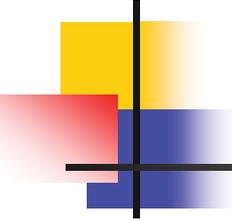


# Instruments

---

- Barre à bille (Renishaw QC-10)
- Analyseur de broche (Lion Precision SEA-7)
- Encodeurs planaires
- Autres instruments de mesure



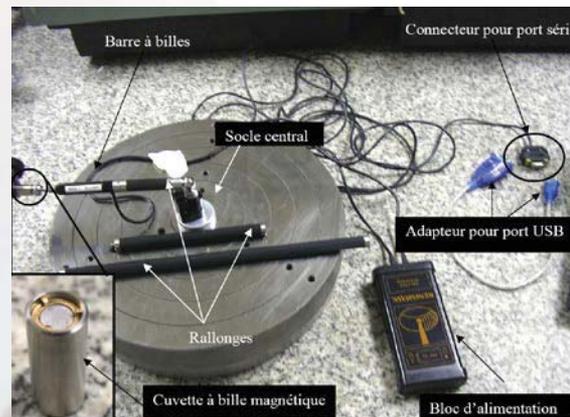
## Analyse par barre à bille

---

- Test de circularité de la trajectoire
- Permet d'identifier des problèmes statiques ainsi que dynamiques
- Construction simple et robuste
- Essai en plan
- En laboratoire une est disponible, marque Renishaw QC10

# Principe de fonctionnement

- Mesure précise de la longueur de la barre à bille
- Synchronisation avec le mouvement de rotation de la broche.
- Traitement des données en temps utile par un ordinateur



# Erreurs identifiées avec la barre à bille

- Différents jeux fonctionnels
- Pics d'inversion
- Erreur d'échelle
- Erreur d'orthogonalité
- Glissement intermittent
- Rectitude
- Trilobé
- Vibration de la machine
- Autres

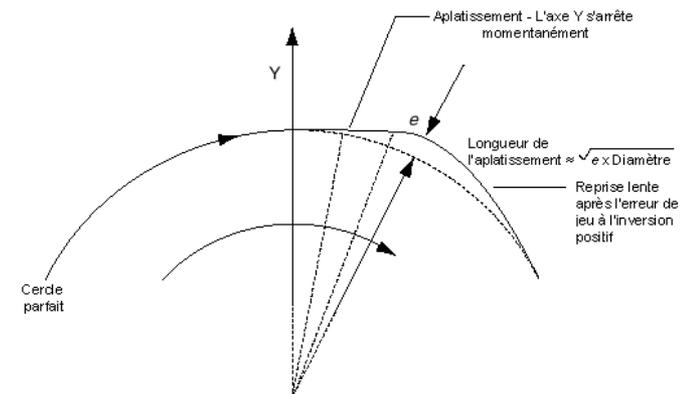
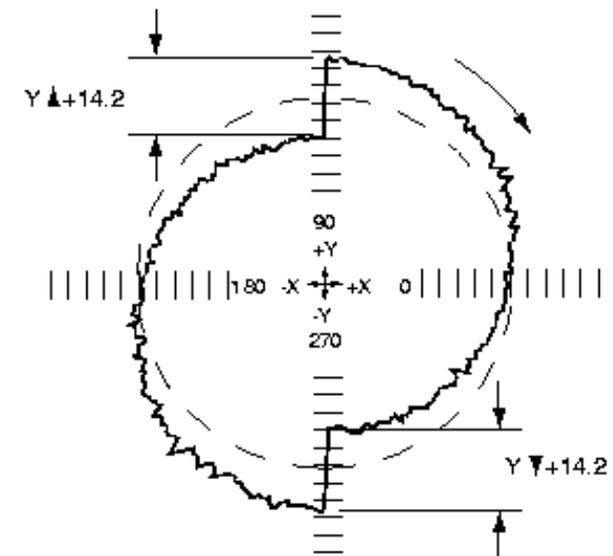


# Jeu d'inversion positif

- Sur une machine présentant un jeu à l'inversion positif, une trajectoire circulaire interpolée de l'outil présentera un court aplatissement.

Il y a peut-être :

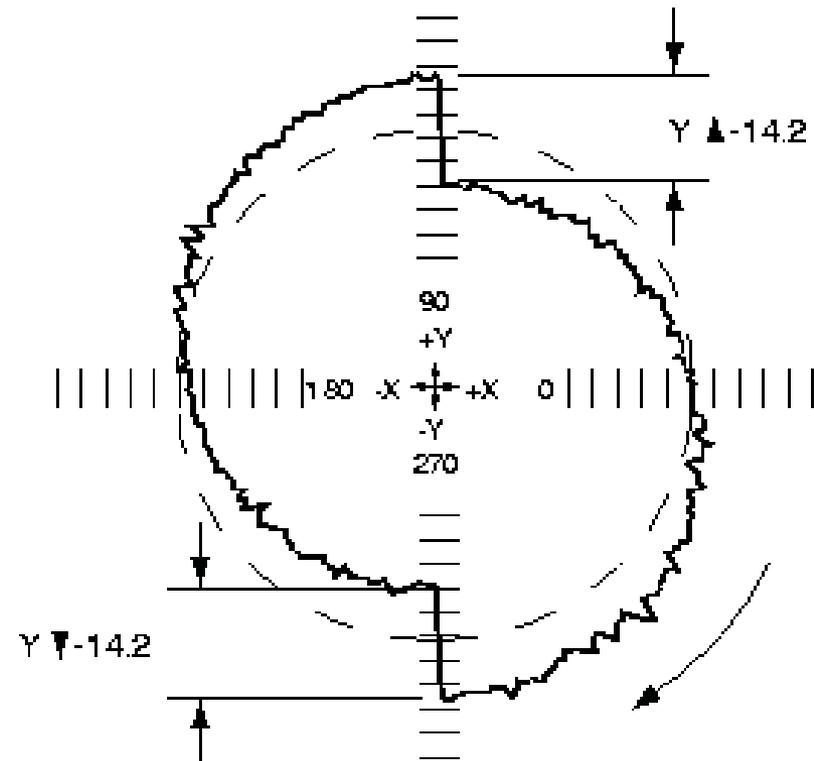
- du jeu dans le système d'entraînement de la machine, généralement causé par le jeu axial de la vis à billes ou l'usure de l'écrou d'entraînement ou de la butée fixe de la vis à billes.
- du jeu dans les guidages de la machine, ce qui provoque une pause dans le déplacement lors du changement de direction de la machine.
- une tension en rotation de la vis à billes, causée par une contrainte excessive.



# Jeu d'inversion négatif

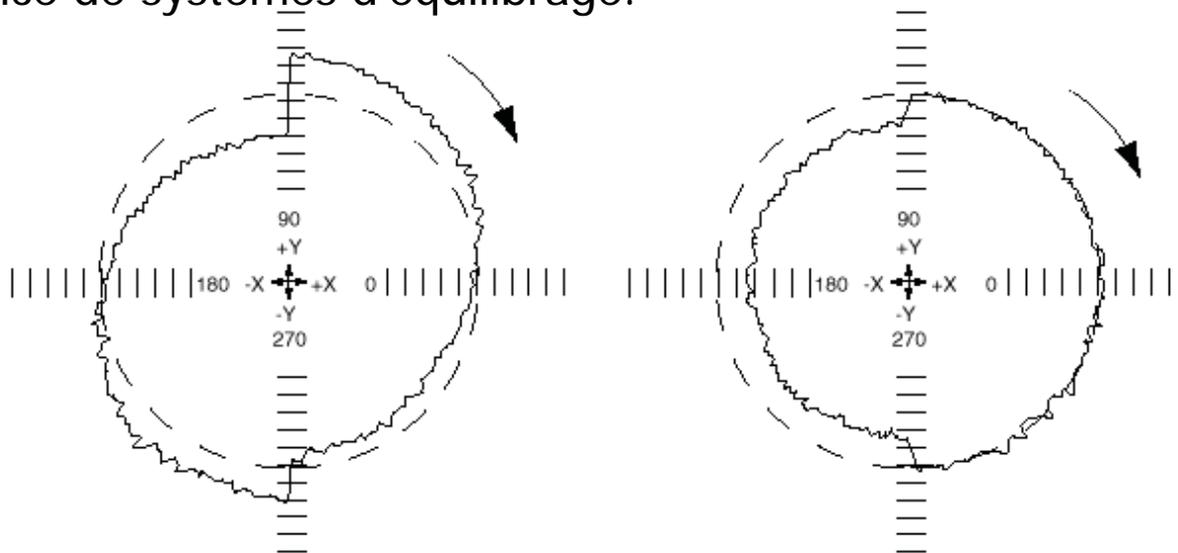
Causes probables:

- Il peut y avoir du jeu dans les guidages de la machine, ce qui provoque un à-coup dans le déplacement lors du changement de direction de la machine.
- La compensation de jeu à l'inversion appliquée à la machine pour corriger ce problème existant est trop importante. Ainsi, une machine qui présentait auparavant un problème de jeu à l'inversion positif présente maintenant un jeu à l'inversion négatif.
- La machine peut être affectée par l'hystérésis du codeur.



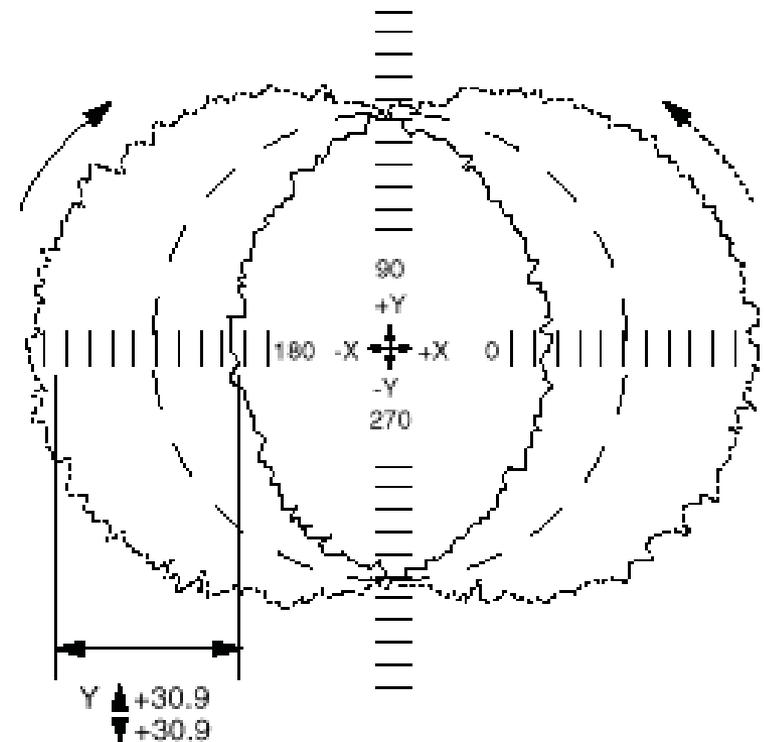
# Jeu fonctionnel inégal

- Une tension en rotation excessive de la vis à billes provoque un effet de jeu à l'inversion inégal. Celui-ci dépend de la position de l'axe par rapport à l'extrémité entraînée de la vis à billes.
- Une compensation du jeu à l'inversion moyennée peut provoquer ce type de décrochements opposés.
- La tension en rotation peut être causée pas la raideur de l'écrou ou des guidages ou l'usure de la vis à billes. Ce type de jeu à l'inversion est courant lors des tests effectués sur des axes verticaux, en raison de la présence de systèmes d'équilibrage.



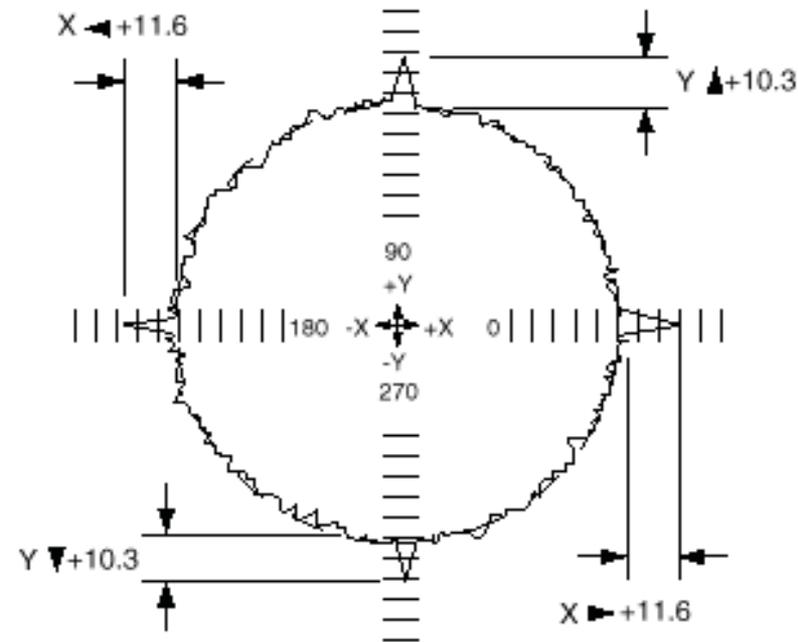
# Jeu latéral égal

- La cause principale du jeu latéral est la présence de jeu dans les guidages de la machine, ce qui permet aux axes de la machine de se déplacer perpendiculairement à leurs guidages lors de l'inversion de sens.
- Il faut faire la distinction avec un décrochement dû à un jeu à l'inversion, qui est dans ce cas en alignement avec l'axe.
- Comme on le voit sur un tracé Ballbar, le jeu à l'inversion est une erreur radiale, tandis que le jeu latéral est une erreur tangentielle.



# Pics d'inversion

- Un couple insuffisant a été exercé par le moteur de l'axe à son point d'inversion, ce qui a causé son arrêt momentané au point d'inversion, où les forces de frottement changent de direction.
- Le temps de réponse du mécanisme d'asservissement de la machine est trop long pour compenser le jeu à l'inversion. Cela signifie que la machine est incapable de compenser le jeu à l'inversion à temps, ce qui cause l'arrêt de l'axe pendant le rattrapage du jeu à l'inversion.
- La réponse du mécanisme d'asservissement au point de transition est mauvaise, ce qui cause un bref délai entre l'arrêt du mouvement de l'axe dans une direction et son démarrage dans l'autre.

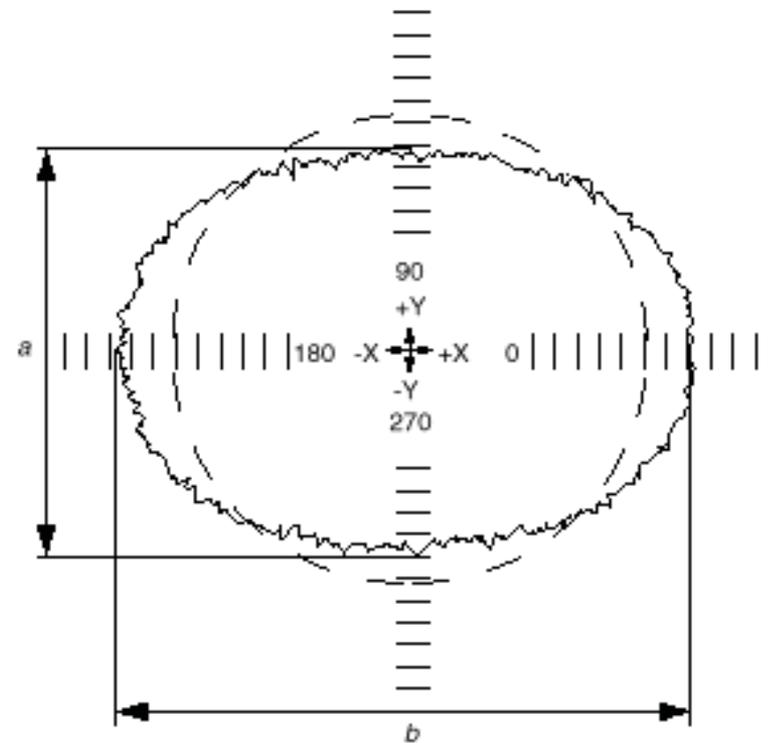


# Erreur d'échelle

L'un des axes de la machine se déplace trop ou insuffisamment par rapport à l'autre. Il y a plusieurs causes possibles à ce problème :

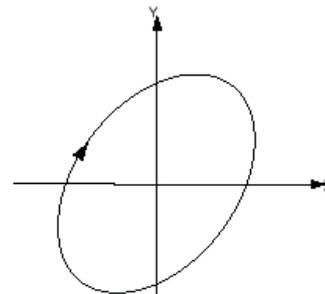
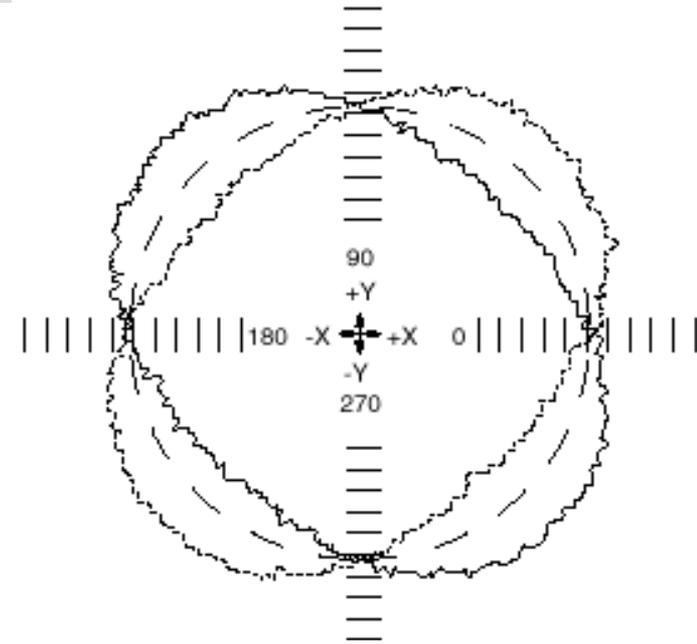
- Si des paramètres de compensation d'erreur linéaire sont utilisés, ils sont peut-être incorrectement réglés.
- La règle de mesure de l'axe peut être trop ou insuffisamment tendue.
- La vis à billes de l'axe est peut-être défectueuse ou surchauffée, ce qui entraîne une erreur de pas de la vis à billes.

La machine peut être sujette à une erreur angulaire, ce qui fait sortir l'axe X ou Y du plan du test quand il se déplace. Cela est dû à un défaut de rectitude ou de rigidité des guidages de l'axe.

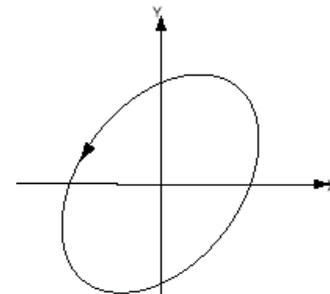


# Différence d'asservissement

- La différence d'asservissement se produit quand les gains de boucle d'asservissement des axes ne correspondent pas. L'un des axes est alors en avance sur l'autre, ce qui cause un tracé de forme ovale. L'axe en avance est celui qui a le gain de boucle d'asservissement le plus élevé.



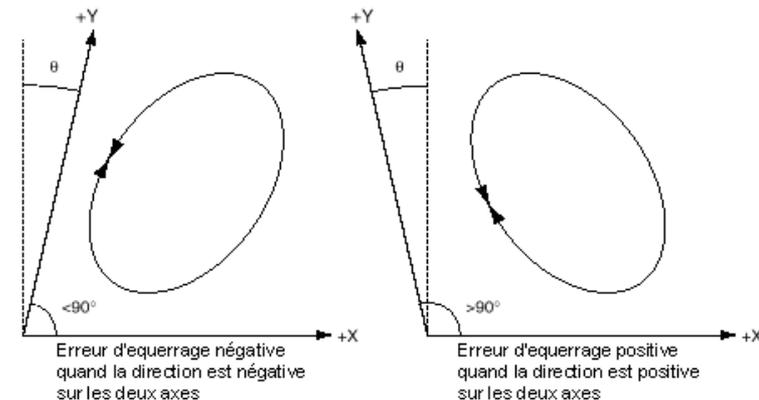
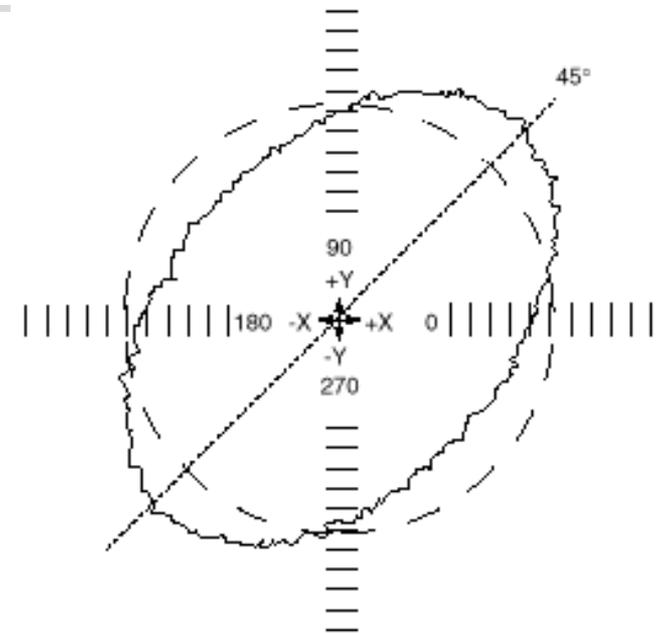
X est en avance  
Y est en retard  
Gain X > Gain Y



X est en retard  
Y est en avance  
Gain X < Gain Y

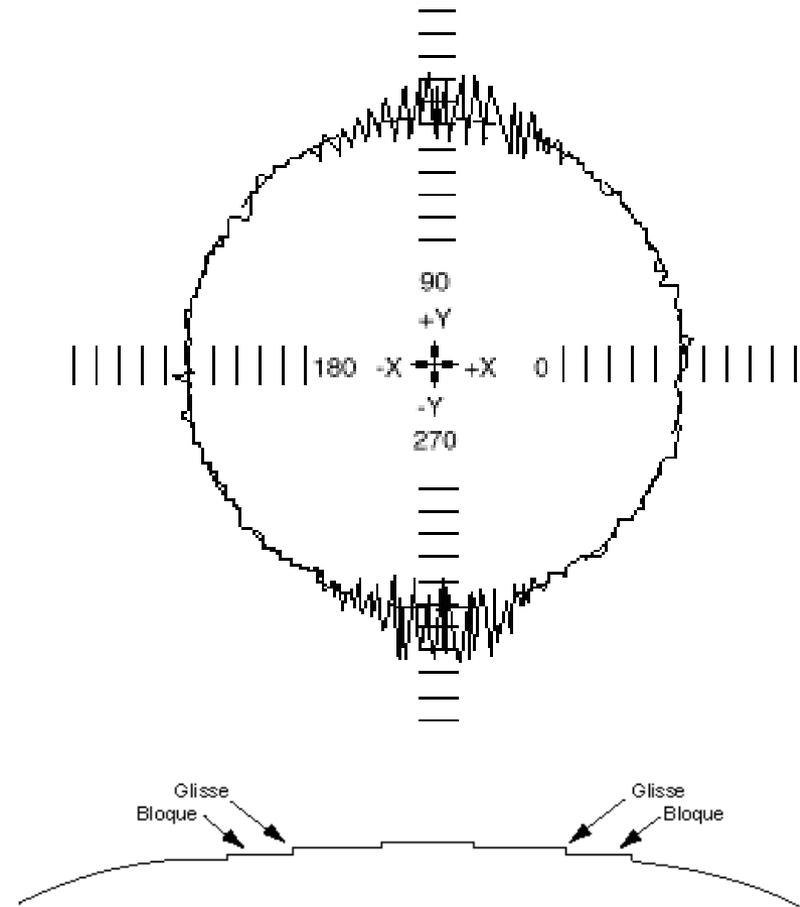
# Orthogonalité des axes

- Il y a erreur d'orthogonalité quand les axes X et Y de la machine ne sont pas perpendiculaires entre eux à la position d'exécution du test sur la machine. Les axes peuvent être courbés localement ou présenter un désalignement général dans la machine.
- Les axes de la machine sont peut-être affaissés, ce qui cause un défaut d'alignement à certains endroits.
- Les guidages de la machine sont peut-être excessivement usés, ce qui crée un peu de jeu dans les axes lorsqu'ils se déplacent.



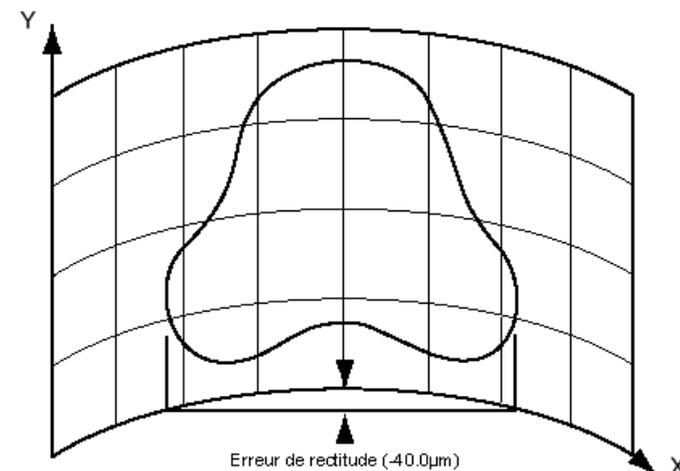
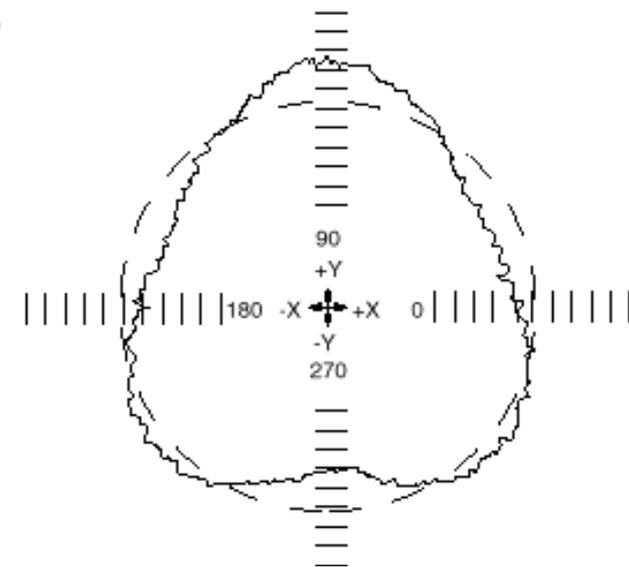
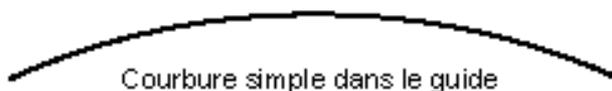
# Glissement intermittent

- La puissance fournie à l'axe à basse vitesse est insuffisante pour surmonter le frottement des glissières, ce qui fait coincer momentanément l'axe. Dans ces conditions, plus la vitesse d'avance est basse, plus il se produit de glissement intermittent.
- Les éléments de roulement ou les guidages de la machine sont endommagés et empêchent le déplacement en douceur le long des axes, ce qui les fait coincer à certains points.
- Les guides de paliers de la machine sont peut-être trop vieux et lisses pour maintenir un film de lubrification à basse vitesse. Le manque de lubrification provoque le coincement de l'axe.



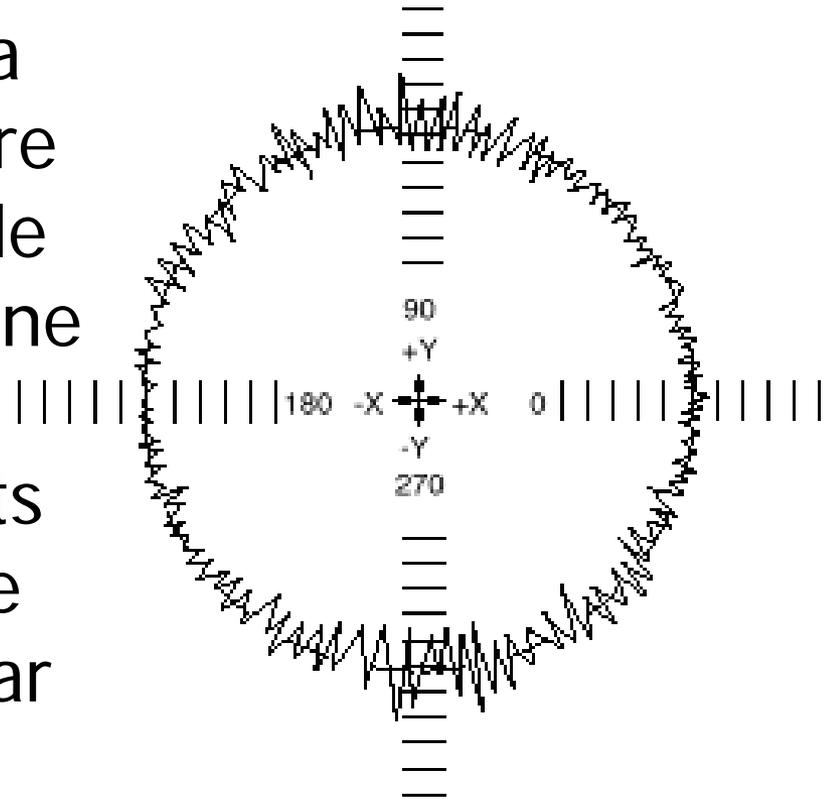
# Rectitude des guidages

- Une erreur de rectitude est causée par un défaut de rectitude sur les guidages de la machine.
- Les guidages peuvent être courbés localement ou il peut y avoir un désalignement général des guidages dans la machine. Cela peut résulter de l'usure des guidages, d'un accident qui a endommagé les guidages ou les a désalignés, ou de fondations de la machine défectueuses qui peuvent provoquer un effet de courbure dans la machine tout entière.



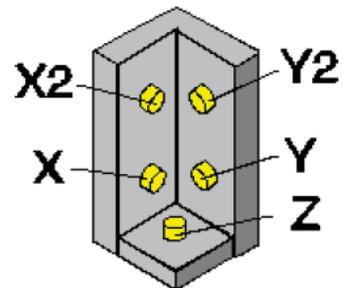
# Vibrations de la machine

- Une vibration se produit sur la machine. La vibration peut être produite par la machine (par le mécanisme d'entraînement, une fonction de la boucle d'asservissement ou des galets endommagés), ou provenir de l'environnement (transmise par le sol).

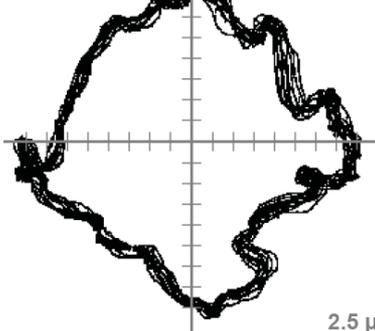


# Analyseur de broche

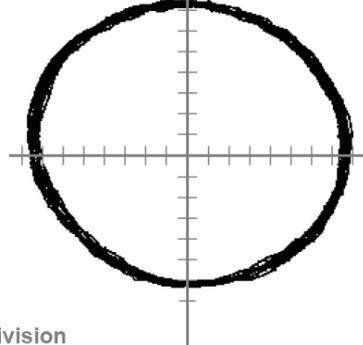
- Analyse sur 3 ou 5 canaux
- Informations sur les erreurs causées par la broche
- Basé sur la mesure précise de la distance entre un étalon et un set de capteurs



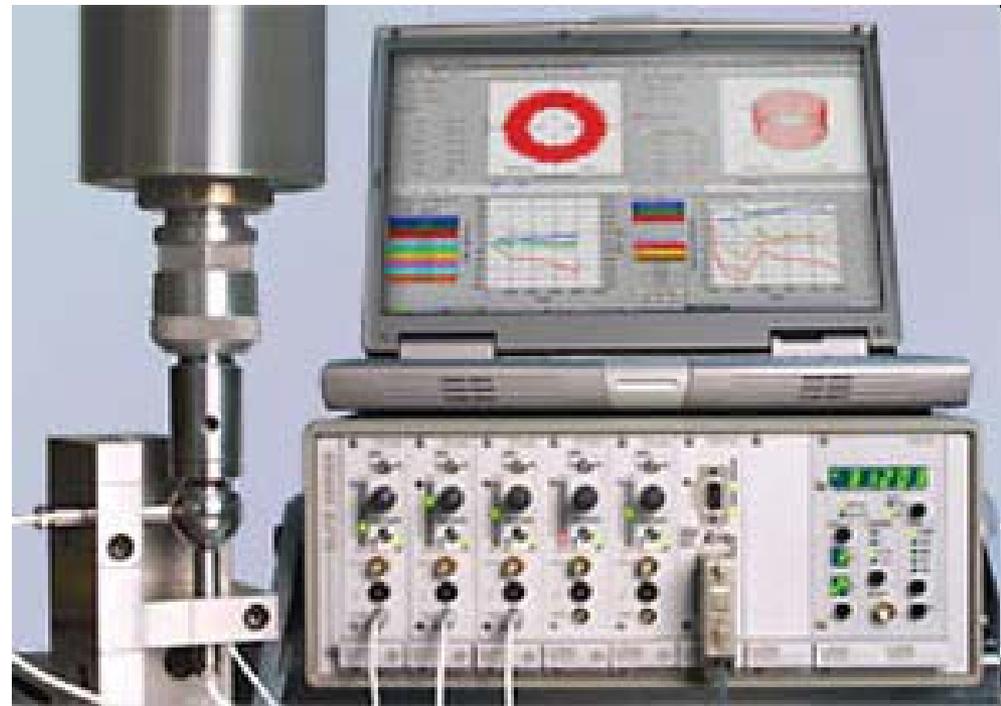
Capteur de proximité  
inductif



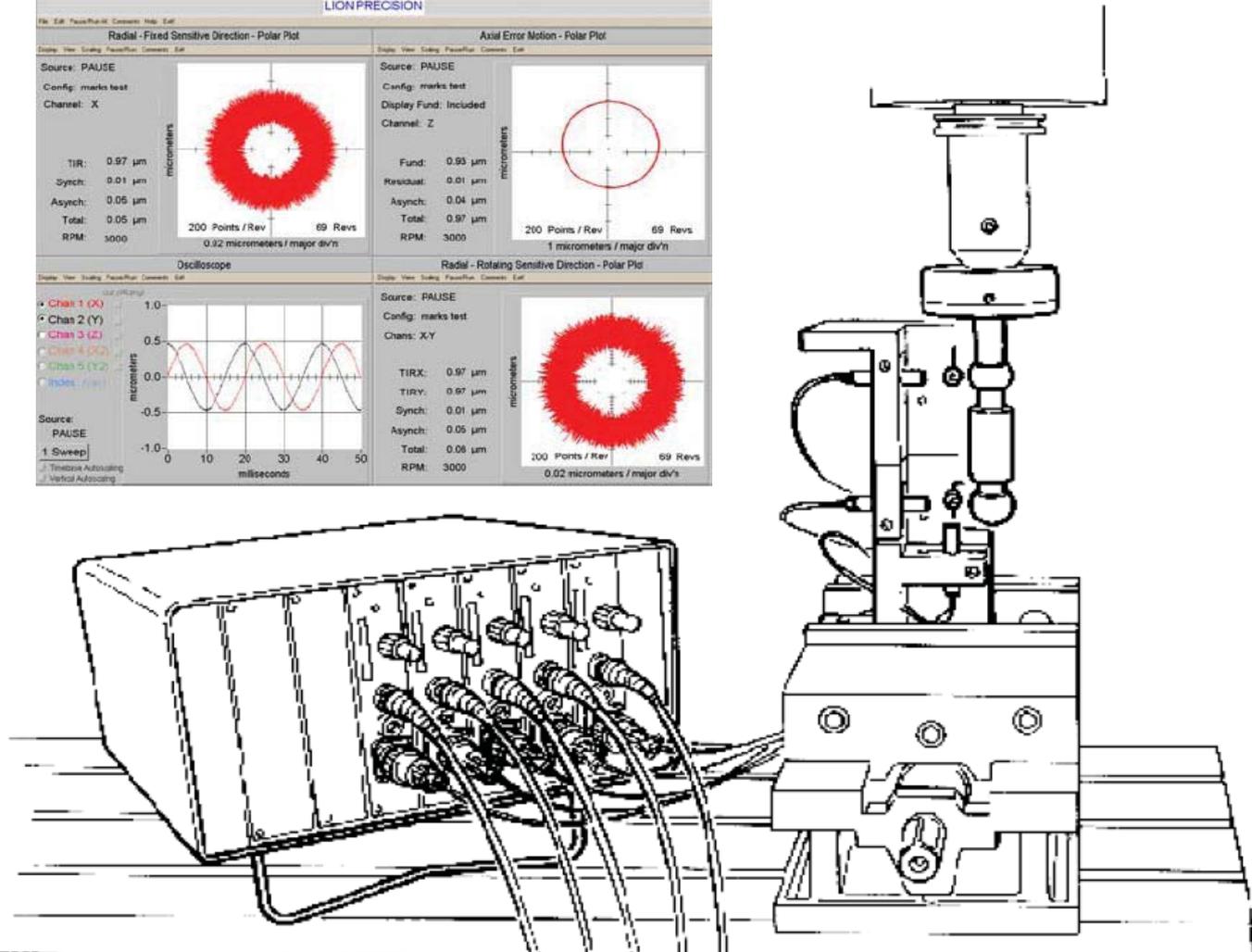
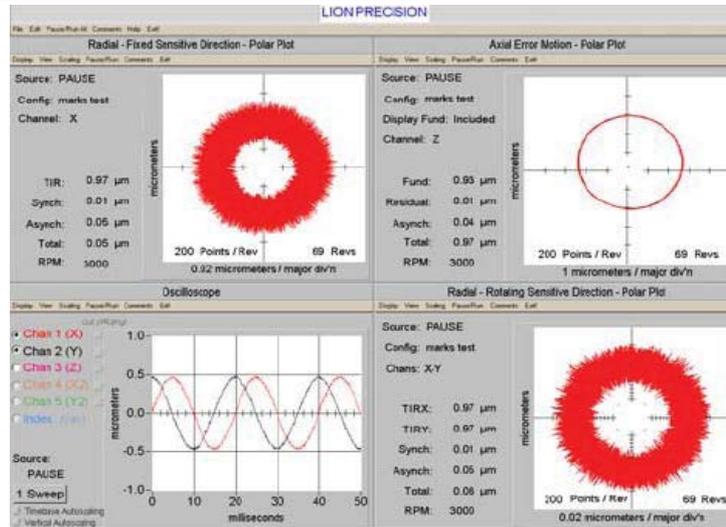
Capteur de proximité  
capacitif



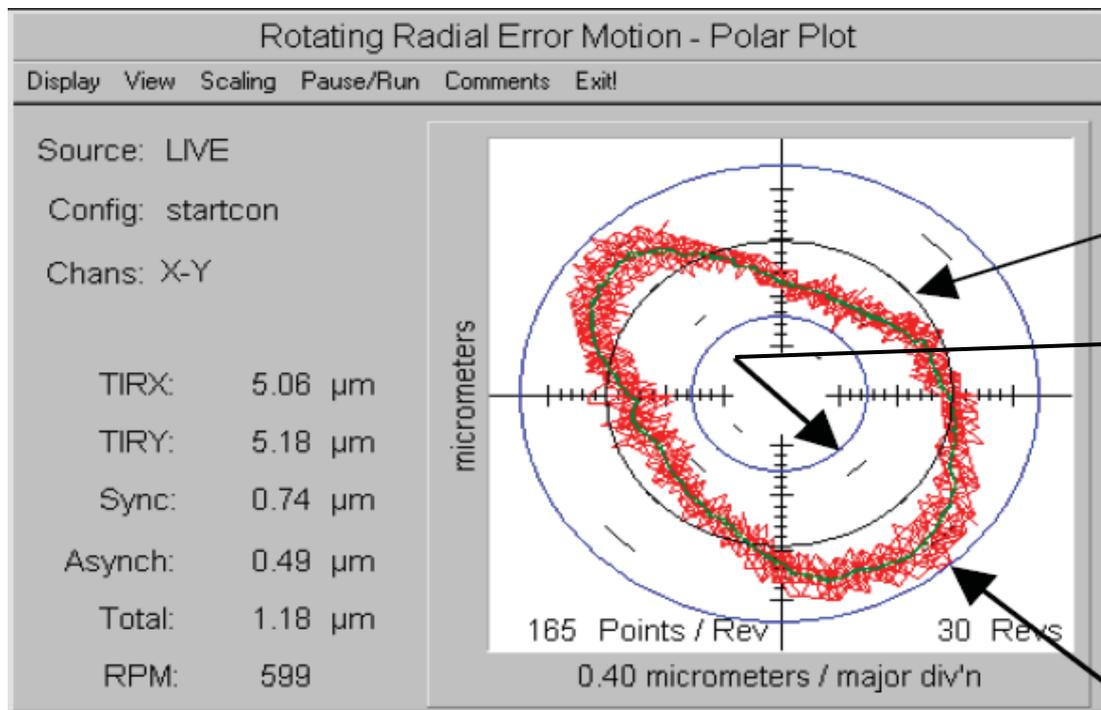
2.5  $\mu\text{m}$ /Division



# Systeme de mesure de la broche Lion Precision SEA-7



# Erreur totale de déplacement

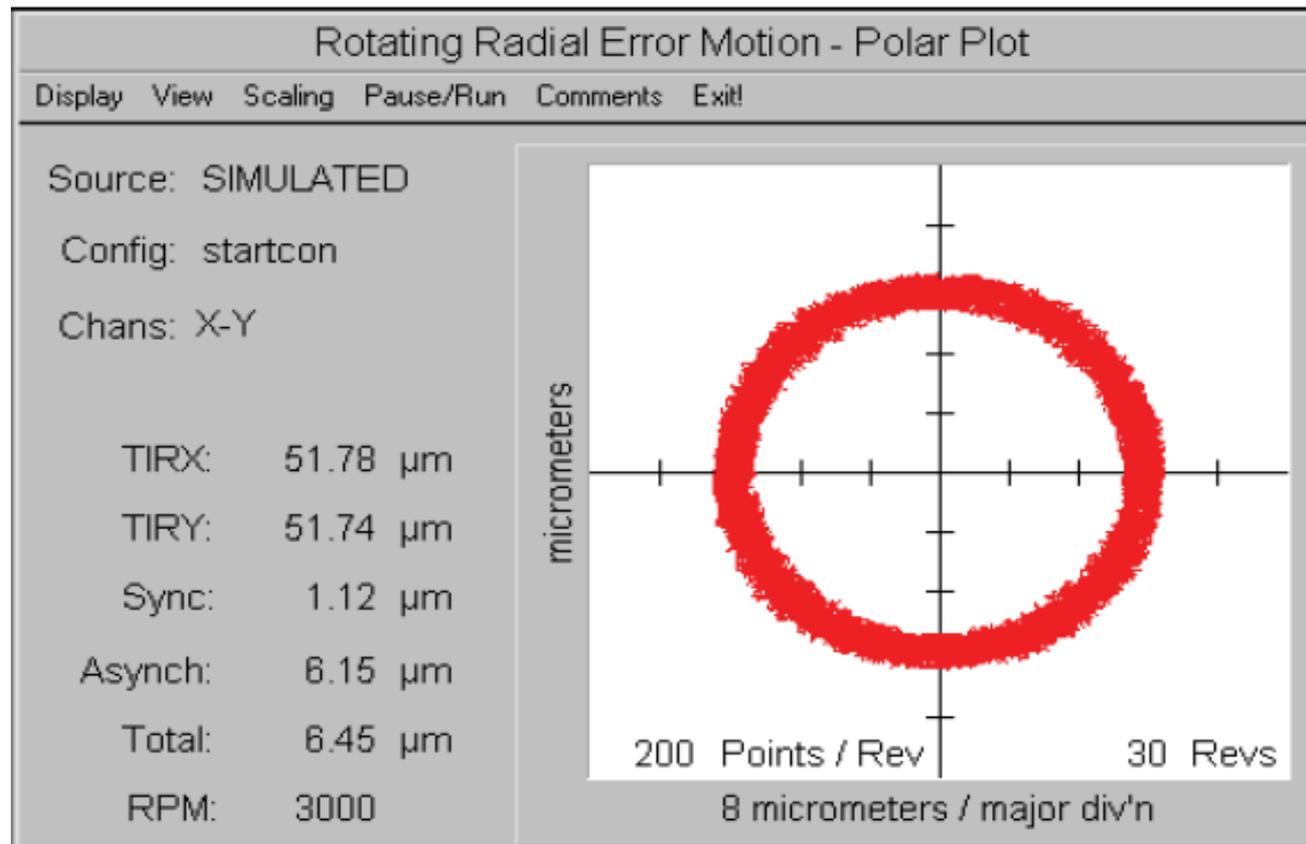


Cercle des moindres carrés

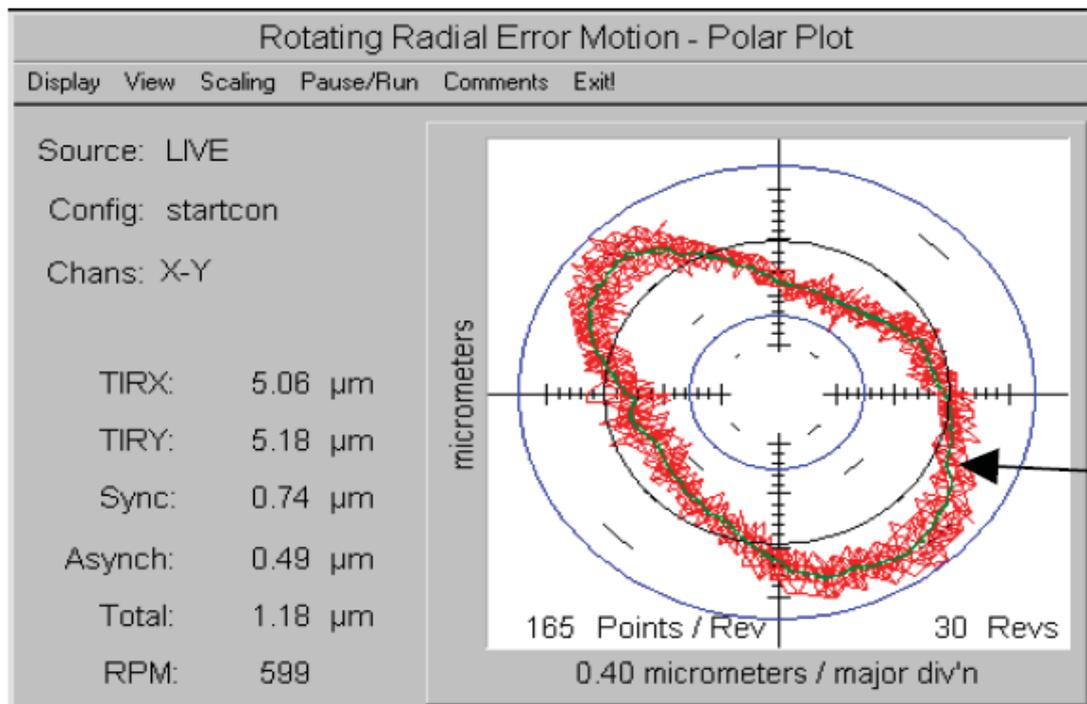
Erreur minimale

Erreur maximale

# Erreur asynchrone



# Erreur synchrone



Erreur localisée à un angle précis

# Erreurs planaires détectés

Causes possibles:

## Erreurs synchrones

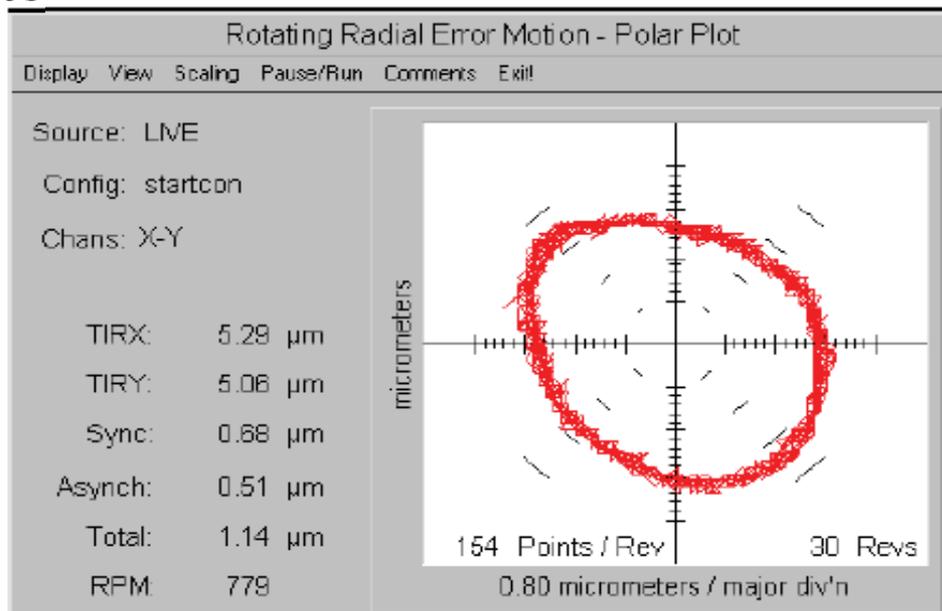
- Roulements ovalisés
- Manque d'alignement des emplacements des roulements

## Erreurs asynchrones

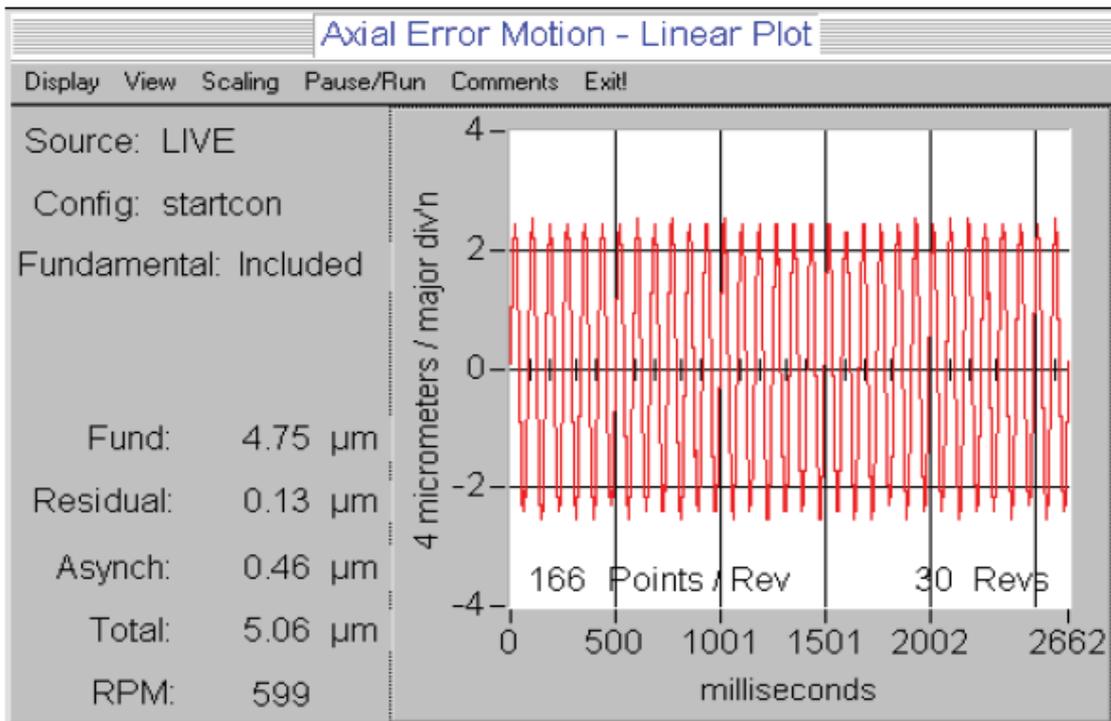
- Usure des roulements
- Pré-charge erronée
- Vibrations structurelles

## Erreurs dépendantes de vitesse

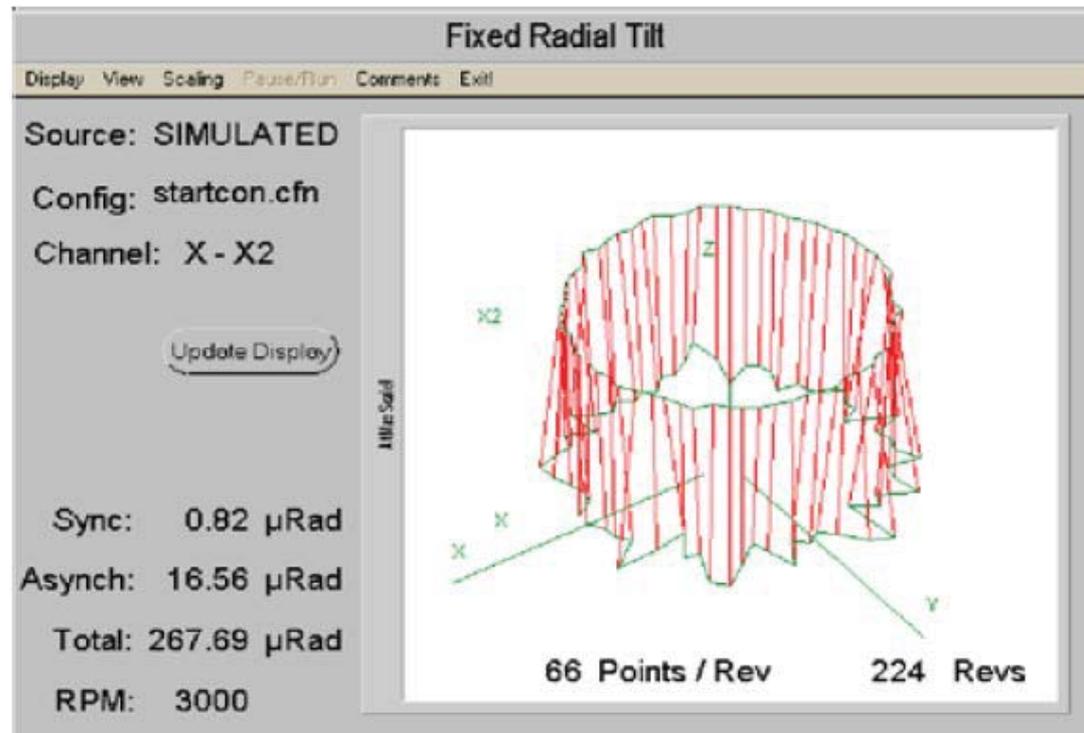
- Manque de rigidité
- Fréquences de résonance



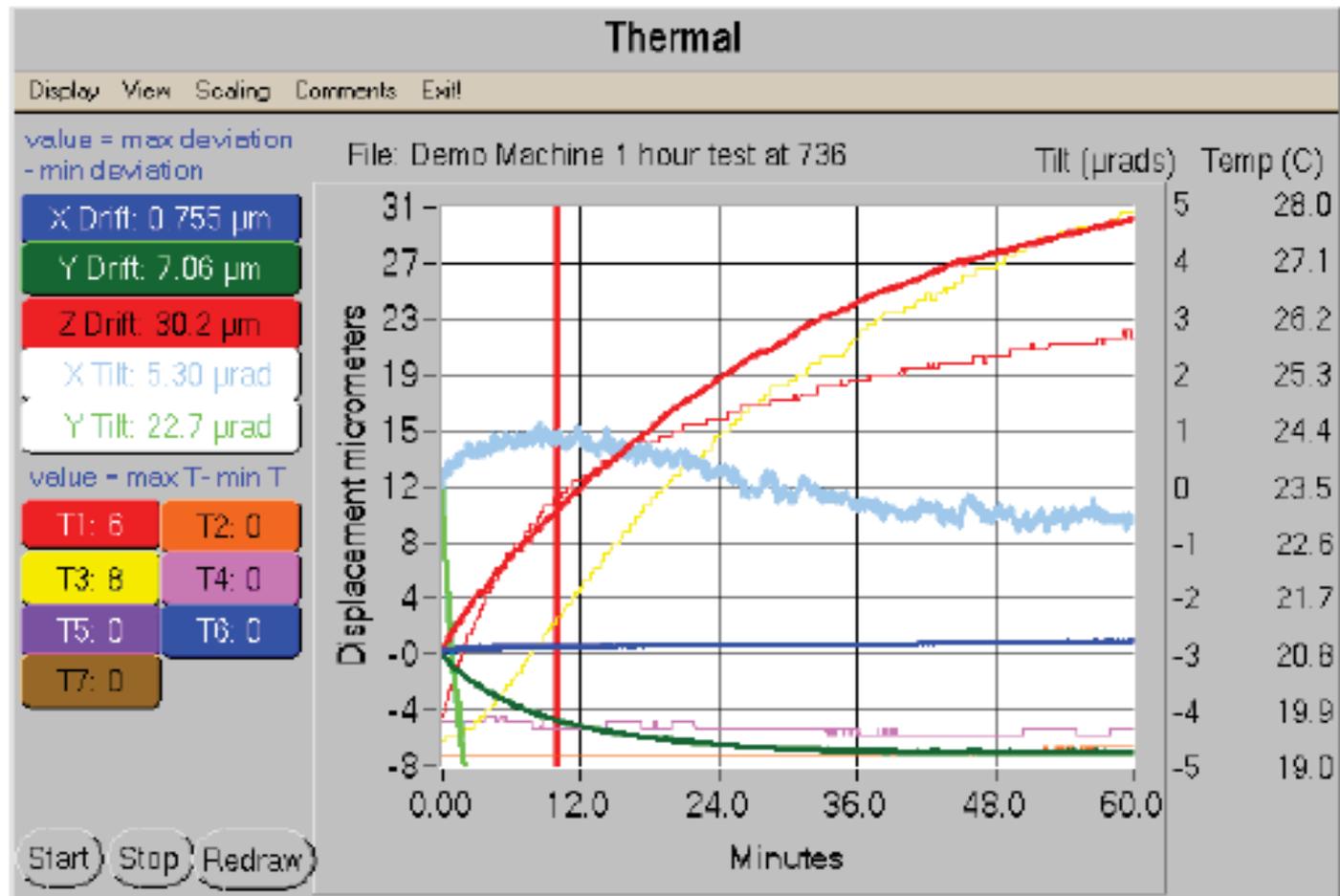
# Erreur axiale

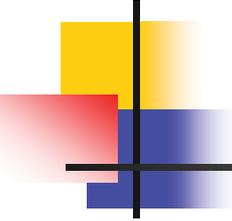


# Erreur d'inclinaison



# Erreurs thermiques



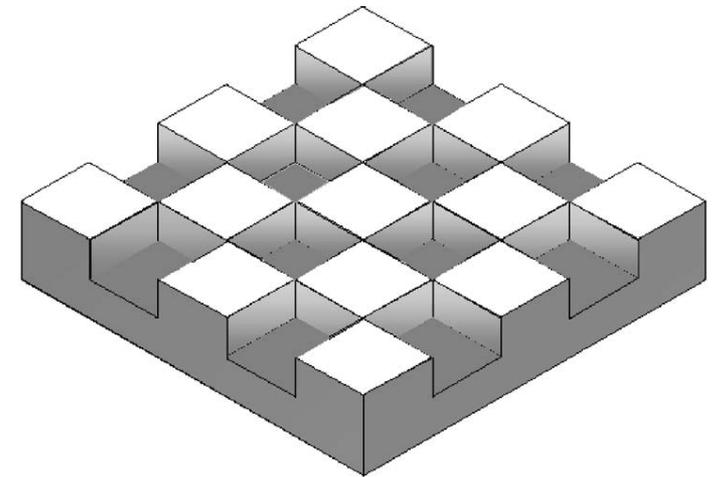
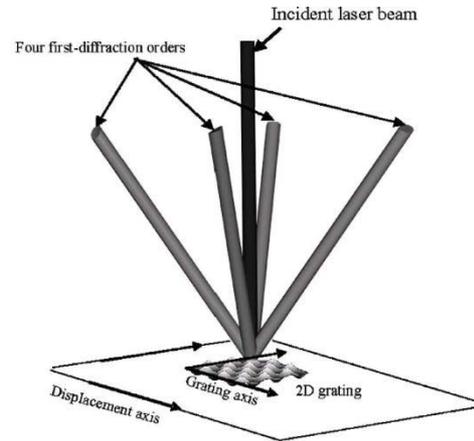
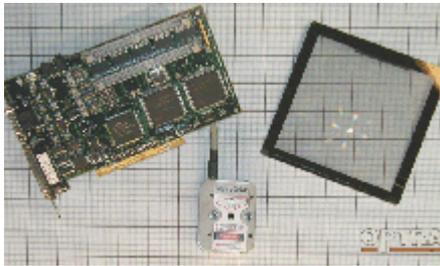


## Autres instruments de mesure

---

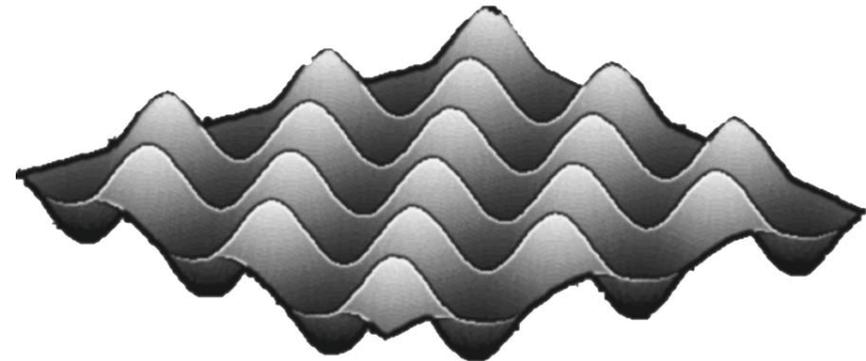
- Encodeur planaire
- Vibrations
- Émission acoustique
- Interféromètre laser
- Caméra infrarouge
- Capteur pour la puissance consommée

# Encodeur planaire



(a)

- Permet la mesure précise de la position de la table de la machine
- Grille nanométrique gravée sur de la verre optique
- Système de lecture de la position par laser ou autre radiation



(b)

# L'encodeur planaire KGM - Heidenhain

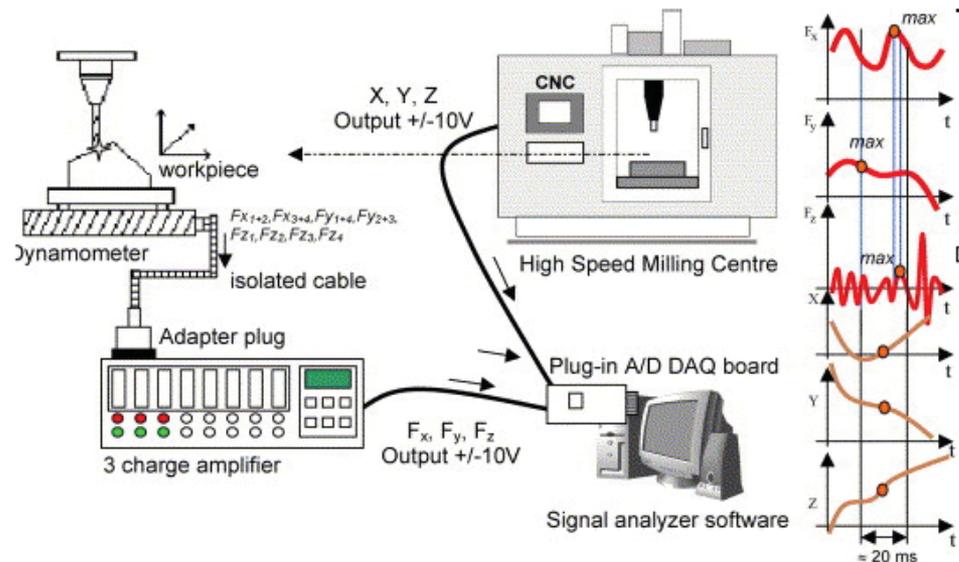
- Utilisé pour mesurer la trajectoire réelle de la broche
- Aucun contact, aucune force de friction induite
- Grille de référence avec un espacement de 4 microns
- Permet l'interpolation des déplacements de l'ordre d'un nanomètre

La distance entre le capteur et le capteur et la grille doit être réglée à  $0,5 \pm 0,05$  mm



# Table dynamométrique

- Sert à mesurer les forces de coupe.
- Six capteurs piézoélectriques sont disposés dans la table.
- Petites déformations.



# Mesure de la puissance électrique consommée

- Capteurs pour chaque phase, calcul des paramètres de consommation.

