

---

---

**Code d'essai des machines-outils —**

**Partie 2:**

Détermination de la précision et de  
la répétabilité de positionnement des axes  
en commande numérique

iTeh STANDARD PREVIEW

*Test code for machine tools —*

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

ISO 230-2:1997

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/924c0e5d-40c4-401c-975a-1d914c067518/iso-230-2-1997>



## Sommaire

Page

1	Domaine d'application .....	1
2	Définitions et symboles .....	1
3	Conditions d'essai .....	4
4	Programme d'essai .....	6
5	Évaluation des résultats .....	8
6	Points soumis à accord entre le constructeur et l'utilisateur .....	8
7	Présentation des résultats .....	8

## Annexes

A (informative)	Cycle en pas .....	14
B (informative)	Bibliographie .....	15

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO 230-2:1997](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/924c0e5d-40c4-401c-975a-1d914c067518/iso-230-2-1997)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/924c0e5d-40c4-401c-975a-1d914c067518/iso-230-2-1997>

© ISO 1997

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation

Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Internet central@iso.ch

X.400 c=ch; a=400net; p=iso; o=isocs; s=central

Imprimé en Suisse

## 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 vote. Leur publication comme Normes internationales requiert 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*, sous-comité SC 2, *Conditions de réception des machines travaillant par enlèvement de métal*.

ISO 230-2:1997

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 230-2:1988), dont elle constitue une révision technique.

L'ISO 230 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Code d'essai des machines-outils*:

- *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 axes en commande numérique*
- *Partie 3: Détermination des effets thermiques*
- *Partie 4: Essais de circularité des machines-outils à commande numérique*
- *Partie 5: Émission de bruit*

Les annexes A et B de la présente partie de l'ISO 230 sont données uniquement à titre d'information.

## Introduction

Puisque la présente partie de l'ISO 230 utilise le traitement statistique des valeurs relevées pour définir différents paramètres liés au comportement de la machine-outil, le sous-comité SC 2 a décidé de suivre les recommandations émises par le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* [1].

La première modification est liée à l'hypothèse du type de répartition des écarts de positionnement. Les définitions modifiées du présent document n'utilisent aucune hypothèse concernant la forme de la répartition se référant aux «incertitudes types» plutôt qu'aux «écarts-types». La nouvelle définition d'incertitude étendue comprenant un facteur conventionnel de 2 plutôt que 3 est également utilisée, conformément aux recommandations du Guide.

D'autre part, pour souligner le comportement systématique des machines-outils, le sous-comité SC 2 a ajouté de nouvelles définitions au présent document, notamment  $E$  (qui correspond au terme «précision» dans l'ANSI B5.54) et  $M$  (qui correspond au terme «Écart de position,  $P_a$ » dans le VDI 3441).

[ISO 230-2:1997](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/924c0e5d-40c4-401c-975a-)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/924c0e5d-40c4-401c-975a->

Le sous-comité SC 2 espère que, grâce à ces ajouts, la présente partie de l'ISO 230 sera plus uniformément acceptée par l'ensemble des pays membres.

## Code d'essai des machines-outils —

### Partie 2:

## Détermination de la précision et de la répétabilité de positionnement des axes en commande numérique

### 1 Domaine d'application

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

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

La présente partie de l'ISO 230 peut être utilisée pour les essais de type, les essais de réception, les essais de comparaison, la vérification périodique, la compensation machine, etc.

Les procédés utilisés comportent des mesurages successifs en chaque position. Les paramètres concernés sont définis et calculés conformément au *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*<sup>[1]</sup> (voir annexe B).

L'annexe A décrit l'application du cycle d'essai optionnel ou cycle en pas. Il convient que les résultats de ce cycle ne soient ni utilisés dans la documentation technique avec référence à la présente partie de l'ISO 230, ni dans le cadre des réceptions, sauf accord écrit spécifique entre le constructeur et l'utilisateur. La référence à la présente partie de l'ISO 230 pour l'acceptation de la machine fait toujours référence au cycle d'essais de la norme.

### 2 Définitions et symboles

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 230, les définitions et symboles suivants s'appliquent:

**2.1 longueur d'axe:** Course maximale, linéaire ou rotative, sur laquelle l'élément mobile peut se déplacer sous commande numérique.

**2.2 longueur de mesurage:** Partie de la longueur d'axe utilisée pour la saisie des données, et qui est sélectionnée de sorte que le premier et le dernier point visé puissent être approché de manière bidirectionnelle (voir figure 1).

**2.3 point visé,  $P_j$  ( $j = 1$  à  $m$ ):** Position à laquelle le déplacement de la partie mobile est programmé. L'indice  $i$  différencie le point particulier parmi les autres points visés le long ou autour de l'axe.

**2.4 position réelle,  $P_{ij}$**  ( $i = 1$  à  $m$ ;  $j = 1$  à  $n$ ): Position atteinte par la partie mobile lors de la  $j^{\text{ème}}$  approche du  $i^{\text{ème}}$  point visé.

**2.5 écart de position,  $x_{ij}$** : Position réelle atteinte par la partie mobile moins la position du point visé.

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

**2.6 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  $x_{ij} \downarrow$ .

**2.7 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.

**2.8 incertitude étendue**: Grandeur définissant un intervalle autour du résultat d'un mesurage qui est supposé englober une grande partie de la distribution des valeurs.

**2.9 facteur conventionnel**: Facteur numérique utilisé comme multiplicateur de l'incertitude type combinée en vue d'obtenir une incertitude étendue.

**2.10 écart de position unidirectionnel moyen en une position,  $\bar{x}_i \uparrow$  ou  $\bar{x}_i \downarrow$** : Moyenne arithmétique des écarts de position obtenue pour une série de  $n$  approches unidirectionnelles d'une position  $P_i$ .

$$\bar{x}_i \uparrow = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \uparrow$$

et

$$\bar{x}_i \downarrow = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \downarrow$$

**2.11 écart de position bidirectionnel moyen en une position,  $\bar{x}_i$** : Moyenne arithmétique des écarts de position unidirectionnels moyens,  $\bar{x}_i \uparrow$  et  $\bar{x}_i \downarrow$ , obtenue à partir des deux sens d'approche d'une position  $P_i$ .

$$\bar{x}_i = \frac{\bar{x}_i \uparrow + \bar{x}_i \downarrow}{2}$$

**2.12 valeur de réversibilité en une position,  $B_i$** : Valeur de la différence entre les écarts de position unidirectionnels moyens obtenue à partir des deux sens d'approche d'une position  $P_i$ .

$$B_i = \bar{x}_i \uparrow - \bar{x}_i \downarrow$$

**2.13 valeur de réversibilité d'un axe,  $B$ :** Valeur maximale des valeurs de réversibilité absolue  $|B_i|$  de tous les points visés le long ou autour de l'axe.

$$B = \max. [|B_i|]$$

**2.14 valeur moyenne de réversibilité d'un axe,  $\bar{B}$ :** Moyenne arithmétique des valeurs de réversibilité  $B_i$  de tous les points visés le long ou autour de l'axe.

$$\bar{B} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m B_i$$

**2.15 estimateur de l'incertitude type unidirectionnelle du positionnement en une position,  $s_i \uparrow$  ou  $s_i \downarrow$ :** Estimateur de l'incertitude type des écarts de position obtenus par une série d'approches  $n$  unidirectionnelles en une position  $P_i$ .

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

et

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

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 230-2:1997

**2.16 répétabilité unidirectionnelle de positionnement en une position,  $R_i \uparrow$  ou  $R_i \downarrow$ :** Étendue dérivée de l'incertitude étendue des écarts de position unidirectionnels en une position  $P_i$ , à l'aide d'un facteur conventionnel de 2.

$$R_i \uparrow = 4s_i \uparrow$$

et

$$R_i \downarrow = 4s_i \downarrow$$

**2.17 répétabilité de positionnement bidirectionnelle en une position,  $R_i$**

$$R_i = \max. [2s_i \uparrow + 2s_i \downarrow + |B_i|; R_i \uparrow; R_i \downarrow]$$

**2.18 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  $P_i$  le long ou autour de l'axe.

$$R \uparrow = \max. [R_i \uparrow]$$

$$R \downarrow = \max. [R_i \downarrow]$$

$$R = \max. [R_i]$$

**2.19 écart de position systématique unidirectionnel d'un axe**  $E\uparrow$  ou  $E\downarrow$ : Différence entre le maximum et le minimum algébriques des écarts de position unidirectionnels moyens pour un sens d'approche  $\bar{x}_i\uparrow$  et  $\bar{x}_i\downarrow$  en toute position  $P_i$  le long et autour de l'axe.

$$E\uparrow = \max. [\bar{x}_i\uparrow] - \min. [\bar{x}_i\uparrow]$$

et

$$E\downarrow = \max. [\bar{x}_i\downarrow] - \min. [\bar{x}_i\downarrow]$$

**2.20 écart de position systématique bidirectionnel d'un axe**  $E$ : Différence entre le maximum et le minimum algébriques des écarts de position unidirectionnels moyens pour les deux sens d'approche  $\bar{x}_i\uparrow$  et  $\bar{x}_i\downarrow$  en toute position  $P_i$  le long et autour de l'axe.

$$E = \max. [\bar{x}_i\uparrow; \bar{x}_i\downarrow] - \min. [\bar{x}_i\uparrow; \bar{x}_i\downarrow]$$

**2.21 étendue de l'écart de position bidirectionnel moyen d'un axe,  $M$** : Différence entre le maximum et le minimum algébriques des écarts de position bidirectionnels moyens  $\bar{x}_i$  en toute position  $P_i$  le long et autour de l'axe.

$$M = \max. [\bar{x}_i] - \min. [\bar{x}_i]$$

**ITeH STANDARD PREVIEW**  
(standards.iteh.ai)

**2.22 précision unidirectionnelle de positionnement d'un axe,  $A\uparrow$  ou  $A\downarrow$** : Étendue dérivée de la combinaison des écarts systématiques unidirectionnels et de l'estimateur de l'incertitude type de positionnement unidirectionnel, à l'aide d'un facteur conventionnel de 2.

$$A\uparrow = \max. [\bar{x}_i\uparrow + 2s_i\uparrow] - \min. [\bar{x}_i\uparrow + 2s_i\uparrow]$$

et

$$A\downarrow = \max. [\bar{x}_i\downarrow + 2s_i\downarrow] - \min. [\bar{x}_i\downarrow + 2s_i\downarrow]$$

**2.23 précision bidirectionnelle de positionnement d'un axe,  $A$** : Étendue dérivée de la combinaison des écarts systématiques bidirectionnels et de l'estimateur de l'incertitude type de positionnement bidirectionnel, à l'aide d'un facteur conventionnel de 2.

$$A = \max. [\bar{x}_i\uparrow + 2s_i\uparrow; \bar{x}_i\downarrow + 2s_i\downarrow] - \min. [\bar{x}_i\uparrow - 2s_i\uparrow; \bar{x}_i\downarrow - 2s_i\downarrow]$$

### 3 Conditions d'essai

#### 3.1 Environnement d'essai

Il est recommandé que le fournisseur/constructeur propose des lignes directrices concernant le type d'environnement thermique qu'il convient d'accepter pour que la machine fonctionne avec la précision spécifiée. De telles lignes directrices générales pourraient contenir, par exemple, une spécification



relative à la température moyenne du local d'essai, l'amplitude maximale et la gamme de fréquence des écarts par rapport à la température moyenne et les gradients thermique de l'environnement. Il est de la responsabilité de l'utilisateur de fournir un environnement thermique acceptable pour le fonctionnement et les essais de performance de la machine-outil sur le site. Cependant, si l'utilisateur suit les lignes directrices fournies par le fournisseur/constructeur de la machine, la responsabilité incombe au fournisseur/constructeur de la machine pour ce qui concerne les performances de la machine par rapport aux spécifications.

Idéalement, tous les mesurages dimensionnels sont réalisés lorsque les instruments de mesure et les objets mesurés sont immergés dans un environnement à une température de 20 °C. Si les mesurages sont effectués à des températures différentes de 20 °C, il faut appliquer la correction pour la dilatation différentielle nominale (DDN) entre le système de positionnement de l'axe et le système de mesure pour présenter les résultats corrigés à 20 °C. Cette condition requiert le mesurage de la température représentative du système de positionnement de la machine ainsi que du système de mesure.

Cependant, il convient de noter que toute différence par rapport à la température de 20 °C peut provoquer une incertitude supplémentaire liée à l'incertitude du/des coefficient(s) de dilatation effectif(s) utilisé(s) pour la compensation. Une valeur type pour l'incertitude des résultats est définie à  $\pm 2 \mu\text{m}/(\text{m}^\circ\text{C})$  (voir annexe B). Les températures réelles doivent donc être enregistrées dans le rapport d'essai. Il convient que le constructeur de machines-outils fournisse le(s) coefficient(s) de dilatation effectif(s) des systèmes de positionnement des axes.

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 ou des réchauffeurs aériens, etc.

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

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/924c0e5d-40c4-401c-975a-1d914c067518/iso-230-2-1997>

### 3.2 Machine à contrôler

La machine doit être complètement assemblée et en ordre de marche. Toutes les opérations nécessaires de nivellement et les essais d'alignement géométrique doivent avoir été effectués de manière satisfaisante avant la mise en route des essais de précision et de répétabilité.

Si les dispositifs de compensation des axes sont utilisés au cours du cycle d'essai, il convient de le préciser dans le rapport d'essai.

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

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 fournisseur/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.

Des conditions thermiques instables sont caractérisées par une progression régulière des écarts entre les approches successives de tout point visé particulier. Il convient de minimiser ces tendances lors de la mise en température.

## 4 Programme d'essai

### 4.1 Mode de fonctionnement

La machine doit être programmée pour déplacer la partie mobile le long ou autour de l'axe à vérifier et 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.

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

### 4.2 Choix des points visés

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

$$P_i = (i - 1)\rho + r$$

où

$i$  représente le numéro du point visé;

$\rho$  est l'intervalle basé sur un espacement uniforme des points visés sur l'étendue de mesurage;

$r$  prend des valeurs différentes en chaque point visé, produisant un espacement non uniforme des points visés sur le déplacement mesuré pour garantir que les erreurs périodiques (telles que les erreurs qui résultent du pas de la vis à billes et du pas du mouvement linéaire et rotatif) font l'objet d'un échantillonnage correct.

### 4.3 Mesurages

#### 4.3.1 Configuration et instrumentation

La configuration du mesurage est conçue pour permettre de mesurer les déplacements qui se produisent entre l'élément qui tient l'outil et l'élément qui tient la pièce dans le sens de déplacement de l'axe faisant l'objet de l'essai.

La position de l'instrument de mesure doit être spécifiée dans le rapport d'essai.

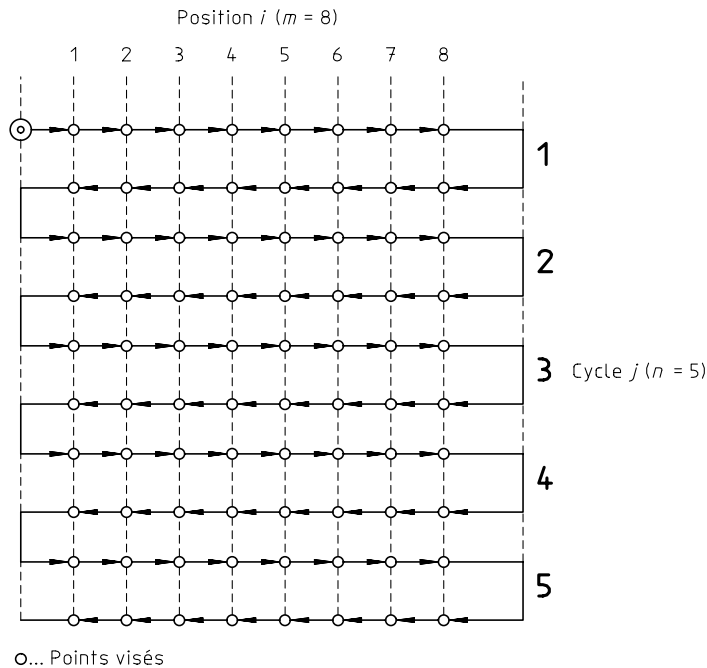
La position du (des) capteur(s) de température sur les éléments de la machine et le type de compensation doivent être précisés dans le rapport d'essai.

#### 4.3.2 Essais sur axes linéaires d'une longueur inférieure ou égale à 2 000 mm

Sur des axes de machines d'une longueur inférieure ou égale à 2 000 mm, un minimum de cinq points visés par mètre avec un minimum de cinq points visés doivent être sélectionnés conformément à 4.2.

Les mesurages doivent être effectués en chaque point visé conformément au cycle d'essai normal (voir figure 1). Chaque point visé doit être atteint cinq fois dans chaque sens.

NOTE — Il convient de choisir les points de renversement de cycle pour permettre un comportement normal de la machine (pour obtenir la vitesse d'avance définie par accord).



**Figure 1 — Cycle d'essai normal**

#### 4.3.3 Essais sur axes linéaires d'une longueur supérieure à 2 000 mm

Pour les axes d'une longueur supérieure à 2 000 mm, la longueur totale de mesure de l'axe doit être contrôlée en effectuant une approche unidirectionnelle dans chaque sens des points visés sélectionnés conformément à 4.2, à un intervalle moyen  $p$  de 250 mm. Lorsque le transducteur de mesure est constitué de plusieurs éléments, il est possible que des points visés supplémentaires soient sélectionnés pour garantir que chaque élément dispose au moins d'un point visé.

L'essai spécifié en 4.3.2 doit être réalisé sur une longueur de 2 000 mm dans la zone de travail normal, selon l'accord entre le constructeur et l'utilisateur.

#### 4.3.4 Essais sur axes rotatifs jusqu'à 360°

Les essais doivent être réalisés aux points visés précisés dans le tableau 1. Il convient d'ajouter, le cas échéant, les positions principales (0°, 90°, 180° et 270°) aux autres points visés conformément à 4.2.

**Tableau 1 — Points visés des axes rotatifs**

Longueur de mesure	Nombre minimal de point visés
$\leq 90^\circ$	3
$> 90^\circ$ et $\leq 180^\circ$	5
$> 180^\circ$	8

#### 4.3.5 Essais sur axes rotatifs supérieurs à 360°

Pour les axes supérieurs à 360°, la mesure totale de la course de l'axe doit être contrôlée jusqu'à 1 800° (cinq rotations) par une approche unidirectionnelle dans chaque sens et à des intervalles ne dépassant pas 45°.