
**Code d'essai des machines-outils —
Partie 2:
Détermination de l'exactitude et de
la répétabilité de positionnement des
axes à commande numérique**

iTeh STANDARD PREVIEW

*Test code for machine tools —
Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning of
numerically controlled axes*

ISO 230-2:2014

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/922e2fc0-e49d-4dd5-8739-a0f337737a52/iso-230-2-2014>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 230-2:2014

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/922e2fc0-e49d-4dd5-8739-a0f337737a52/iso-230-2-2014>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2014

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
Introduction.....	vi
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Conditions d'essai	6
4.1 Environnement	6
4.2 Machine à contrôler.....	7
4.3 Mise en température.....	7
5 Programme d'essai	7
5.1 Mode de fonctionnement.....	7
5.2 Choix des points visés.....	8
5.3 Mesurages.....	8
6 Evaluation des résultats	10
6.1 Axes linéaires d'une course inférieure ou égale à 2 000 mm et axes rotatifs jusqu'à 360°.....	10
6.2 Axes linéaires d'une course supérieure à 2 000 mm et axes rotatifs supérieurs à 360°.....	10
7 Points soumis à accord entre le fabricant/fournisseur et l'utilisateur	10
8 Présentation des résultats	11
8.1 Méthode de présentation.....	11
8.2 Paramètres.....	12
Annexe A (informative) Estimation de l'incertitude de mesure pour le mesurage de positionnement linéaire — Méthode simplifiée	20
Annexe B (informative) Cycle en pas	37
Annexe C (informative) Erreur périodique de positionnement	39
Annexe D (informative) Mesurages de l'erreur de positionnement linéaire à l'aide d'un ensemble de billes calibre ou d'une jauge étalon	42
Bibliographie	45

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 (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant:

Avant-propos — Informations supplémentaires.

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 39, *Machine outils*, sous-comité SC 2, *Conditions de réception des machines travaillant par enlèvement de métal*.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition (ISO 230-2:2006), qui a fait l'objet d'une révision technique. En particulier, les points suivants ont été ajoutés:

- a) pour les longueurs d'axes de plus de 4 000 mm, plus d'un élément de 2 000 mm peut être défini pour les essais (voir [5.3.3](#));
- b) la nomenclature des paramètres de positionnement d'essai, par exemple $E_{XX,A1}$ (voir [8.2.4](#));
- c) l'évaluation de l'erreur périodique de positionnement (voir l'[Annexe C](#));
- d) les essais de positionnement à l'aide d'un ensemble de billes calibre ou d'une jauge étalon (voir l'[Annexe D](#)).

L'ISO 230 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Code d'essai des machines-outils — Détermination de l'exactitude et de la répétabilité de positionnement des axes en commande numérique*:

- *Partie 1: Exactitude géométrique des machines fonctionnant à vide ou dans des conditions quasi-statiques*
- *Partie 2: Détermination de l'exactitude et de la répétabilité de positionnement des axes à commande numérique*
- *Partie 3: Evaluation des effets thermiques*
- *Partie 4: Essais de circularité des machines-outils à commande numérique*

- *Partie 5: Détermination de l'émission sonore*
- *Partie 6: Détermination de la précision de positionnement sur les diagonales principales et de face (essais de déplacement en diagonale)*
- *Partie 7: Exactitude géométrique des axes de rotation*
- *Partie 8: Vibrations [Rapport technique]*
- *Partie 9: Estimation de l'incertitude de mesure pour les essais des machines-outils selon la série ISO 230, équations de base [Rapport technique]*
- *Partie 10: Détermination des performances de mesure des systèmes de palpation des machines-outils à commande numérique*
- *Partie 11: Instruments de mesure compatibles avec les essais de géométrie des machines-outils [Rapport technique]*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 230-2:2014](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/922e2fc0-e49d-4dd5-8739-a0f337737a52/iso-230-2-2014)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/922e2fc0-e49d-4dd5-8739-a0f337737a52/iso-230-2-2014>

Introduction

L'ISO 230 (toutes les parties) a pour objet de normaliser des méthodes d'essai pour vérifier l'exactitude des machines-outils, à l'exception des machines-outils portatives.

La présente partie de l'ISO 230 spécifie les modes opératoires des essais destinés à déterminer l'exactitude et la répétabilité de positionnement des axes en commande numérique. Les essais sont destinés à mesurer le mouvement relatif entre la partie de la machine qui supporte l'outil et la partie de la machine qui supporte la pièce.

Le fabricant/fournisseur a la responsabilité de fournir des spécifications thermiques relatives à l'environnement dans lequel on peut attendre que la machine fonctionne avec l'exactitude spécifiée. L'utilisateur de la machine a la responsabilité d'assurer un environnement d'essai approprié en respectant les lignes directrices sur l'environnement thermique du fabricant/fournisseur ou à défaut en acceptant des niveaux de performance réduits. Un exemple de lignes directrices sur l'environnement thermique est donné dans l'ISO 230-3:2007, Annexe C.

Une relaxation des prévisions d'exactitude est nécessaire si l'environnement thermique engendre une incertitude excessive ou une variation des performances de la machine-outil et ne satisfait pas les lignes directrices sur l'environnement thermique données par le fabricant/fournisseur. Si la machine n'est pas conforme aux spécifications de performance, l'analyse de l'incertitude due à la compensation de température de la machine-outil, donnée en [A.2.4](#) de la présente partie de l'ISO 230, et l'incertitude due à l'erreur de variation environnementale, donnée en [A.2.5](#), peuvent aider à identifier l'origine des problèmes.

L'ISO/TC 39/SC 2 a décidé d'ajouter les points suivants à cette édition de la présente partie de l'ISO 230:

- a) pour les longueurs d'axes de plus de 4 000 mm, plus d'un élément de 2 000 mm peut être défini pour les essais (voir [5.3.3](#));
- b) la nomenclature des paramètres de positionnement d'essai, par exemple $E_{XX,A}$ (voir [8.2.4](#));
- c) l'évaluation de l'erreur périodique de positionnement (voir l'[Annexe C](#));
- d) les essais de positionnement à l'aide d'un ensemble de billes calibre ou d'une jauge étalon (voir l'[Annexe D](#)).

Code d'essai des machines-outils —

Partie 2:

Détermination de l'exactitude et de la répétabilité de positionnement des axes à commande numérique

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 230 spécifie les méthodes de contrôle et d'évaluation de l'exactitude 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.

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 méthodes utilisées comportent des mesurages successifs en chaque position. Les paramètres concernés de l'essai sont définis et calculés. Leurs incertitudes sont évaluées conformément à l'ISO/TR 230-9, Annexe C.

L'[Annexe A](#) décrit l'estimation de l'incertitude de mesure.

L'[Annexe B](#) décrit l'application à un 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 fabricant/fournisseur et l'utilisateur. La référence stricte à la présente partie de l'ISO 230 pour la réception de la machine s'appuie toujours sur le cycle d'essai normal.

L'[Annexe C](#) contient des considérations relatives à l'erreur de positionnement périodique.

L'[Annexe D](#) décrit des essais avec utilisation d'ensembles à billes et d'un capteur.

2 Références normatives

Les documents suivants, en tout ou partie, sont référencés de manière normative dans le présent document et sont indispensables à son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 230-1:2012, *Code d'essai des machines-outils — Partie 1: Exactitude géométrique des machines fonctionnant à vide ou dans des conditions quasi-statiques*

ISO 230-3:2007, *Code d'essai des machines-outils — Partie 3: Évaluation des effets thermiques*

ISO/TR 230-9:2005, *Code d'essai des machines-outils — Partie 9: Estimation de l'incertitude de mesure pour les essais des machines-outils selon la série ISO 230, équations de base*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1 course d'axe

course maximale, linéaire ou rotative, sur laquelle l'élément mobile peut se déplacer sous commande numérique

Note 1 à l'article: Pour les axes rotatifs supérieurs à 360°, il est possible qu'il ne soit pas défini clairement la longueur maximale de la course.

3.2 course 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 points visés puissent être approchés de manière bidirectionnelle

Note 1 à l'article: Voir [Figure 1](#).

3.3 point fonctionnel

point central de l'outil de coupe ou point associé à un organe de la machine-outil où l'outil de coupe serait en contact avec la pièce en vue du retrait de matières

[SOURCE: ISO 230-1:2012, 3.4.2]

Note 1 à l'article: Dans cette partie de l'ISO 230, les essais concernent les erreurs dans le mouvement relatif entre la partie de la machine qui supporte l'outil et la partie de la machine qui supporte la pièce. Ces erreurs sont définies et mesurées à la position ou la trajectoire du point fonctionnel.

3.4 point visé

P_i ($i = 1$ à m)

position à laquelle le déplacement de la partie mobile est programmé

Note 1 à l'article: L'indice i caractérise le point particulier parmi les autres points visés le long ou autour de l'axe.

3.5 position réelle

P_{ij} ($i = 1$ à m ; $j = 1$ à n)

position atteinte par le point fonctionnel lors de la $j^{\text{ème}}$ approche du $i^{\text{ème}}$ point visé

3.6 écart de position

x_{ij}

position réelle atteinte par le point fonctionnel moins la point visé

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

[SOURCE: ISO 230-1:2012, 3.4.6, modifiée]

Note 1 à l'article: Les écarts de position sont déterminés comme le mouvement relatif entre la partie de la machine qui supporte l'outil et la partie de la machine qui supporte la pièce dans la direction de mouvement de l'axe soumis à essai.

Note 2 à l'article: Les écarts de position constituent une représentation limitée de l'erreur de positionnement de mouvement, échantillonnée à intervalles discrets.

3.7 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.

Note 1 à l'article: Le symbole \uparrow désigne 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 $x_{ij\downarrow}$.

3.8**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

3.9**incertitude-type**

incertitude du résultat d'un mesurage exprimée sous la forme d'un écart-type

[SOURCE: Guide ISO/IEC 98-3:2008, 2.3.1]

3.10**incertitude-type composée**

incertitude-type du résultat d'un mesurage, lorsque ce résultat est obtenu à partir des valeurs d'autres grandeurs, égale à la racine carrée d'une somme de termes, ces termes étant les variances ou covariances de ces autres grandeurs, pondérées selon la variation du résultat de mesure en fonction de celle de ces grandeurs

[SOURCE: Guide ISO/IEC 98-3:2008, 2.3.4]

3.11**incertitude élargie**

grandeur définissant un intervalle, autour du résultat d'un mesurage, dont on puisse s'attendre à ce qu'il comprenne une fraction élevée de la distribution des valeurs qui pourraient être attribuées raisonnablement au mesurande

[SOURCE: Guide ISO/IEC 98-3:2008, 2.3.5]

3.12**facteur d'élargissement**

facteur numérique utilisé comme multiplicateur de l'incertitude-type composée pour obtenir l'incertitude élargie étendue

[SOURCE: Guide ISO/IEC 98-3:2008, 2.3.6]

3.13**écart de position unidirectionnel moyen en un point**

$\bar{x}_i \uparrow$ ou $\bar{x}_i \downarrow$

moyenne arithmétique des écarts de position obtenue pour une série de n approches unidirectionnelles d'un point P_i

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

et

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

3.14**écart de position bidirectionnel moyen en un point**

\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'un point P_i

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

3.15
erreur de réversibilité en un point
valeur de réversibilité en un point

B_i
 différence entre les écarts de position unidirectionnels moyens obtenue à partir des deux sens d'approche d'un point P_i

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

3.16
erreur de réversibilité d'un axe
valeur de réversibilité d'un axe

B
 valeur maximale des erreurs absolues de réversibilité $|B_i|$ sur tous les points visés le long ou autour de l'axe

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

3.17
erreur moyenne de réversibilité d'un axe
valeur moyenne de réversibilité d'un axe

\bar{B}
 moyenne arithmétique des erreurs de réversibilité B_i sur tous les points visés le long ou autour de l'axe

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

iTeh STANDARD PREVIEW
 (standards.iteh.ai)

3.18
estimateur de la répétabilité de l'axe unidirectionnelle du positionnement en un point

$s_i \uparrow$ ou $s_i \downarrow$
 estimateur de l'incertitude type des écarts de position obtenus par une série de n approches unidirectionnelles d'un point P_i

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

et

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

3.19
répétabilité de positionnement unidirectionnelle en un point

$R_i \uparrow$ ou $R_i \downarrow$
 amplitude dérivée de l'estimateur de la répétabilité de l'axe unidirectionnelle en une position P_i à l'aide d'un facteur d'élargissement $k = 2$

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

et

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

3.20**répétabilité de positionnement bidirectionnel en un point** R_i

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

3.21**répétabilité de positionnement unidirectionnel d'un axe** $R \uparrow$ ou $R \downarrow$ valeur maximale de la répétabilité de positionnement à chaque position P_i le long ou autour de l'axe

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

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

3.22**répétabilité de positionnement bidirectionnel d'un axe** R valeur maximale de la répétabilité de positionnement à chaque position P_i , le long ou autour de l'axe

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

3.23**erreur de positionnement systématique unidirectionnelle 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 $\bar{x}_i \uparrow$ ou $\bar{x}_i \downarrow$ en tout point P_i le long et autour de l'axe

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

ISO 230-2:2014
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/922e2fc0-e49d-4dd5-8739-a0f337737a52/iso-230-2-2014>

et

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

3.24**erreur de positionnement systématique bidirectionnelle 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 tout point P_i le long et autour de l'axe

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

3.25**moyenne de l'erreur de positionnement bidirectionnelle moyen d'un axe** M différence entre le maximum et le minimum algébriques des écarts de position bidirectionnels moyens \bar{x}_i en tout point P_i le long et autour de l'axe

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

3.26
erreur unidirectionnelle de positionnement d'un axe
exactitude de position d'un axe

$A \uparrow$ ou $A \downarrow$

amplitude dérivée de la combinaison des erreurs systématiques unidirectionnelles et de l'estimateur de la répétabilité de positionnement unidirectionnel d'un axe en utilisant un facteur d'élargissement $k = 2$

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

et

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

Note 1 à l'article: Le concept "exactitude de position" est appliqué ici en tant que formulation quantitative et est différent du concept "exactitude de mesure" telle que défini dans le Guide ISO/IEC 99:2007, 2.13.

3.27
erreur bidirectionnelle de positionnement d'un axe
exactitude de positionnement bidirectionnelle d'un axe

A

amplitude dérivée de la combinaison de la moyenne des erreurs systématiques de positionnement bidirectionnelles et de l'estimateur de la répétabilité de positionnement bidirectionnelle de l'axe en utilisant un facteur d'élargissement $k = 2$

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

Note 1 à l'article: Le concept "exactitude de position" est appliqué ici en tant que formulation quantitative et est différent du concept "exactitude de mesure" telle que défini dans le Guide ISO/IEC 99:2007, 2.13.

3.28
point d'échantillonnage

<compensation numérique> point discret pour lequel la représentation numérique de l'erreur ou des erreurs géométriques associées est donnée dans une table d'erreur, dans une table de compensation, ou dans une grille d'erreur spatiale

[SOURCE: ISO/TR 16907:—, 3.16]

4 Conditions d'essai

4.1 Environnement

Il est recommandé que le fabricant/fournisseur propose des lignes directrices concernant le type d'environnement thermique qu'il convient d'accepter pour que la machine fonctionne avec l'exactitude 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 thermiques 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 fabricant/fournisseur de la machine, la responsabilité incombe au fabricant/fournisseur de la machine en 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 ou la pièce/l'outil qui supporte une partie de la machine-outil et l'équipement d'essai pour présenter les résultats corrigés à 20 °C. Il se pourrait que cette condition requière le mesurage de la température de la partie représentative de la machine ainsi que de l'équipement d'essai et une correction mathématique avec les coefficients de dilatation thermique appropriés. La correction DDN pourrait également être réalisée de manière automatique si la partie représentative de la machine-outil et l'équipement d'essai ont la même température et le même coefficient de dilatation thermique.

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 ou des coefficients de dilatation effectifs utilisés pour la compensation. Une valeur minimale type pour l'incertitude des résultats est définie à 2 µm/(m·°C) (voir [Annexe A](#)). Les températures réelles doivent donc être précisées dans le rapport d'essai.

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 radiateurs suspendus, etc.

Pendant une période couvrant les 12 h, avant et pendant les mesurages, le gradient de température de l'environnement en degrés par heure doit rester dans les limites fixées par accord entre le fabricant/fournisseur et l'utilisateur.

4.2 Machine à contrôler

La machine doit être complètement assemblée et en ordre de marche. Si nécessaire, les opérations de nivellement et les essais d'alignement géométrique doivent avoir été effectués de manière satisfaisante avant la mise en route des essais de précision de positionnement 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 sur une machine à vide, 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.

4.3 Mise en température

Pour contrôler la machine dans des conditions normales de fonctionnement, les essais doivent être immédiatement précédés par une opération de mise en température appropriée spécifiée par le fabricant/fournisseur de la machine ou définie par accord entre le fabricant/fournisseur et l'utilisateur.

Si aucune condition n'est spécifiée, les opérations de mise en température peuvent prendre la forme d'un "essai à blanc préalable" à l'essai de précision de positionnement sans collecte de données, ou les déplacements préalables peuvent être limités à ceux nécessaires au réglage des instruments de mesure. L'opération de mise en température choisie doit être spécifiée dans le rapport d'essai.

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 l'opération de mise en température.

5 Programme d'essai

5.1 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 va rester au repos suffisamment longtemps pour permettre l'atteinte de la position réelle, sa mesure et son enregistrement. La machine doit être programmée

pour assurer les déplacements entre les points visés en vitesse d'avance définie par accord entre le fabricant/fournisseur et l'utilisateur.

5.2 Choix des points visés

Lorsque la position des points visés peut être choisie librement, elle doit prendre la forme générale de la Formule 1:

$$P_i = (i-1)p + r \quad (1)$$

où

i est le numéro du point visé;

p est l'intervalle nominal basé sur un espacement uniforme des points visés sur la course de mesure;

r est un nombre aléatoire avec \pm une période d'erreur périodique de positionnement attendue (telle que les erreurs qui résultent des variations du pas de la vis à billes et des variations du pas du mouvement linéaire ou rotatif) pour garantir que les erreurs périodiques font l'objet d'un échantillonnage correct; si aucune information concernant les erreurs périodiques possibles n'est disponible, r doit être à $\pm 30\%$ de p .

Les points visés sélectionnés pour l'exécution des essais d'acceptation ou de révérification doivent être différents des points d'échantillonnage utilisés pour la compensation numérique des erreurs de positionnement des axes appropriés.

NOTE L'Annexe C donne des informations relatives à l'erreur périodique de positionnement.

5.3 Mesurages

ISO 230-2:2014

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/922e2fc0-e49d-4dd5-8739-a0f337737a52/iso-230-2-2014>

5.3.1 Configuration et instrumentation

La configuration de mesure est conçue pour permettre de mesurer le mouvement relatif entre la partie de la machine qui supporte l'outil et la partie de la machine qui supporte la pièce dans le sens de déplacement de l'axe soumis à essai.

Les instruments typiques pour la détermination des erreurs de position et la répétabilité des axes linéaires sont les interféromètres à laser calibrés (y compris les interféromètres de suivi) et les échelles linéaires calibrées. Les tables à billes calibrées peuvent aussi être utilisées (voir Annexe D).

L'erreur de positionnement et la répétabilité des axes courts jusqu'à 100 mm peuvent également être mesurées à l'aide de capteurs de déplacements linéaires de grande amplitude.

Lorsqu'une correction mathématique DDN est appliquée, la position du ou des capteurs de température sur les éléments de la machine, les coefficients de dilatation utilisés pour la correction DDN et le type de compensation doivent être précisés dans le rapport d'essai.

Les instruments types pour la détermination des erreurs de position et la répétabilité des axes de rotation sont des polygones avec autocollimateurs, des tables d'indexation de référence avec interféromètre/autocollimateur à laser et des encodeurs de rotation (d'angle).

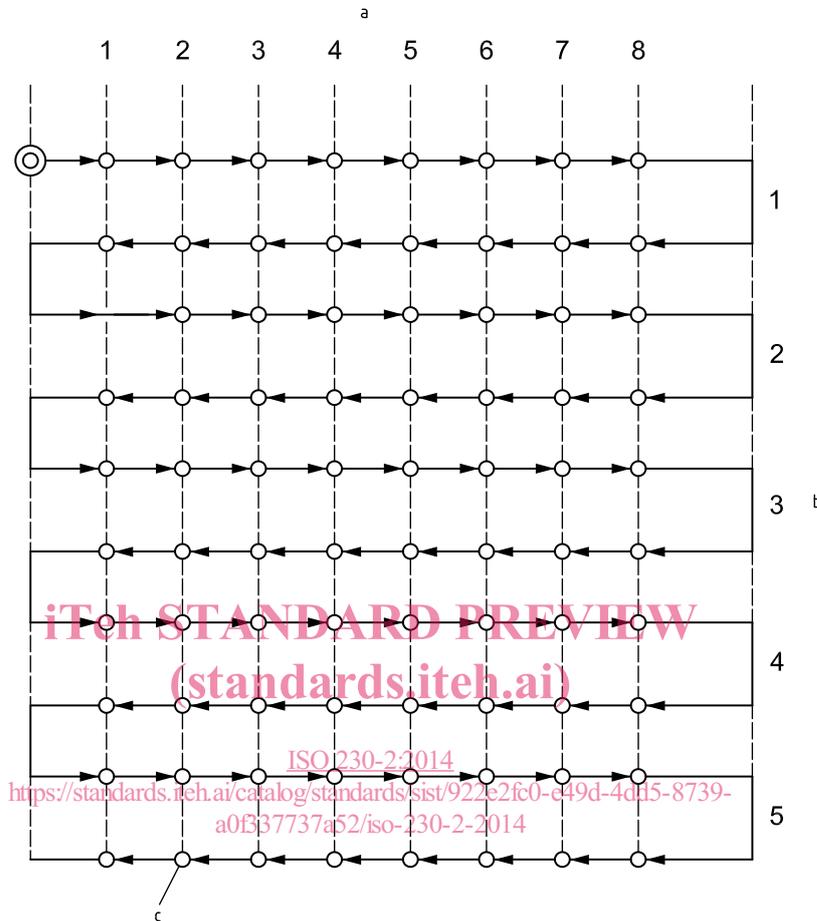
Les positions des instruments de mesure et des gabarits de référence, s'il y en a, doivent être relevées dans le rapport d'essai.

5.3.2 Essais sur axes linéaires d'une course inférieure ou égale à 2 000 mm

Sur des axes de machines d'une course inférieure ou égale à 2 000 mm, un minimum de cinq points visés par mètre avec un minimum global de cinq points visés doivent être sélectionnés conformément à 5.2.

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.

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



- a Position i ($m = 8$).
- b Cycle j ($n = 5$).
- c Points visés.

Figure 1 — Cycle d'essai normal

5.3.3 Essais sur axes linéaires d'une course supérieure à 2 000 mm

Pour les axes d'une course 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 au [5.2](#), à un intervalle moyen p de 250 mm. Lorsque le transducteur de mesure est constitué de plusieurs éléments, des points visés supplémentaires doivent être sélectionnés pour garantir que chaque élément dispose au moins d'un point visé.

En complément, l'essai spécifié en [5.3.2](#) doit être réalisé sur une longueur de 2 000 mm dans la zone de travail normale, selon l'accord entre le fabricant/fournisseur et l'utilisateur.

Pour les axes de course de plus de 4 000 mm, le nombre d'essais à effectuer spécifiés en [5.3.2](#) ainsi que leur position au sein de la zone de travail doit faire l'objet d'un accord spécifique entre le fabricant/fournisseur et l'utilisateur.