standard (productivité).



## Résultats

Les différents profils de mouvements obtenus par optimisation sont confrontés à ceux de la commande standard. La validation expérimentale est réalisée au moyen d'un système R-test qui mesure les déplacements relatifs entre une pièce et un outil face dans les 3 directions de l'espace. Le graphe ci-contre montre que, dans le cas d'un saut indiciel, la réduction des amplitudes vibratoires obtenue avec l'optimisation ciblée sur le mode 1

(compliance la plus élevée) conduit à une réduction d'un facteur 3 des vibrations résiduelles. On constate également que l'optimisation basée sur d'autres modes (compliances moins élevées) peut dégrader la performance, d'où tout l'intérêt de l'indicateur de compliance modale.

## Contact

Prof. Alain Schorderet : [alain.schorderet@heig-vd.ch](mailto:alain.schorderet@heig-vd.ch)

Prof. François Birling : [francois.birling@heig-vd.ch](mailto:francois.birling@heig-vd.ch)

Alain Prenleloup : [alain.prenleloup@heig-vd.ch](mailto:alain.prenleloup@heig-vd.ch)

Sébastien Gay : [sebastien.gay@heig-vd.ch](mailto:sebastien.gay@heig-vd.ch)

## Mots clés

Vibrations, analyse modale

Compliance modale

Haute dynamique

Profils de mouvements

Optimisation des performances

Vibration, modal analysis

Modal compliance

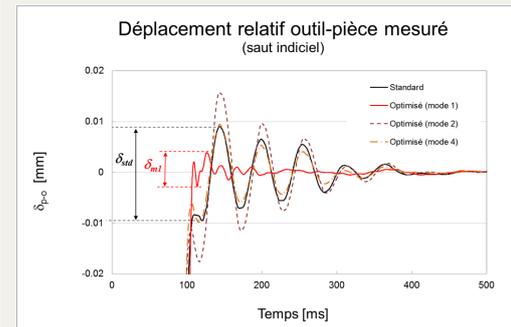
High dynamics

Motion profile

Performance optimization



WILLEMIN-MACODEL



HEIG-VD

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion  
du Canton de Vaud

HEIG-VD / mecatronYx  
Route de Cheseaux 1, c.p. 521  
CH-1401 Yverdon-les-Bains

Téléphone +41 (0) 24 557 73 77  
[www.mecatronYx.ch](http://www.mecatronYx.ch)