



Information technique

## Les systèmes de mesure linéaire améliorent la précision de l'usinage

La précision d'une machine-outil dépend fortement de sa capacité à maîtriser les rapides changements des conditions de fonctionnement. Le passage d'une opération d'ébauche à celle de finition modifie considérablement les charges mécaniques et thermiques que subit la machine et la précision peut en être fortement altérée. Des variations de charges analogues interviennent lors de l'usinage de petits lots de pièces. Les perpétuels changements entre les opérations de dégauchissage des pièces ou d'usinage de pièces à façon sont à l'origine d'une formation de chaleur dont les effets se répercutent sur la précision. Dans le cas notamment de faibles lots de pièces, la rentabilité des ordres de production développés dans d'étroites tolérances dépend de la précision de la première pièce. Dans ce contexte, la précision thermique d'une machine-outil devient un critère déterminant.

Les entraînements d'avance jouent ici un rôle particulièrement important. Ils sont fortement sollicités par les vitesses de déplacement et accélérations élevées et produisent beaucoup de chaleur. Si l'on ne dispose pas d'une technologie adaptée pour la mesure de position, cette chaleur peut engendrer en peu de temps des erreurs de positionnement de l'ordre de 100  $\mu\text{m}$ .

### Stabilité thermique des machines-outils

Les solutions permettant d'éliminer sur les pièces les écarts dimensionnels d'origine thermique s'avèrent de plus en plus cruciales dans l'industrie de la machine-outil. Le refroidissement actif, les machines à structures symétriques et les mesures de température sont autant de procédés mis en oeuvre aujourd'hui de manière tout à fait courante.

La dérive thermique a sa source principalement dans les axes d'entraînement qui fonctionnent avec des vis à billes. La diffusion de la température le long de la vis à billes évolue rapidement en fonction des vitesses et forces d'avance. Sur les machines-outils qui ne sont pas équipées de moteurs linéaires, les variations de longueur (100  $\mu\text{m}/\text{m}$  typ. en 20 minutes) peuvent engendrer des défauts significatifs sur la pièce.



Figure 1 Situation d'usinage classique

## Enregistrement de position des entraînements

La position d'un axe d'avance CN est enregistrée, soit avec la vis à billes en liaison avec un capteur rotatif, soit à l'aide d'un système de mesure linéaire.

Si la position du chariot est calculée au moyen du pas de la vis et d'un capteur rotatif (fig. 2), la vis à billes a alors une double fonction: En tant que système d'entraînement, elle transmet d'importantes forces et en tant qu'élément chargé de définir la position, on attend d'elle des valeurs très précises et une reproductibilité élevée du pas de vis. Mais la boucle d'asservissement de position n'inclut que le capteur rotatif. Dans la mesure où il est impossible de compenser les altérations du mécanisme d'entraînement dues à l'usure ou à la température, on parle alors d'un fonctionnement en "semiclosed loop". Les erreurs de position des entraînements sont alors inévitables et elles peuvent affecter considérablement la qualité de la pièce.

Avec un système de mesure linéaire pour enregistrer la position du chariot (fig. 3), la boucle d'asservissement de position englobe tout le mécanisme d'entraînement. On parle alors de "closed loop". Le jeu et les imprécisions des éléments de transmission de la machine n'influent nullement sur l'enregistrement de position. La précision de la mesure ne dépend pratiquement que de la précision et du lieu d'implantation du système de mesure linéaire.

## Démonstration de la précision d'entraînement

### Exemple: Pièce avec motif de trous

La précision d'un axe d'avance fonctionnant en mode "closed loop" ou "semiclosed loop" peut être démontrée avec la production en série d'une pièce simple comportant un motif de trous réparti régulièrement sur toute sa longueur. En mode "semiclosed loop", la dérive d'origine thermique est restituée aux différentes positions de perçage et elle est la manifestation des effets de l'échauffement de la vis à billes. Les erreurs engendrées en mode "semiclosed loop" sont visibles si l'on produit plusieurs pièces à partir d'une même pièce brute.

La figure 4 illustre la production en série de plusieurs pièces sur une même pièce brute. Dans une première étape, on usine 2 faces frontales et 3 trous. On simule ensuite la fabrication d'autres pièces en répétant l'usinage 30 fois sans intervention de l'outil. Puis, l'opération de fraisage de la pièce se poursuit après une passe de 2 mm. L'usinage se termine au bout de 70 min. après avoir exécuté 10 passes de fraisage et 270 répétitions sans intervention de

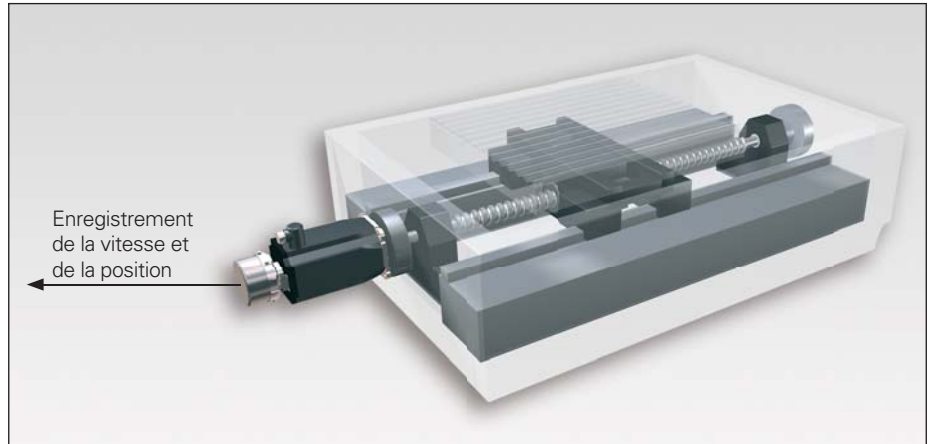


Figure 2 Asservissement de position en mode "semiclosed loop" avec vis à billes et capteur rotatif

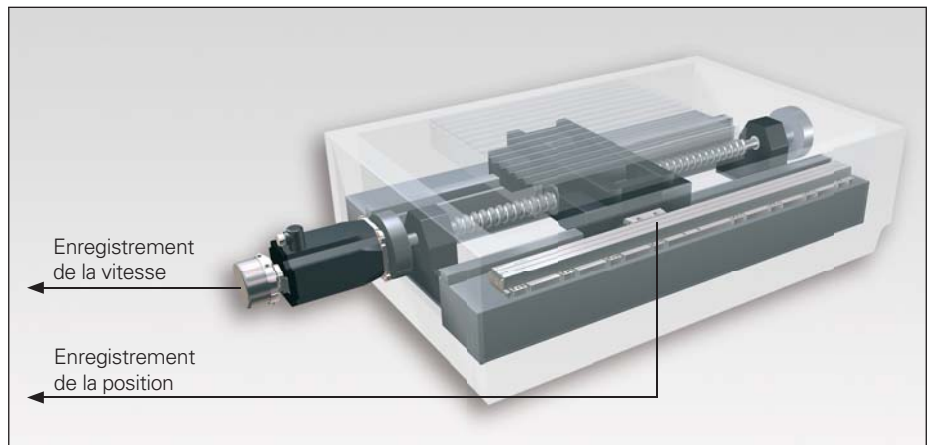


Figure 3 Asservissement de position en mode "closed loop" avec système de mesure linéaire

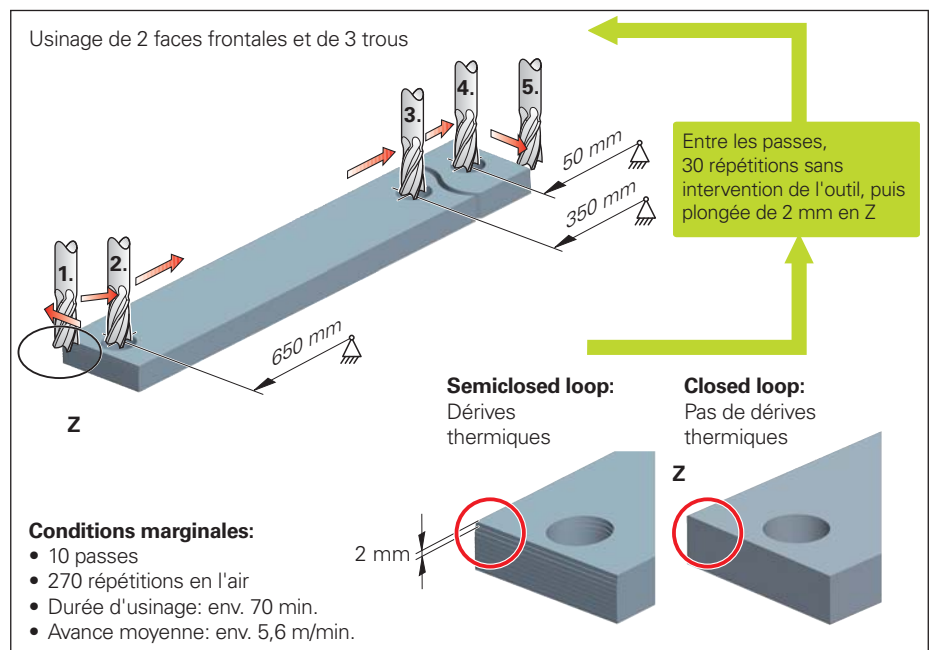


Figure 4 Effet de la précision de l'entraînement sur la production en série  
 $\triangle$  = palier fixe de la vis à billes

l'outil. L'importante formation de chaleur à l'intérieur de la vis à billes engendre des écarts d'origine thermique qui se traduisent par la formation de petits épaulements sur la face frontale et dans les trous (fig. 5). La dérive thermique au niveau du trou le plus éloigné du palier fixe de la vis à billes est de  $213 \mu\text{m}$ . On obtient des résultats comparables avec le test de la stabilité thermique de position suivant DIN ISO 230-3 réalisé au moyen d'un système de mesure comparateur VM 182. Plus l'écrou et le palier fixe de la vis à billes sont éloignés l'un de l'autre et plus la dérive thermique augmente. En mode "closed loop", cette dérive thermique peut être compensée en utilisant des systèmes de mesure linéaire de précision. Les tests selon VDI-DGQ 3431 et DIN/ISO 230-2 pratiqués couramment pour déterminer la précision de la machine au moment de sa réception n'analysent pas ces erreurs thermiques.

### En résumé

La réalisation flexible des ordres de fabrication implique l'utilisation de machines-outils thermiquement très stables. La précision de la machine doit être préservée même si les conditions de charges varient énormément. Les axes d'entraînement doivent donc engendrer la précision voulue sur toute la course, même si les vitesses et les forces d'usinage fluctuent beaucoup. La dilatation thermique à l'intérieur des vis à billes des axes linéaires varie en fonction de la vitesse et de la charge et affecte la précision. Lors de l'usinage, des erreurs de position de  $100 \mu\text{m}$  et plus peuvent être constatées dans un laps de temps de 20 minutes si la position du chariot est déterminée seulement au moyen du pas de la vis à billes et d'un capteur de motorisation. Comme d'importantes erreurs au niveau de l'entraînement ne peuvent pas être compensées dans la boucle d'asservissement avec cette méthode, on parle d'un fonctionnement en "semiclosed loop". La mise en œuvre de systèmes de mesure linéaire permet d'éliminer complètement cette source d'erreur. Les entraînements équipés de systèmes de mesure linéaire fonctionnent en "closed loop": Les erreurs de la vis à billes sont prises en compte dans l'enregistrement de position et peuvent donc être ensuite compensées par la commande numérique. Les systèmes de mesure angulaire situés sur les axes rotatifs présentent les mêmes avantages car la dilatation thermique affecte également ces éléments mécaniques d'entraînement. En outre, les systèmes de mesure linéaire et angulaire garantissent la précision élevée des pièces usinées, même lorsque les conditions de fonctionnement fluctuent énormément sur les machines-outils.

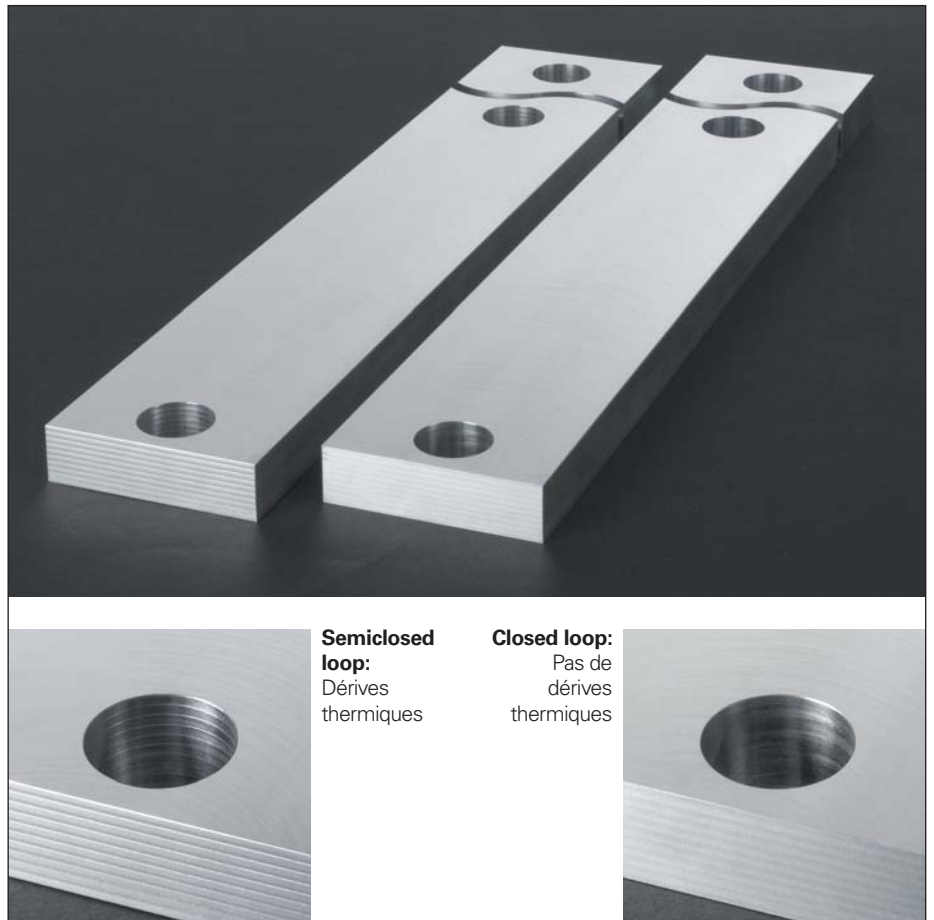


Figure 5 Dérive du motif de trous dans la production en série

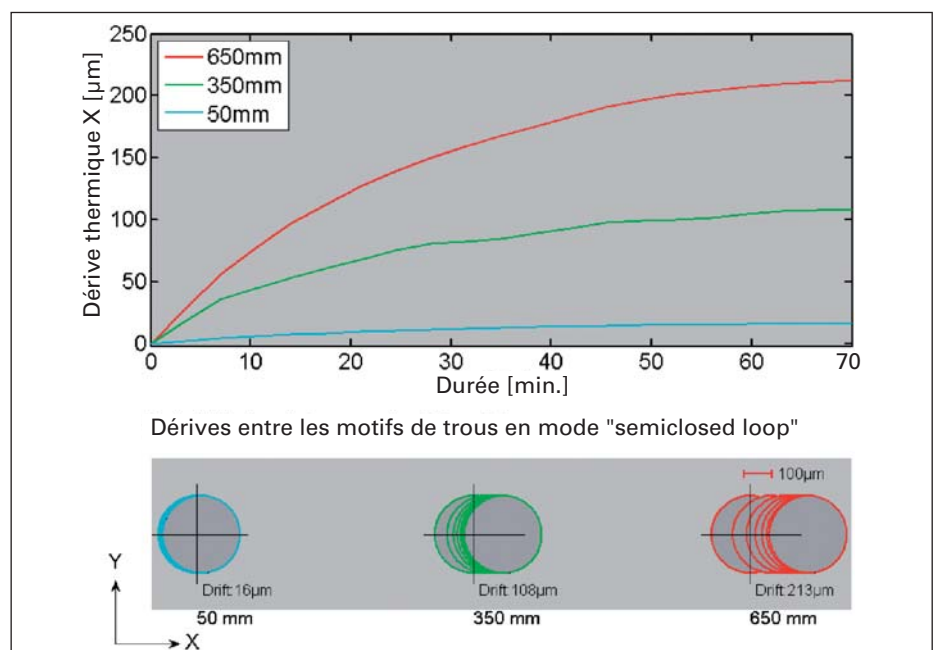


Figure 6 Dérive à diverses positions dans la zone de déplacement sur l'axe X (ISO 230-3)

# Systèmes de mesure linéaire pour machines-outils

Les systèmes de mesure linéaire utilisés pour l'asservissement de position sont indispensables pour obtenir une grande précision de positionnement sur les machines-outils. Ils enregistrent directement la position effective sur l'axe. Les éléments mécaniques de transmission n'influent donc nullement sur l'enregistrement de la position: Les erreurs cinématiques tout comme les erreurs d'origine thermique ou engendrés par d'autres forces sont mesurés par le système de mesure linéaire et pris en compte dans la boucle d'asservissement de position. On peut donc ainsi éviter toute une série de sources possibles d'erreurs:

- Erreurs de positionnement dues à la dilatation de la vis à billes
- Erreurs à l'inversion
- Erreurs de déformation du mécanisme d'entraînement par des forces d'usinage
- Erreurs cinématiques dues aux défauts de pas de la vis à billes

Les systèmes de mesure linéaire sont par conséquent indispensables aux machines exigeantes au niveau de la **précision du positionnement** et de la **vitesse d'usinage**.

Les systèmes de mesure linéaire pour machines-outils à CN sont utilisables universellement. Ils sont conçus pour les machines et équipements avec axes asservis – par exemple, les fraiseuses, centre d'usinage, perceuses, tours et rectifieuses.

Le bon comportement dynamique des systèmes de mesure linéaire, leur grande vitesse de déplacement et d'accélération admissible dans le sens de la mesure les destinent aussi bien aux axes conventionnels à haute dynamique qu'aux entraînements directs.

	Classe de précision	Période de signal	Longueur de mesure	Interface	Type
<b>Systèmes de mesure linéaire avec règle de mesure de petit profil</b>					
<b>Absolus</b>	$\pm 5 \mu\text{m}; \pm 3 \mu\text{m}$	–	jusqu'à 2040 mm <sup>1)</sup>	EnDat 2.2	<b>LC 483</b>
<b>Incémentaux</b>	$\pm 5 \mu\text{m}; \pm 3 \mu\text{m}$	4 $\mu\text{m}$	jusqu'à 1220 mm	$\sim 1 \text{V}_{\text{CC}}$	<b>LF 481</b>
	$\pm 5 \mu\text{m}; \pm 3 \mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$	jusqu'à 2040 mm <sup>1)</sup>	$\sim 1 \text{V}_{\text{CC}}$	<b>LS 487</b>
<b>Systèmes de mesure linéaire avec règle de mesure de gros profil</b>					
<b>Absolus</b>	$\pm 5 \mu\text{m}; \pm 3 \mu\text{m}$	–	jusqu'à 4240 mm	EnDat 2.2	<b>LC 183</b>
<b>Incémentaux</b>	$\pm 3 \mu\text{m}; \pm 2 \mu\text{m}$	4 $\mu\text{m}$	jusqu'à 3040 mm	$\sim 1 \text{V}_{\text{CC}}$	<b>LF 183</b>
	$\pm 5 \mu\text{m}; \pm 3 \mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$	jusqu'à 3040 mm	$\sim 1 \text{V}_{\text{CC}}$	<b>LS 187</b>
	$\pm 5 \mu\text{m}$	40 $\mu\text{m}$	jusqu'à 30040 mm	$\sim 1 \text{V}_{\text{CC}}$	<b>LB 382</b>

<sup>1)</sup> seulement avec rail de montage pour longueur de mesure supérieure à 1240 mm



**LC 483**



**LC 183**



**LB 382**

## HEIDENHAIN

**HEIDENHAIN FRANCE sarl**

2 avenue de la Cristallerie

**92310 Sèvres, France**

☎ 0141 143000

FAX 0141 143030

E-Mail: info@heidenhain.fr

www.heidenhain.fr

### Autres informations:

- Catalogue *Systèmes de mesure linéaire pour machines-outils à commande numérique*
- Information technique *La précision des entraînements sur les machines*
- Catalogue *Systèmes de mesure pour le contrôle et les tests de réception de machines-outils*

