



Information technique

Des surfaces parfaites grâce aux systèmes de mesure HEIDENHAIN

Il faut beaucoup de temps et d'efforts pour parvenir à fabriquer des surfaces parfaites. Le "Cloud Gate" par exemple, une sculpture de l'artiste Anish Kapoor située dans le Millenium Park de Chicago, a été polie durant plusieurs mois par 24 spécialistes à l'étape d'usinage finale. Cette sculpture aux dimensions gigantesques de 10 m x 20 m x 13 m et pesant plus de 99 tonnes possède une surface parfaitement lisse dans laquelle se reflètent les gratte-ciel de Chicago.

Dans le monde de la machine-outil aussi, il est fréquent que l'objectif soit d'obtenir des surfaces irréprochables, notamment pour ce qui est de la fabrication de moules. Les aspects économiques y jouent toutefois un rôle important. Il est en effet particulièrement difficile de fabriquer des pièces aux tolérances étroites et d'une grande qualité de surface en un minimum de temps. L'usinage de pièces de haute qualité dans la fabrication de moules implique, d'une part, un volume de copeaux important pendant la phase d'ébauche et, d'autre part, l'obtention d'une surface d'usinage parfaite après la phase de finition. Seule une qualité de surface optimale permet d'éviter des frais supplémentaires, comme par exemple le coût d'un polissage manuel. Outre la qualité de la mécanique de la machine et la performance correspondante de la commande numérique, la technologie de mesure utilisée est la troisième composante qui entre en compte pour un résultat de fraisage optimal.

Les systèmes de mesure qui fournissent des signaux de sortie avec des écarts extrêmement faibles au sein d'une période de signal (erreur d'interpolation) jouent un rôle déterminant pour obtenir un bon état de surface de la pièce. Les erreurs d'interpolation sont notamment responsables des écarts de forme qui reviennent périodiquement à la surface des pièces et qui s'avèrent particulièrement gênants dans la fabrication de moules.



Le "Cloud Gate", exemple de surface parfaite

Des défauts de surface visibles

L'œil humain est très sensible aux variations de structure et aux moindres petits défauts sur la surface d'une pièce. Ainsi, par exemple, une erreur de pixel sur un écran dont l'affichage peut contenir jusqu'à cinq millions de pixels se voit immédiatement. L'œil humain est encore plus sensible aux défauts de surface périodiques. Des tests réalisés sur des pièces ont permis de démontrer que des écarts de forme périodiques sont clairement visibles dès 0,2 µm. Dans la fabrication de moules, ces écarts de forme – même s'ils n'influencent pas la précision – sont particulièrement gênants et nécessitent une reprise d'usinage coûteuse.

Les conditions requises pour un bon état de surface

Origines possibles des erreurs de surface périodiques

Les écarts de forme se voient par des zones d'ombres ou des variations de contraste sur la surface des pièces. Ils sont gênants pour l'œil humain qui est capable de les distinguer à une distance normale. Plusieurs causes sont à l'origine de ces écarts de forme :

- Les vibrations de la machine qui viennent perturber le processus d'usinage (voir l'information technique *Dynamic Precision* à ce sujet)
- Les brèves erreurs périodiques du système de mesure d'axe utilisé (écarts de position au sein d'une période de signal ou erreur d'interpolation)

Cette information technique présente les erreurs de surface dues aux écarts de position au sein d'une période de signal.

Écarts de position dans une période de signal

La résolution qui dépend directement du support de mesure d'un système de mesure n'est généralement pas suffisante pour les machines-outils modernes. Pour cette raison, on a recours à des procédés d'interpolation qui subdivisent les signaux de balayage analogiques périodiques – typiquement de forme sinusoïdale – A et B. Les facteurs d'interpolation de 4096 (12 bits) et plus sont alors tout à fait cou-

rants. Il est ainsi possible d'obtenir des pas de mesure de l'ordre de 0,1 μm , voire plus petits, utiles pour l'asservissement de machines-outils, même si les périodes de division des supports de mesure sont relativement espacées. Les systèmes de mesure LC 100 et LC 400 de HEIDENHAIN atteignent des résolutions de l'ordre de 0,001 μm .

Les procédés d'interpolation fonctionnent sans problème dans la mesure où les deux signaux de sortie sinusoïdaux sont optimaux, autrement dit tant qu'ils présentent exactement la même forme, la même amplitude et les mêmes rapports cycliques et qu'ils sont déphasés d'exactly 90° l'un par rapport à l'autre. Tout écart génère une erreur qui se répète à chaque période de signal de balayage. On parle pour cela d'écarts au sein d'une période de signal, ou encore d'erreur d'interpolation.

Les écarts de position dans une période de signal sont plus ou moins importants en fonction des éléments suivants :

- la finesse de la période de signal
- l'homogénéité et la précision de la période de gravure
- la qualité des structures de filtre du balayage
- les caractéristiques des capteurs
- la stabilité et la dynamique de traitement en aval des signaux analogiques

Conséquences des écarts de position dans une période de signal

Les pièces usinées exigées par la fabrication de moules ont des géométries de plus en plus complexes. Dans le cadre d'un usinage sur cinq axes, il est courant d'utiliser toutes les combinaisons de mouvements d'axes. Si on usine par exemple une surface oblique ou courbée par l'interpolation de plusieurs axes CN, il est possible que les erreurs d'interpolation soient visibles directement sur la pièce.

Cela se voit d'autant plus lors de l'usinage d'une paroi oblique avec un petit angle. L'erreur d'interpolation du système de mesure dans le sens Z peut être rendue visible par projection sur la surface oblique de la pièce. L'inclinaison de la surface entraîne un agrandissement de la période de signal d'un facteur n dans la trajectoire de l'outil. Tandis que l'axe se déplace uniquement d'une période de signal dans le sens Z, l'axe X se déplace n fois plus. Une ondulation apparaît sur la surface inclinée de la pièce. La longueur de cette ondulation correspond alors à n fois la période de signal du système de mesure de l'axe Z.

Comme il est possible d'usiner toute sorte de surfaces obliques lors de l'usinage de surfaces de forme libre, l'amplification de la période de signal correspondante est systématiquement indiquée. Une longueur d'onde de 0,5 mm à 5 mm est particulièrement facile à voir pour l'œil humain.

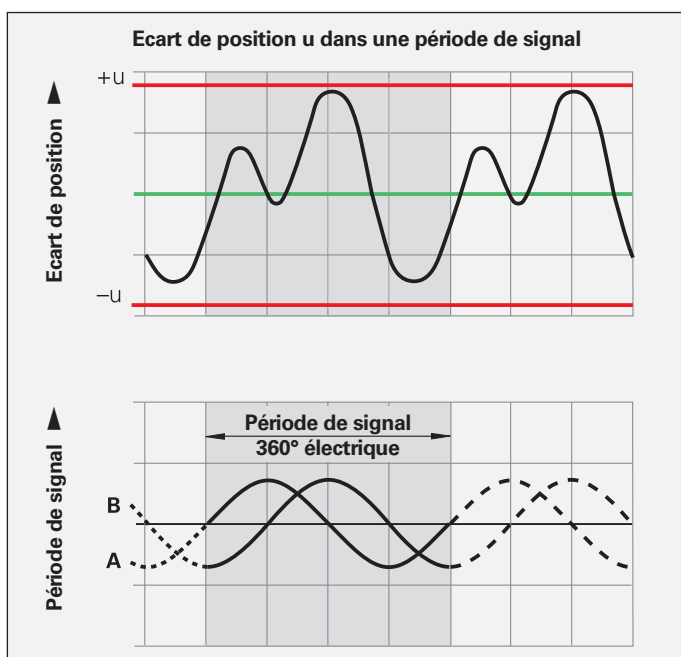


Figure 1 : Écarts de position dans une période de signal (erreur d'interpolation)

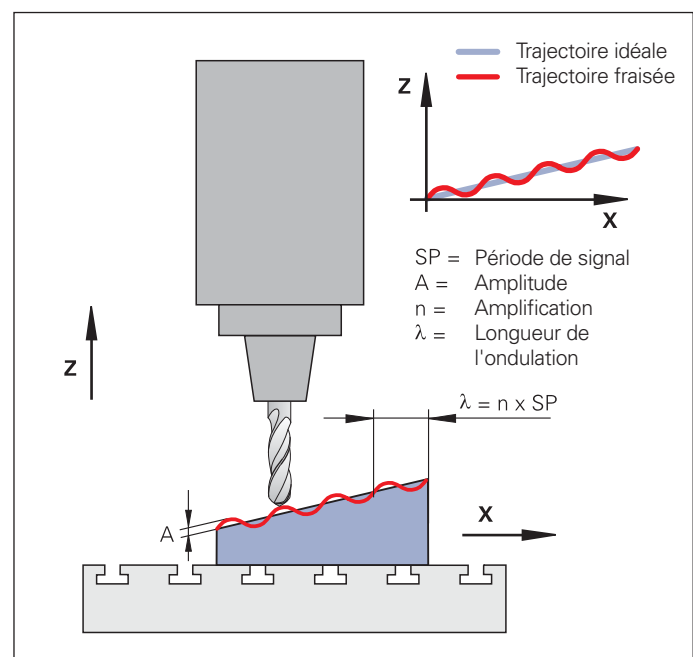


Figure 2 : Représentation de l'erreur d'interpolation sur une surface de pièce oblique

Avec une erreur d'interpolation dont l'amplitude est inférieure à 100 nm, la surface de pièce obtenue est irréprochable. Il suffit qu'une erreur d'interpolation ait une amplitude d'environ 200 nm pour que les effets sur le résultat du fraisage deviennent visibles. Des erreurs d'interpolation plus importantes entraînent des écarts de forme gênants visuellement.

Exemple d'usinage

La pièce présentée en exemple (Figure 4) est fabriquée par un usinage ligne à ligne avec une fraise boule de 12 mm de diamètre. Chacune des trois surfaces d'usinage présente une erreur d'interpolation plus ou moins importante.

Un système de mesure avec une erreur d'interpolation très faible, comme par exemple un système de mesure HEIDENHAIN de la série LC 100, a été utilisé pour usiner la première surface de la Figure 4 (en haut). L'erreur d'interpolation typique est alors nettement inférieure à 100 nm et la surface de la pièce a une apparence parfaite.

Le résultat est tout autre lorsqu'on utilise des systèmes de mesure avec des erreurs d'interpolation plus importantes. En effet, comme les axes d'avance suivent cette erreur d'interpolation élevée, des ondulations nettement visibles apparaissent sur la surface de la pièce.

La deuxième image de la Figure 4 (au centre) montre le résultat du fraisage lorsque le système de mesure utilisé possède une erreur d'interpolation de 200 nm. On constate alors déjà des traces d'ondulation nettement visibles. Avec une erreur d'interpolation de 500 nm, la surface de la pièce présente des traces d'ondulation très marquées (Figure 4, en bas).

Conclusion

Pour fraiser des surfaces de pièces parfaites, sans traces d'ondulation visibles, il est nécessaire d'utiliser des systèmes de mesure avec une très faible erreur d'interpolation, tels que les systèmes de mesure linéaire LC 100, LC 400 ou LF de HEIDENHAIN.

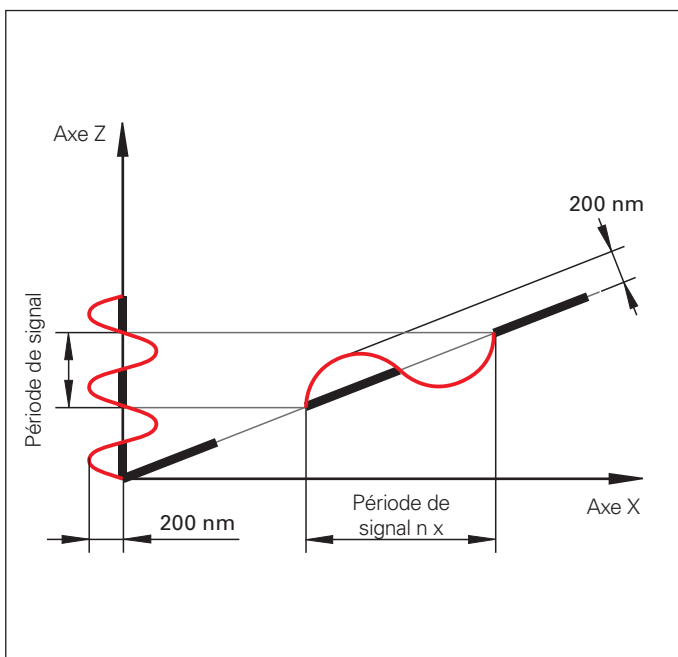


Figure 3 : Effets de l'erreur d'interpolation (200 nm, par exemple) sur un plan incliné

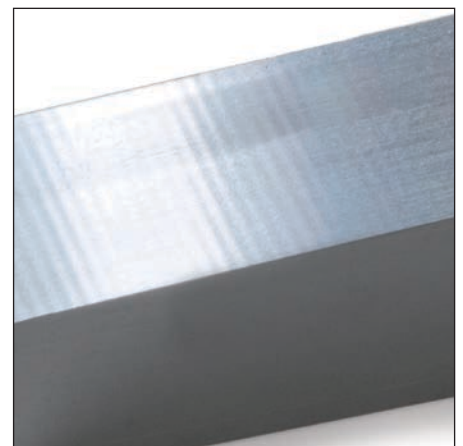
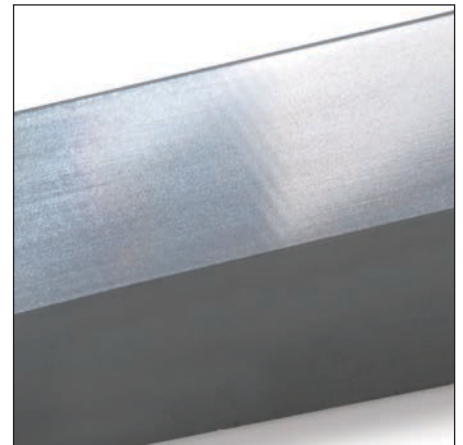


Figure 4 : Surfaces usinées avec un système de mesure dont l'erreur d'interpolation est inférieure à 100 nm (en haut), égale à 200 nm (au centre) et égale à 500 nm (en bas)

Les systèmes de mesure linéaire de HEIDENHAIN

Les systèmes de mesure linéaire de HEIDENHAIN se distinguent par leur très haute précision et leur très grande robustesse. Le support de mesure DIADUR, extrêmement précis, ainsi que le balayage de grande précision à un seul champ, permettent d'atteindre une qualité de signal élevée. Cela constitue la base des systèmes de mesure de très grande précision présentant de faibles écarts de position dans une période de signal.

Par exemple, l'erreur d'interpolation la plus élevée des systèmes de mesure linéaire de type LC de HEIDENHAIN est nettement inférieure à 100 nm.

La Figure 5 ci-dessous représente les valeurs RMS des erreurs d'interpolation obtenues au cours d'une série de mesures de 1000 règles de type LC 183. Dans 85 % des cas, la valeur RMS de l'erreur d'interpolation est inférieure à 12 nm. En tant que modèle successeur, la règle LC 115 présente des valeurs d'écart RMS encore plus faibles.

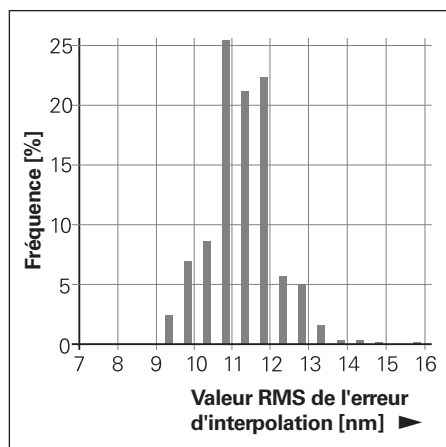
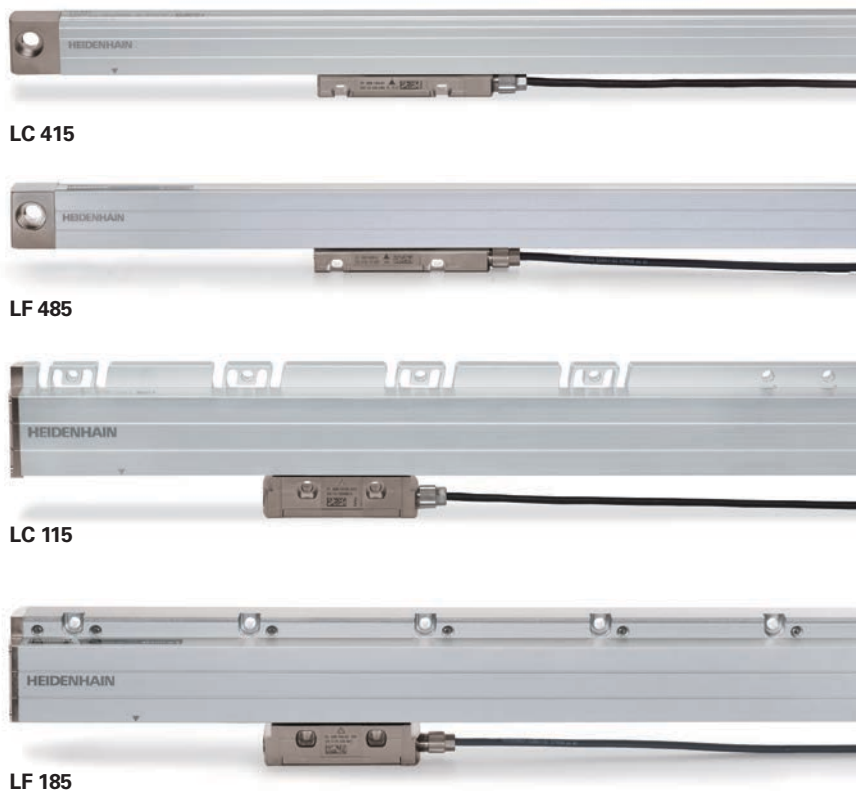


Figure 5 : Erreurs d'interpolation (valeurs RMS) de la règle LC 183 de HEIDENHAIN

	Période de signal	Écarts de position max. par période de signal	Longueur de mesure	Interface	Type
Systèmes de mesure linéaire avec carter de règle petit profilé					
Absolu	–	± 100 nm	jusqu'à 2040 mm ¹⁾	EnDat 2.2	LC 415
Incrémental	4 µm	± 40 nm	jusqu'à 1220 mm	~ 1 V _{CC}	LF 485
Systèmes de mesure linéaire avec carter de règle gros profilé					
Absolu	–	± 100 nm	jusqu'à 4240 mm	EnDat 2.2	LC 115
Incrémental	4 µm	± 40 nm	jusqu'à 3040 mm	~ 1 V _{CC}	LF 185

¹⁾ avec rail de montage pour une longueur de mesure supérieure à 1240 mm



HEIDENHAIN

DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH
Dr.-Johannes-Heidenhain-Straße 5
83301 Traunreut, Germany

☎ +49 8669 31-0
☎ +49 8669 5061

E-mail: info@heidenhain.de

www.heidenhain.de

Pour plus d'informations :

- Catalogue *Systèmes de mesure linéaire pour machines-outils à commande numérique*
- Information technique *La précision d'usage des machines-outils*
- Information technique *Les systèmes de mesure linéaire améliorent la précision de l'usinage*

