

NORME INTERNATIONALE

ISO
230-2

Première édition
1988-11-01



INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION
ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION
МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ

Code de réception des machines-outils —

Partie 2:

Détermination de la précision et de la répétabilité de
positionnement des machines-outils à commande
numérique

Acceptance code for machine tools —

*Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled
machine tools*

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO. Les Normes internationales sont approuvées conformément aux procédures de l'ISO qui requièrent l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 230-2 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 39, *Machines-outils*.

L'attention des utilisateurs est attirée sur le fait que toutes les Normes internationales sont de temps en temps soumises à révision et que toute référence faite à une autre Norme internationale dans le présent document implique qu'il s'agit, sauf indication contraire, de la dernière édition.

Code de réception des machines-outils —

Partie 2:

Détermination de la précision et de la répétabilité de positionnement des machines-outils à commande numérique

0 Introduction

L'ISO 230, qui a pour but d'unifier les conditions techniques d'examen lors de la réception des caractéristiques de toutes les machines-outils à l'exclusion des machines portables en travail, a la structure suivante:

Partie 1: Précision géométrique des machines fonctionnant à vide ou dans des conditions de finition.

Partie 2: Détermination de la précision et de la répétabilité de positionnement des machines-outils à commande numérique.

Partie 3: Précision de la machine fonctionnant en charge.¹⁾

Partie 4: Vibration.¹⁾

Partie 5: Bruit.²⁾

Partie 6: Sécurité.¹⁾

1 Objet et domaine d'application

La présente partie de l'ISO 230 précise les méthodes de contrôle, de détermination et d'évaluation de la précision et de la répétabilité de positionnement des machines-outils et accessoires à commande numérique par mesurage direct d'axes indépendants sur la machine. Les méthodes décrites s'appliquent aussi bien aux axes de déplacements linéaires que rotatifs.

NOTE — Cette méthode ne s'applique pas au contrôle simultané de plusieurs axes.

La présente partie de l'ISO 230 concerne le mesurage de la répétabilité et de la précision de positionnement des éléments mobiles des machines à commande numérique le long ou autour de chaque axe de la machine.

Les procédés utilisés comportent des mesurages successifs en chaque position mais le nombre de mesurages et la nature des écarts ne permettent pas de déterminer avec précision le niveau de confiance des résultats. Néanmoins, les procédés retenus, qui supposent une distribution gaussienne, ont conduit en pratique à un niveau de confiance adapté et, pourvu que la procédure spécifiée soit suivie, à des résultats acceptables.

1) En préparation.

2) Actuellement au stade de projet.

2 Définitions et symboles

2.1 point visé, P_j : Position à laquelle le déplacement de l'élément mobile est programmé. L'indice j différencie le point particulier des autres points visés le long ou autour de l'axe.

2.2 position réelle, P_{ij} : Position atteinte par l'élément mobile lors de la $i^{\text{ème}}$ approche du $j^{\text{ème}}$ point visé.

2.3 écart de position, x_{ij} : Position réelle atteinte par l'élément mobile moins la position du point visé.

$$x_{ij} = P_{ij} - P_j$$

2.4 unidirectionnel: Concerne une série de mesurages pour lesquels l'approche du point visé est toujours faite dans le même sens le long ou autour de l'axe. Le symbole \uparrow précise un paramètre déduit d'un mesurage fait après une approche dans le sens positif et le symbole \downarrow après une approche dans le sens négatif, par exemple $x_{ij}\uparrow$ ou $x_{ij}\downarrow$.

2.5 bidirectionnel: Concerne un paramètre déduit d'une série de mesurages dans laquelle l'approche du point visé est faite dans l'une quelconque des directions le long ou autour de l'axe.

2.6 écart de position unidirectionnel moyen à une position $\bar{x}_j\uparrow$ ou $\bar{x}_j\downarrow$: Moyenne arithmétique des écarts de position en une position P_j obtenue lors d'une série de n approches unidirectionnelles du point visé.

$$\bar{x}_j\uparrow = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}\uparrow$$

et

$$\bar{x}_j\downarrow = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}\downarrow$$

2.7 erreur de réversibilité en une position, B_j : Valeur de la différence entre les écarts de position moyens en une position atteinte par les deux sens d'approche.

$$B_j = \bar{x}_{j\uparrow} - \bar{x}_{j\downarrow}$$

2.8 étendue de l'écart de position, W_j : Différence entre les écarts de position le plus grand et le plus faible en valeur algébrique dans une série d'approches unidirectionnelles d'un point visé P_j .

$$W_{j\uparrow} = x_{ij\uparrow} \text{ max.} - x_{ij\uparrow} \text{ min.}$$

et

$$W_{j\downarrow} = x_{ij\downarrow} \text{ max.} - x_{ij\downarrow} \text{ min.}$$

2.9 estimateur, s , de l'écart-type: L'estimateur, s , de l'écart-type des écarts de position d'une série de n mesurages unidirectionnels en un point visé P_j peut-être obtenu soit par la méthode de calcul, soit par la méthode de l'étendue.

a) Méthode de calcul

$$s_{j\uparrow} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij\uparrow} - \bar{x}_{j\uparrow})^2}$$

et

$$s_{j\downarrow} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij\downarrow} - \bar{x}_{j\downarrow})^2}$$

b) Méthode de l'étendue

$$s_{j\uparrow} = W_{j\uparrow} / k$$

et

$$s_{j\downarrow} = W_{j\downarrow} / k$$

où k dépend du nombre n de mesurages répétés en un point visé P_j .

Les valeurs de k sont données dans le tableau 1.

Tableau 1 — Valeurs de k en fonction de n

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,97	3,078

2.10 répétabilité de positionnement unidirectionnelle, $R_{j\uparrow}$ ou $R_{j\downarrow}$, en un point visé P_j : Étendue maximale de $6s_{j\uparrow}$ ou $6s_{j\downarrow}$, c'est-à-dire l'étendue entre $\bar{x}_{j\uparrow} + 3s_{j\uparrow}$ et $\bar{x}_{j\uparrow} - 3s_{j\uparrow}$ ou $\bar{x}_{j\downarrow} + 3s_{j\downarrow}$ et $\bar{x}_{j\downarrow} - 3s_{j\downarrow}$.

NOTE — Ceci conduit à retenir le résultat le plus favorable plutôt qu'un résultat moyen.

2.11 répétabilité de positionnement bidirectionnelle R_j en un point visé P_j : Étendue égale à la valeur maximale de

$$3s_{j\uparrow} + 3s_{j\downarrow} + |B_j|$$

$$6s_{j\uparrow}$$

ou

$$6s_{j\downarrow}$$

2.12 répétabilité de positionnement unidirectionnelle $R\uparrow$ ou $R\downarrow$ et répétabilité de positionnement bidirectionnelle R d'un axe: Valeur maximale de la répétabilité de positionnement en toute position le long ou autour de l'axe, déterminée en utilisant la procédure et dans les conditions spécifiées dans la présente partie de l'ISO 230.

2.13 précision A d'un axe: Différence maximale entre les valeurs extrêmes de $\bar{x} + 3s$ et $\bar{x} - 3s$ quelque soit la position et le sens de déplacement. Cette définition s'applique à la précision unidirectionnelle ou bidirectionnelle.

3 Conditions d'essai

3.1 Environnement d'essai

Lorsque la température dans l'environnement d'essai peut être réglée elle doit l'être à $20 \pm 0,5$ °C. La machine et, si nécessaire, les instruments de mesure doivent se trouver dans l'environnement d'essai suffisamment longtemps (de préférence toute une nuit) pour avoir atteint un état stable thermiquement avant les essais. Ils doivent être protégés des courants d'air et des rayonnements extérieurs tels que ceux du soleil, des réchauffeurs aériens, etc.

Si l'instrument de mesure possède un système de compensation des facteurs ambiants tels que la pression et la température de l'air ou la température de la machine, celui-ci doit être mis en marche pour aboutir à des résultats corrigés à 20 °C.

Pendant une période couvrant les 12 h avant les mesurages et pendant la durée de ceux-ci, le gradient de température en degrés par heure doit rester dans les limites fixées par accord entre le client et le fournisseur.

3.2 Machine à contrôler

La machine doit être complètement assemblée (à l'exception peut-être de ses protecteurs de sécurité) et être en ordre de marche. Toutes les opérations nécessaires de nivellement, les essais d'alignement géométrique et les contrôles fonctionnels doivent avoir été effectués de manière satisfaisante avant la mise en route des essais de précision et de répétabilité.

NOTE — Les dispositifs de compensation des axes peuvent être utilisés lors de l'essai.

Tous les essais doivent être effectués machine non chargée, c'est-à-dire sans pièce d'essais.

Les positions des chariots ou des éléments mobiles sur les axes non concernés par l'essai doivent être précisées dans le rapport d'essai.

3.3 Mise en température

Pour contrôler la machine dans des conditions normales de fonctionnement, les contrôles doivent être précédés par une opération de mise en température appropriée précisée par le constructeur de la machine ou définie par accord entre le constructeur et l'utilisateur.

Si aucune précision n'est spécifiée, les déplacements préalables doivent être limités à ceux nécessaires au réglage des instruments de mesure.

4 Programme d'essai

4.1 Mode de fonctionnement

La machine doit être programmée pour déplacer l'élément mobile le long ou autour de l'axe à vérifier et de le positionner en une série de points visés où il doit rester au repos suffisamment longtemps pour permettre la mesure de la position atteinte et son enregistrement (ou son stockage dans la mémoire d'un ordinateur).

La machine doit être programmée pour assurer les déplacements entre les points visés en vitesse rapide ou à une vitesse d'avance définie par accord.

4.2 Choix des points à viser

Lorsque la position des points visés peut être choisie librement, elle doit prendre la forme générale

$$P = (N + r)p$$

où

N est un nombre entier,

r est une fraction décimale, aléatoire,

p est le pas cyclique maximal de l'axe à contrôler,

et où r prend des valeurs différentes en chaque point visé et N est choisi pour obtenir un espacement uniforme des points visés le long ou autour de l'axe; ceci devrait garantir un échantillonnage correct de toute erreur de position.

4.3 Mesurages

4.3.1 Position de la référence de mesure

La position du dispositif de mesure doit être précisée dans le rapport d'essai ou être spécifiée dans les normes appropriées.

La position du capteur de température sur les éléments de la machine et le type de compensation doivent être précisés dans le rapport d'essai.

4.3.2 Contrôle complet

Les points visés doivent être espacés uniformément le long de l'axe avec un minimum de cinq points visés par mètre et au moins cinq points visés sur des axes de machine d'une longueur inférieure ou égale à 2 m.

Les mesurages doivent être effectués en chaque point visé conformément à l'un des cycles de contrôle représentés à la figure 1 (cycle linéaire) ou à la figure 2 (cycle en pas de pélerin). Chaque point visé doit être atteint cinq fois dans chaque sens. Le cycle de contrôle choisi (figure 1 ou figure 2) doit être précisé sur le rapport d'essai.

NOTE — Les points de renversement de cycle devraient être choisis de manière à permettre un comportement normal de la machine (d'atteindre la vitesse maximale).

4.3.3 Contrôle particulier

Pour les axes d'une longueur supérieure à 2 m, la longueur totale de l'axe doit être contrôlée en effectuant au moins une

approche des points visés unidirectionnelle dans chaque sens, à raison d'un point par élément du dispositif de mesure, ou à des intervalles de 250 mm lorsque le dispositif de mesure est continu (par exemple capteurs linéaires ou vis à billes et capteur rotatif).

Le contrôle complet précisé en 4.3.2 doit être réalisé sur une longueur de 2 m dans la zone de travail normal selon accord entre le fournisseur et le client.

4.3.4 Axes rotatifs

Les contrôles doivent être effectués aux positions principales 0°, 90°, 180°, 270° et, si un dispositif de mesure à échelle continue de précision adaptée est disponible, les contrôles doivent être effectués en trois points choisis conformément à 4.2.

Le nombre de points visés lorsqu'un polygone optique est utilisé, est fixé par le nombre de faces du polygone.

La nature du dispositif de mesure utilisé doit être précisé dans le rapport de contrôle.

5 Évaluation des résultats

Pour chaque point visé P_j et pour cinq approches dans chaque sens, calculer

a) l'écart de position

$$x_{ij} = P_{ij} - P_j$$

b) l'écart de position moyen

$$\bar{x}_j^{\uparrow} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 x_{ij}^{\uparrow}$$

et

$$\bar{x}_j^{\downarrow} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 x_{ij}^{\downarrow}$$

c) l'erreur de réversibilité

$$B_j = \bar{x}_j^{\uparrow} - \bar{x}_j^{\downarrow}$$

d) l'estimateur de l'écart-type

$$s_j^{\uparrow} = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{i=1}^5 (x_{ij}^{\uparrow} - \bar{x}_j^{\uparrow})^2}$$

et

$$s_j^{\downarrow} = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{i=1}^5 (x_{ij}^{\downarrow} - \bar{x}_j^{\downarrow})^2}$$

ou

$$s_j^{\uparrow} = |x_{ij}^{\uparrow} \text{ max.} - x_{ij}^{\uparrow} \text{ min.}| \times \frac{1}{2,326}$$

et

$$s_j^{\downarrow} = |x_{ij}^{\downarrow} \text{ max.} - x_{ij}^{\downarrow} \text{ min.}| \times \frac{1}{2,326}$$

e) les limites

$$\bar{x}_j^{\uparrow} + 3s_j^{\uparrow} \quad \text{et} \quad \bar{x}_j^{\uparrow} - 3s_j^{\uparrow}$$

et

$$\bar{x}_j^{\downarrow} + 3s_j^{\downarrow} \quad \text{et} \quad \bar{x}_j^{\downarrow} - 3s_j^{\downarrow}$$

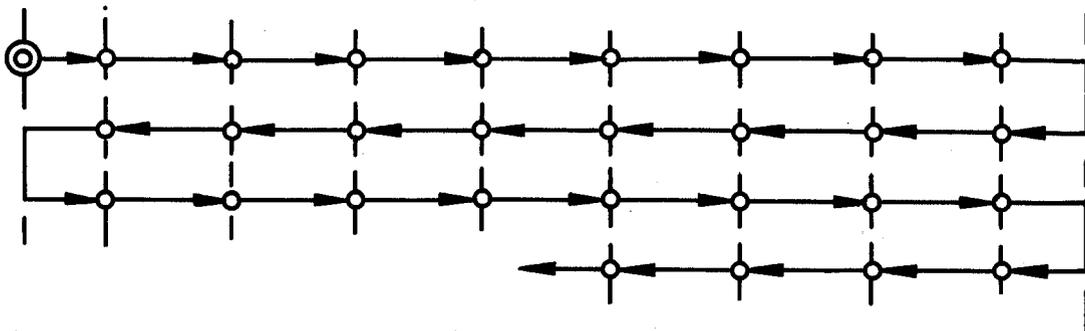
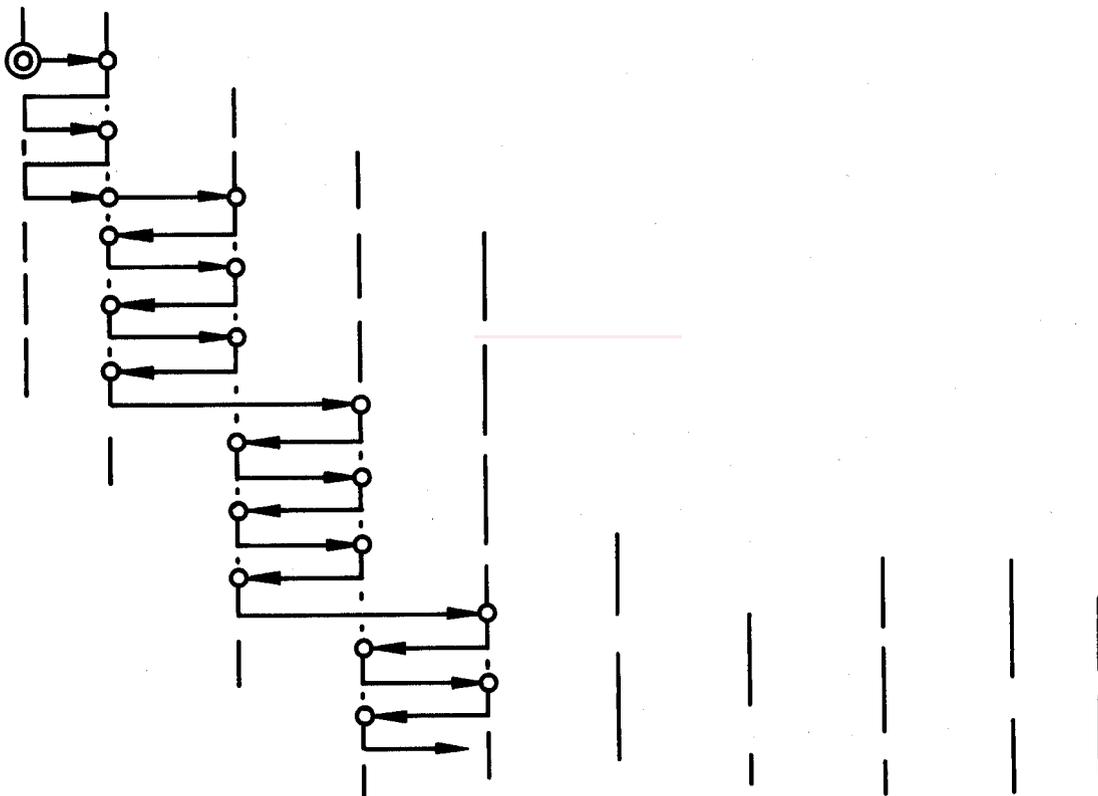


Figure 1 — Cycle linéaire



NOTE — Par simplification, seulement trois des cinq points visés (voir 4.3.2) ont été représentés.

Figure 2 — Cycle en pas de pèlerin

6 Expression des résultats

6.1 Indiquer la répétabilité de positionnement de l'axe (2.12), bidirectionnelle, et, si elle est unidirectionnelle, préciser le sens de mesurage.

6.2 Indiquer la précision de l'axe (2.13).

6.3 Indiquer l'erreur moyenne de réversibilité (2.7).

$$\bar{B} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n B_j$$

7 Présentation des résultats

La méthode conseillée de présentation des résultats est graphique avec indication numérique des principaux paramètres- précision, répétabilité unidirectionnelle et bidirectionnelle et erreur moyenne de réversibilité.

Un exemple de représentation est donné à la figure 3 à partir des résultats donnés dans le tableau 2.

NOTE — En complément, les résultats peuvent être complétés des valeurs moyennes de répétabilité le long et autour de l'axe.

$$\bar{r} \uparrow = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n R_j \uparrow$$

$$\bar{r} \downarrow = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n R_j \downarrow$$

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n R_j$$

8 Points soumis à accord entre le fournisseur et le client

Les points soumis à accord entre fournisseur et client sont les suivants:

- a) le gradient maximal de température, en degrés par heure, pendant une période de 12 h précédant et pendant les mesurages (voir 3.1);
- b) la position de la référence de mesurage (voir 4.3.1);
- c) le procédé de mise en température précédant le contrôle de la machine (voir 3.3);
- d) la vitesse d'avance entre points visés lorsque la vitesse d'avance rapide n'est pas utilisée (voir 4.1);
- e) le cycle de mesurage conformément à la figure 1 ou à la figure 2 (voir 4.3.2);
- f) l'emplacement de la longueur de 2 m considérée comme zone de travail normal (voir 4.3.3).

Tableau 2 — Exemple de résultats de contrôle

j	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Point visé mm	150,71		300,85		450,33		601,11		750,31		901,55		1 050,02		1 201,9		1 351,56		1 500,41			
Sens d'approche																						
i = 1	2,3	5,4	0,2	5,4	5	-1,5	0,6	2,4	-8,4	-9	-4,9	-5,8	-5,6	-5,6	-8,2	-6,1	-7,4	-5,6	-7,4	-5,6	-7,8	-3
2	1,1	0,7	4,6	5,4	-5,6	-1	1,6	2,1	-7,4	-9,4	-3,7	-5,6	-3,6	-4,8	-5,9	-5	-5,5	-4,6	-5,5	-4,6	-5,8	-1,8
3	3,2	0,4	5,7	4,6	-4,8	-0,8	0,5	3,6	-7,8	-8,1	-4,7	-4,7	-5	-4,4	-6,3	-4,8	-5,4	-2,9	-5,4	-2,9	-5,6	-0,2
4	1,8	2,5	1,8	5,4	-2,7	-2,6	2,3	2,2	-6,1	-8,3	-3,4	-4,1	-2,3	-4,4	-4,5	-3,1	-3,7	-2,8	-3,7	-2,8	-4,7	0
5	-0,9	1,5	5,9	5,9	-2,8	-0,8	2,3	2,9	-6,9	-7,8	-2,3	-3,2	-2,3	-2	-3,4	-2	-2,2	-1,4	-2,2	-1,4	-2,7	-2,7
Écart de position moyen \bar{x}_j	-1,92	2,12	0,92	5,4	-4,18	-1,34	1,46	2,64	-7,32	-8,52	-3,8	-4,6	-4,72	-3,74	-4,24	-4,2	-4,84	-3,46	-4,84	-3,46	-5,32	-1,54
Estimation de l'écart-type s_j	0,746	0,832	0,686	0,495	1,339	0,76	0,879	0,619	0,876	0,661	1,054	1,226	1,028	1,488	1,345	1,632	1,973	1,649	1,973	1,649	1,851	1,368
$3s_j$	2,24	2,49	2,09	1,49	4,01	2,28	2,64	1,86	2,63	1,98	3,16	3,68	3,08	4,46	4,03	4,9	5,92	4,95	5,92	4,95	5,55	4,16
$\bar{x}_j + 3s_j$	0,32	4,61	3,01	6,89	-0,16	0,94	4,1	4,5	-4,69	-6,54	-0,64	-0,71	-1,18	-1,64	-0,2	0,7	1,08	1,49	1,08	1,49	0,23	2,62
$\bar{x}_j - 3s_j$	-4,16	-0,36	-1,17	3,92	-8,18	-3,62	-1,18	0,78	-9,95	-10,5	-6,96	-8,49	-7,8	-8,2	-8,27	-9,1	-10,76	-8,41	-10,76	-8,41	-10,87	-5,69
Erreur de réversibilité $B_j = \bar{x}_j^+ - \bar{x}_j^-$	-4,04		-4,48		-2,84		-1,18		1,2		0,8	-0,14		0,5		-1,46		-1,36		-1,36		-3,78
Valeur maximale de $6s_j^+$ ou $6s_j^-$ ou $3s_j^+ + 3s_j^- + B_j $	8,77		8,06		9,13		5,68		5,81		7,85	7,36		8,99		11,84		12,25		12,25		13,49

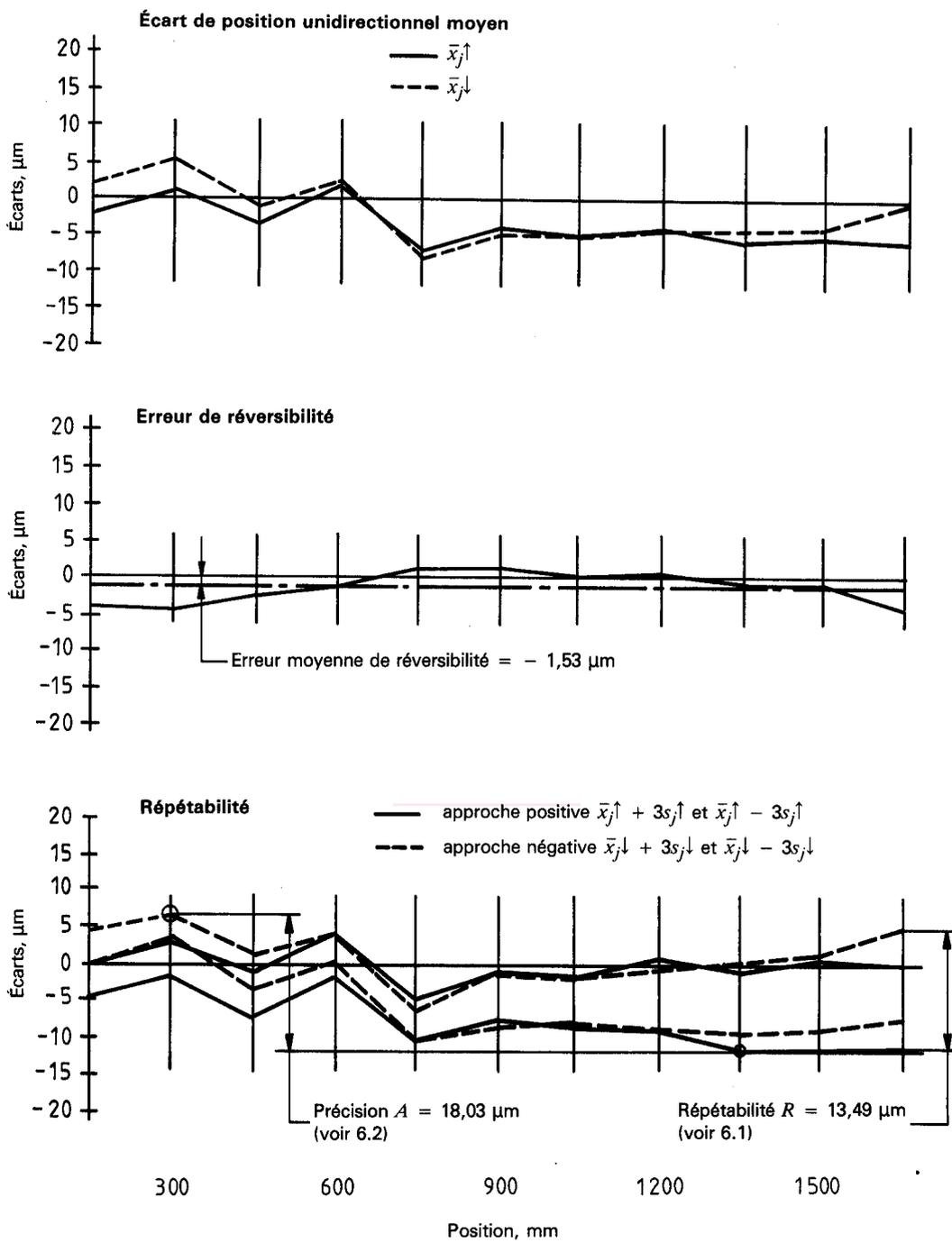
Erreur moyenne de réversibilité
 $\bar{B} = -1,53 \mu\text{m}$

Répétabilité de positionnement
 unidirectionnelle $R \uparrow = 11,84 \mu\text{m}$ (pour $j = 10$)
 $R \downarrow = 9,9 \mu\text{m}$ (pour $j = 10$)
 bidirectionnelle $R = 13,49 \mu\text{m}$ (pour $j = 11$)

Précision
 $A = (\bar{x}_j^+ + 3s_j^+) \text{ max.} - (\bar{x}_j^- - 3s_j^-) \text{ min.}$
 $= 6,89 - (-11,14) = 18,03 \mu\text{m}$

Axe: X

Machine n°: 001



Erreur moyenne de réversibilité: $-1,53 \mu\text{m}$

Répétabilité: $R\uparrow = 11,84 \mu\text{m}$ (pour $j = 10$); $R\downarrow = 9,9 \mu\text{m}$ (pour $j = 10$); $R = 13,49 \mu\text{m}$ (pour $j = 11$)

Précision: $18,03 \mu\text{m}$

Figure 3 — Représentation graphique des résultats

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 230-2:1988

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/24654e2f-0430-4acd-8eb5-eccca6aaf851/iso-230-2-1988>