
Norme internationale



4291

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

Méthodes d'évaluation des écarts de circularité — Mesurage des variations de rayon

Methods for the assessment of departure from roundness — Measurement of variations in radius

Première édition — 1985-09-15

ITIH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 4291:1985](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/82fb03e9-c644-409a-9482-f444618d3c4/iso-4291-1985)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/82fb03e9-c644-409a-9482-f444618d3c4/iso-4291-1985>

CDU 531.717

Réf. n° : ISO 4291-1985 (F)

Descripteurs : état de surface, mesurage de la circularité, instrument de mesurage, profilomètre, calcul d'erreur.

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 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.

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 4291 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 57, *Métrieologie et propriétés des surfaces*.

[ISO 4291:1985](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/82fb03e9-c644-409a-9482-f444618d3c4/iso-4291-1985)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/82fb03e9-c644-409a-9482-f444618d3c4/iso-4291-1985>

Méthodes d'évaluation des écarts de circularité — Mesurage des variations de rayon

1 Objet et domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie une méthode de détermination des écarts de circularité par mesurage des variations de rayon, au moyen d'instruments à contact (palpeurs).

Elle établit

- a) les types d'instruments et les prescriptions générales;
- b) des recommandations pour l'emploi des instruments;
- c) des méthodes d'étalonnage des instruments et de vérification de leurs caractéristiques.

La présente Norme internationale fournit une évaluation des écarts de circularité d'une pièce par rapport à la forme idéale par le biais d'une transformation du profil obtenue dans des conditions de référence, et qui s'exprime en fonction de l'un quelconque des centres suivants :

- a) centre du cercle des moindres carrés;
- b) centre du cercle de zone minimale;
- c) centre du cercle circonscrit minimal;
- d) centre du cercle inscrit maximal.

Chacun des centres précédents peut avoir son domaine d'application. La position du centre des moindres carrés peut se calculer à partir d'une formule simple et explicite donnée dans l'annexe F.

L'écart de circularité du profil mesuré, la méthode, l'étalonnage et la détermination des erreurs systématiques de rotation sont traités dans les annexes A à D, respectivement. L'annexe E concerne les règles de tracé et de lecture des graphiques polaires.

NOTES

- 1 La transformation du profil est définie dans l'ISO 6318.
- 2 Par conditions de référence on entend : le palpeur, les limitations de fréquence pour un filtre d'ondes électrique (s'il est utilisé), l'excentricité admissible des représentations graphique ou numérique du profil

(en général, 7 à 15 % de son rayon moyen, voir annexe E), la position de la section ou des sections mesurées, par rapport à un élément caractéristique de la pièce.

2 Référence

ISO 6318, *Mesurage de la circularité — Termes, définitions et paramètres de circularité.*

3 Définitions

Dans le cadre de la présente Norme internationale, les définitions données dans l'ISO 6318 sont applicables.

4 Instruments

4.1 Types d'instruments et prescriptions générales

Les instruments du genre palpeur utilisés pour déterminer les écarts par rapport à une circularité idéale peuvent être de deux types :

- a) à palpeur et capteur tournant, la pièce étant maintenue fixe;
- b) à pièce tournante, palpeur et capteur étant maintenus fixes.

Selon le caractère de l'information fournie, les instruments de mesure de la circularité se rangent en deux catégories :

- a) à enregistrement du profil;
- b) à affichage direct des valeurs des paramètres,

les deux catégories pouvant être combinées en un seul instrument.

Les instruments à palpeur doivent répondre aux spécifications de 4.1.1 à 4.1.3.

4.1.1 Type et dimensions du palpeur

Les caractéristiques de la surface de la pièce à examiner sont d'une importance capitale pour le choix du palpeur. Les variantes indiquées aux figures 1 à 4 (voir aussi chapitre B.3) sont admises suivant la nature et l'ampleur des irrégularités à prendre en considération.

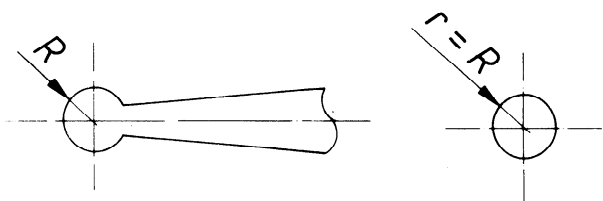


Figure 1 — Palpeur à pointe sphérique

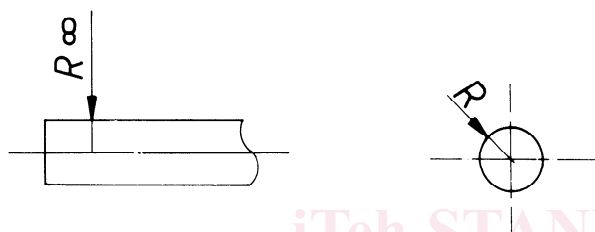


Figure 2 — Palpeur cylindrique

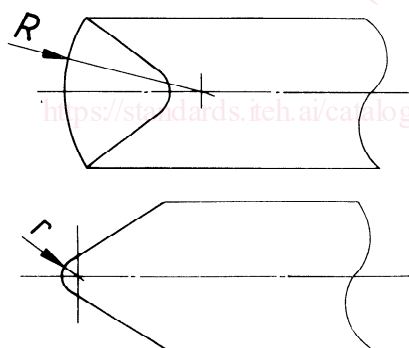


Figure 3 — Palpeur toroïdal (hachette)

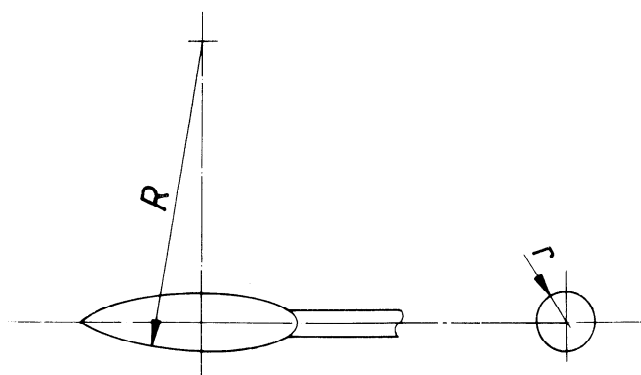


Figure 4 — Palpeur ovoïde

Les dimensions R et r des divers palpeurs sont à choisir parmi les valeurs suivantes :

- 0,25; 0,8; 2,5; 8 et 25 mm.

4.1.2 Effort statique exercé par le palpeur

L'effort doit être réglable jusqu'à 0,25 N et, en usage, réductible jusqu'à la plus faible valeur garantissant un contact continu entre le palpeur et la surface à mesurer.

4.1.3 Réponse de l'instrument aux ondulations sinusoïdales

La gamme d'ondulations sinusoïdales périodiques par tour (upr) (c'est-à-dire par 360°) de la pièce auxquelles répond l'instrument doit être limitée aux valeurs indiquées dans le tableau.

Tableau — Valeurs limites des u.p.r.

Filtres transmettant de 1 upr à	Filtres rejetant en dessous de
15	15
50	50
150	150
500	
1 500	

La réponse à une limite nominale de bande doit correspondre à 75 % de la transmission maximale à l'intérieur de la bande considérée, sauf pour 1 upr qui représente la liaison mécanique directe entre l'entrée et la sortie. [Voir note 2c).]

Les caractéristiques de transmission du filtre doivent être équivalentes à celles de deux réseaux C-R¹⁾ indépendants de même constante de temps (voir figure 5). Les courbes ne représentent que les caractéristiques d'atténuation de l'amplitude et ne tiennent pas compte du déphasage. On peut utiliser un filtre à correction de phase, de caractéristiques connues, donnant le même taux d'atténuation du moment que ses caractéristiques sont mentionnées dans le rapport d'essai.

NOTES

1) Si l'on a besoin d'un filtre pour atténuer les hautes fréquences, la forme 2-CR est généralement admise, la distorsion du profil transmis par déphasage des fréquences élevées par rapport aux basses étant généralement négligeable.

Si le filtre est nécessaire pour atténuer les basses fréquences, la distorsion par déphasage peut être plus significative et doit être prise en compte ou être évitée par utilisation d'un filtre à correction de phase.

2a) Il est nécessaire de distinguer clairement entre les ondulations par tour de pièce (c'est-à-dire par 360°) et la réponse des circuits électroniques de l'instrument en hertz²⁾.

La fréquence en hertz produite par l'instrument est donnée par le produit du nombre d'ondulations sinusoïdales par 360° de rotation de la pièce et du nombre de tours par seconde de la broche.

2b) L'excentricité compte pour l'upr. On trouve une composante d'upr sinusoïdale lorsqu'on évalue la périphérie de la pièce à partir d'un centre autre que le centre du cercle des moindres carrés.

1) «C» indiquant la capacité et «R» la résistance.

2) 1 Hz = 1 cycle par seconde

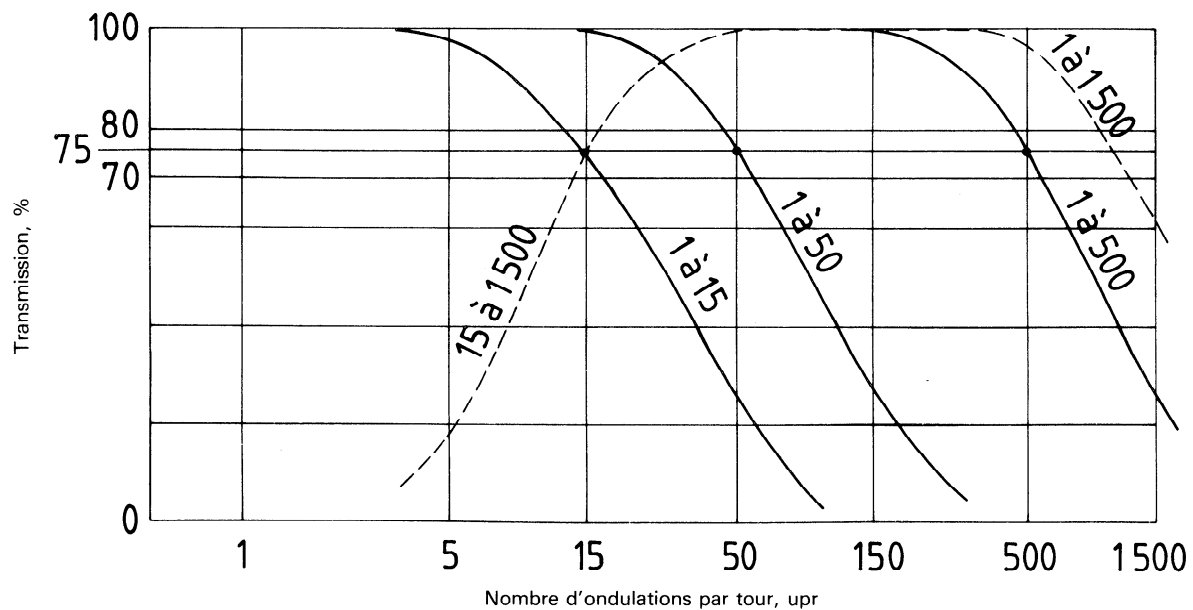


Figure 5 — Transmission type indiquant le taux d'atténuation de deux réseaux C-R indépendants de même constante de temps

2c) Lorsque les circuits électroniques des instruments doivent répondre vers le bas jusqu'à 1 upr ils sont souvent conçus pour répondre jusqu'à la fréquence zéro (0 Hz), ce qui est un moyen naturel d'éviter la distorsion de phase et de permettre l'étalonnage par des moyens statiques.

épreuve parfaitement plane montée parfaitement perpendiculaire à l'axe de rotation de référence.

NOTE — Les composants des erreurs de rotation sont des grandeurs vectorielles qui ne peuvent donc pas être ajoutées algébriquement à la valeur mesurée d'un paramètre de circularité pour essayer de tenir compte des erreurs de rotation.

4.2 Erreurs instrumentales

4.2.1 Erreur globale de l'instrument

C'est la différence entre la valeur du paramètre telle qu'elle est indiquée, affichée ou enregistrée par l'instrument et la valeur vraie de celui-ci. La valeur de l'erreur est déterminée par mesurage d'une éprouvette. L'erreur globale de l'instrument s'exprime en pourcentage de la valeur limite supérieure de l'étendue de mesure retenue. Cette erreur englobe les composantes systématiques et aléatoires, de l'erreur de la broche, du bruit électrique, des vibrations, du grossissement, etc.

4.2.2 Erreur de rotation de l'instrument

Les erreurs de rotation sont déterminées dans les conditions de référence en des positions de mesure assignées :

- erreur radiale de l'instrument — valeur du paramètre de circularité qui serait indiquée par l'instrument s'il mesurait une section d'éprouvette parfaitement circulaire et parfaitement centrée, perpendiculairement à l'axe de rotation de référence;
- erreur axiale de l'instrument — valeur dérivée du paramètre de zone affichée par l'instrument mesurant une

4.2.3 Indication des erreurs de rotation

La pièce en rotation peut présenter dans les limites de ses paliers, les mouvements combinés suivants :

- déplacements radiaux parallèles à elle-même;
- déplacements axiaux parallèles à elle-même;
- déversement.

L'ampleur de l'erreur radiale de l'instrument mesurée au niveau du palpeur dépend de la position du plan de mesure le long de l'axe de rotation. L'ampleur de l'erreur axiale de l'instrument dépend du rayon auquel est mesurée l'éprouvette plane. Les positions axiale et radiale choisies pour l'essai doivent donc être mentionnées.

L'erreur radiale de l'instrument doit être indiquée en deux positions distinctes indiquées le long de l'axe, ou en une seule position, si l'on indique en même temps le taux de variation de l'erreur radiale le long de cet axe.

L'erreur axiale de l'instrument doit être indiquée sur l'axe et à un rayon déterminé.

Annexe A

Écart de circularité du profil mesuré de la pièce

Dans la présente Norme internationale l'écart de circularité par rapport aux conditions idéales est estimé comme étant la différence entre le rayon le plus grand et le rayon le plus petit du profil mesuré de la pièce, le mesurage étant effectué à partir de l'un quelconque des centres suivants :

- a) centre des moindres carrés (LSC) — centre du cercle des moindres carrés (voir figure 6);
- b) centre de la zone minimale (MZC) — centre du cercle de zone minimale (voir figure 7);
- c) centre du cercle circonscrit minimal (MCC) — centre du cercle circonscrit minimal pour les surfaces extérieures (voir figure 8);
- d) centre du cercle inscrit maximal (MIC) — centre du cercle inscrit maximal pour les surfaces intérieures (voir figure 9).

Le rayon le plus grand ou le plus petit, selon le cas, est communément utilisé pour définir une zone concentrique. La largeur de la zone peut être repérée par ΔZ , accompagné d'un suffixe indiquant le centre. On utilisera dans la présente Norme internationale les suffixes suivants :

moindres carrés	suffixe q, et donc ΔZ_q
largeur minimale	suffixe z, et donc ΔZ_z
circonscrit minimal	suffixe c, et donc ΔZ_c
inscrit maximal	suffixe i, et donc ΔZ_i

NOTE — Les cercles dessinés sur le graphique pour représenter les cercles s'ajustant au profil de la pièce indiquant que la pièce est convenablement centrée sur l'axe de l'instrument (voir B.1.1, figure 10 et annexe F).

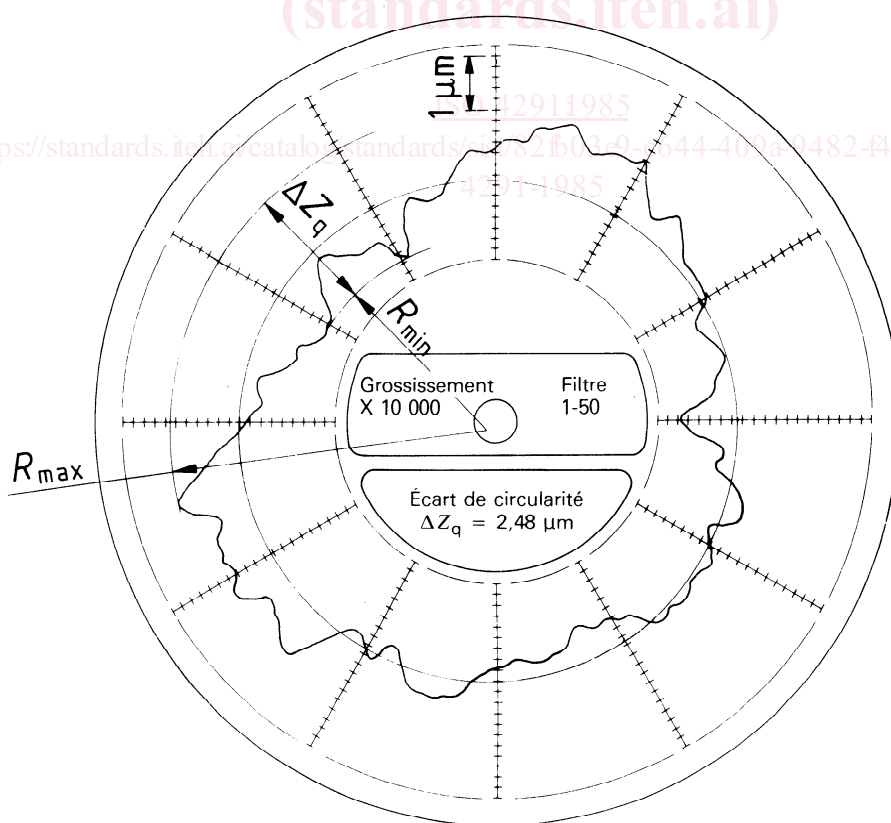


Figure 6 — Évaluation de la circularité à partir du centre des moindres carrés, ΔZ_q

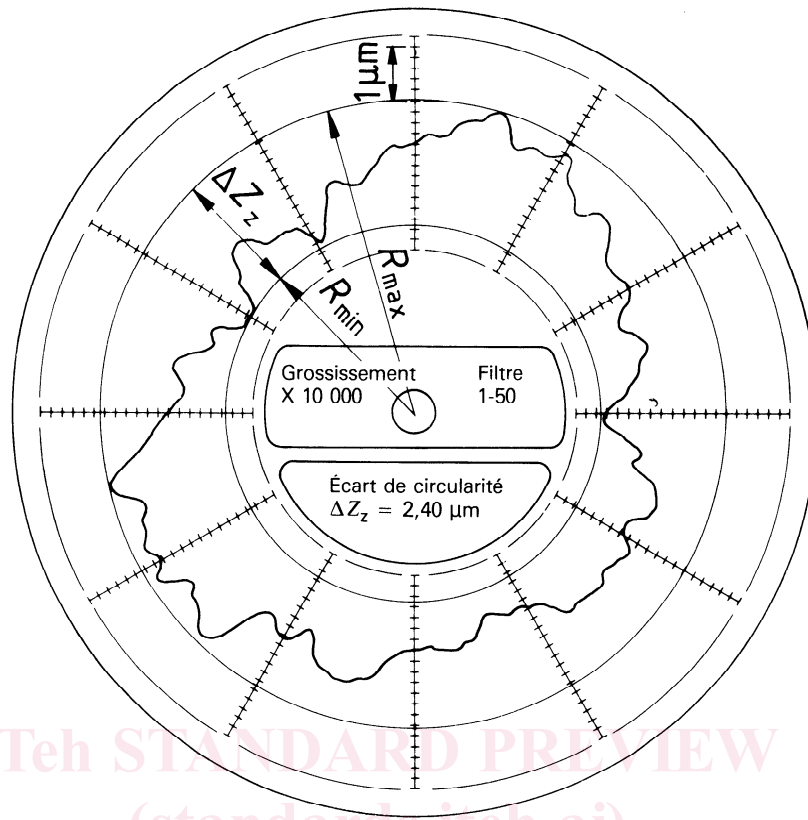


Figure 7 — Évaluation de la circularité à partir de la zone minimale, ΔZ_z

ISO 4291:1985

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/82f03c9-c644-409a-9482-f444618d34/iso-4291-1985>

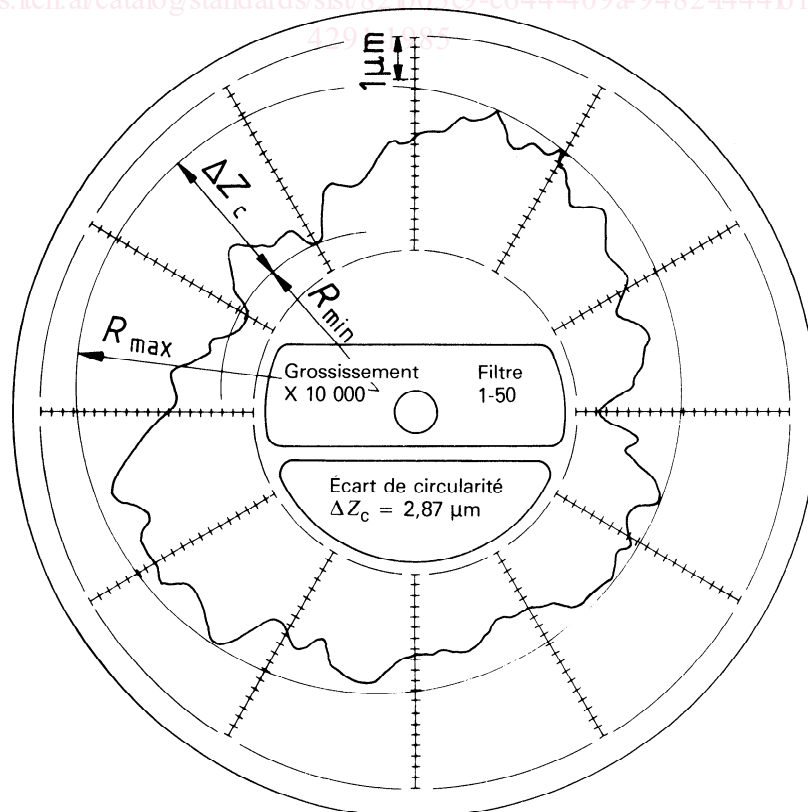


Figure 8 — Évaluation de la circularité à partir du cercle circonscrit minimal, ΔZ_c

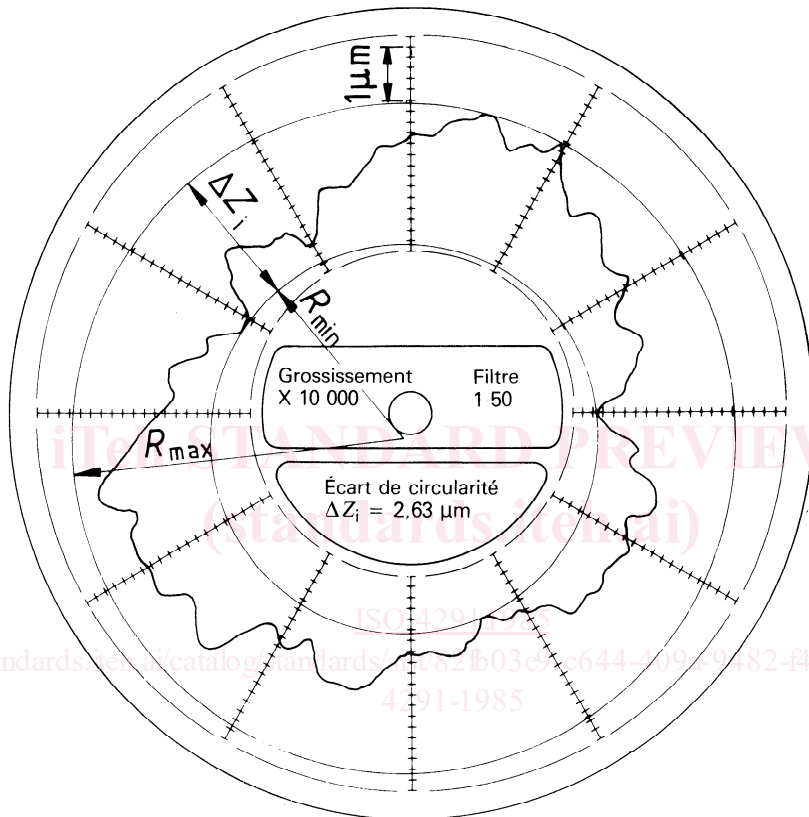


Figure 9 — Évaluation de la circularité à partir du cercle inscrit maximal, ΔZ_i

Annexe B

Méthode

(La présente annexe donne des indications générales sur le montage et le mesurage.)

B.1 Indication sur le montage

La pièce doit être montée de telle sorte que la section à mesurer soit convenablement centrée sur l'axe de rotation pour empêcher une distorsion excessive due à l'excentricité, et que son axe soit suffisamment parallèle à l'axe de rotation pour éviter les erreurs d'inclinaison excessives.

Plusieurs types de distorsion résultent de la représentation graphique polaire, car le graphique n'amplifie considérablement que les variations de rayon de la pièce et l'excentricité et non le rayon lui-même.

B.1.1 Dans le sens de l'excentricité, le rayon du cercle excentrique est indépendant de l'excentricité, alors que dans le sens perpendiculaire, le rayon augmente légèrement avec le carré de l'excentricité (voir figure 10). Au sens strict, la représentation excentrique d'un cercle parfait prend la forme d'un limaçon, ce qui est toutefois à peine perceptible en soi quand l'excentricité est très faible. Une compensation graphique est quelquefois possible. La compensation par des méthodes électriques est largement pratiquée et l'on arrive actuellement à éliminer la distorsion par correction numérique.

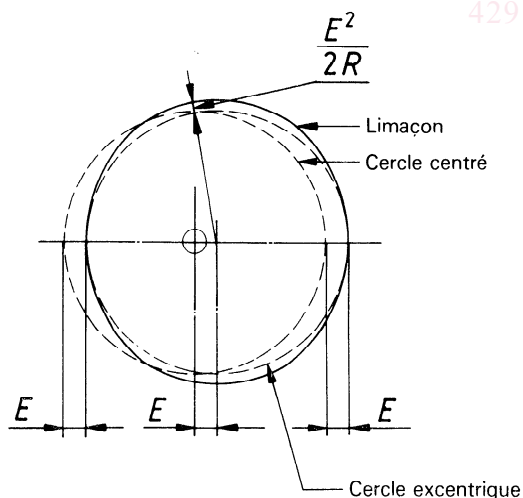


Figure 10 — Légère augmentation du rayon du cercle excentrique dans le sens perpendiculaire

B.1.2 L'écartement circonférentiel des saillies d'un profil périodique est supérieur à celui des vallées, même si la différence est négligeable sur la pièce et, pour éviter de donner une impression fautive, il ne faut pas que le rapport rayon de saillie/rayon de vallée mesuré au centre du graphique soit trop grand.

B.1.3 L'inclinaison de l'axe de la pièce par rapport à l'axe de rotation donnera l'impression qu'un cylindre parfaitement circulaire paraît elliptique. Soit D le diamètre de la pièce, θ l'angle d'inclinaison (voir figure 11) et M le grossissement, la différence de diamètre sur le graphique sera de $M \cdot D (1 - \sec \theta)$.

Inversement, une inclinaison convenable peut faire paraître circulaire un cylindre elliptique.

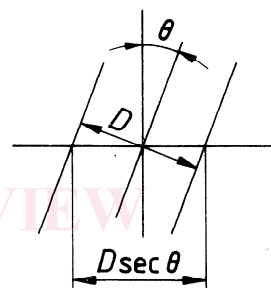


Figure 11 — Inclinaison de l'axe de la pièce par rapport à l'axe de rotation

B.1.4 L'annexe E donne quelques directives pour tracer et lire les graphiques polaires.

B.2 Direction de mesurage

B.2.1 Lorsque la pièce est cylindrique, sa circularité doit être évaluée dans une section perpendiculaire à l'axe de rotation de l'instrument, la direction de mesurage étant perpendiculaire à cet axe et le profil tracé, enregistré et mesuré étant celui de la section en question. Ce procédé constitue la base normale des mesures et évaluations de la circularité.

B.2.2 Si la pièce est conique ou torique, la question de savoir quelle est la direction fonctionnelle la plus significative doit être tranchée à la lumière des détails d'emploi, suivant la direction dans laquelle la surface a un rôle à jouer. La question peut aussi se poser de savoir si la direction de mesurage doit être perpendiculaire à l'axe ou normale à la surface (voir figure 12). Si elle est normale à la surface, le profil sera celui que forme l'intersection de la pièce avec un cône parfait nominalement co-axial et de demi angle complémentaire, le long des génératrices dont on mesure les variations sur le profil considéré. Sur le graphique représentant le profil, ces variations apparaîtront toutefois comme si elles étaient des variations radiales normales et leur largeur de zone devra être multipliée par la sécante du demi-angle de cône de la pièce si l'on veut avoir la valeur radiale exprimée dans une section normale. Le chemin de roulement d'une bague de roulement (voir figure 13) qui est une portion

de tore, peut être traité comme une surface conique formée par les tangentes à la zone en contact avec le palpeur.

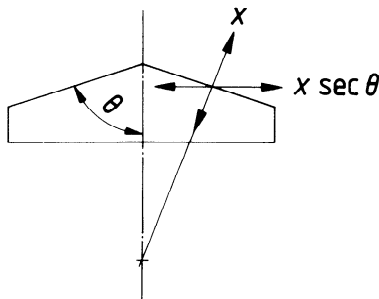


Figure 12 — Choix de la direction de mesurage pour une pièce conique ou torique

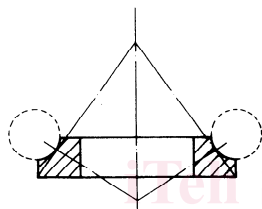


Figure 13 — Chemin de roulement d'une bague de roulement

B.3 Interdépendance entre circularité, rugosité et rayon de pointe du palpeur. Considérations relatives à la texture de rugosité

B.3.1 La question se pose de savoir si des irrégularités rapprochées de la section transversale qui sont en règle générale dues à des composantes circonférentielles de la texture de rugosité, sont à inclure ou non dans l'évaluation de la rugosité sur une zone donnée (paramètres de rugosité tels que définis jusqu'ici).

La décision dépend de l'utilisation prévue de l'information et de l'usage escompté de la pièce. On distinguera, par exemple, un contact glissant de deux surfaces de forme similaire d'un contact de roulement à billes ou à rouleaux. Le fait de tenir compte des effets de la texture de rugosité définie par des moyens instrumentaux ou de les négliger joue un rôle considérable sur la valeur du paramètre de rugosité.

Considérons par exemple les profils à la figure 14. Ils ont même valeur du paramètre de zone, mais leurs caractéristiques très différentes sont imputables à des causes différentes et il y a peu de chances qu'ils soient égaux fonctionnellement parlant.

Si ces deux profils sont ceux de chemins de roulement celui de la figure 14a) donnera lieu à des vibrations et à des bruits de haute fréquence, et il convient de préférer celui de la figure 14b). Mais s'il s'agit de profils d'arbres, de mandrins, de pistons, etc., il est vraisemblable que le choix portera sur celui de la figure 14a).

Si le facteur intéressant est la géométrie de la pièce, ou de la machine qui l'a faite, laquelle géométrie se caractérise générale-

ment par un nombre relativement faible d'ondulations périphériques, il est vraisemblable que l'évaluation la plus significative sera celle qui ne tient pas compte de la rugosité qui peut parfois être suffisamment importante pour masquer un écart de circularité. Il faudra dans ce cas étudier la rugosité séparément.

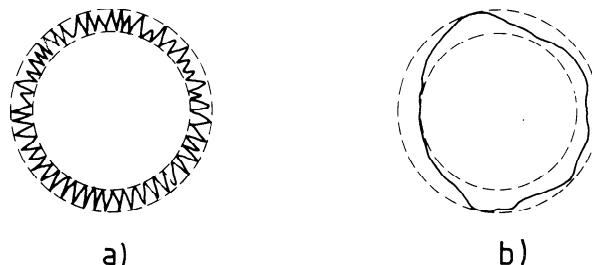


Figure 14 — Irrégularités rapprochées et éloignées

B.3.2 Le degré de prise en compte des composantes circonférentielles de la rugosité dépend des caractéristiques de la texture (motifs de surface, hauteur, espacement) et des dimensions du palpeur combinées à la réponse en fréquence de l'instrument.

B.3.3 L'expérience montre qu'un palpeur d'environ 10 mm de rayon de pointe explorant une pièce génératrices droites supprime la plus grande partie de la composante axiale des marques de meulage et de tournage normalement rencontrées mais est moins efficace dans la suppression des composantes circonférentielles résiduelles ou de la rugosité donnant des motifs de surface axiaux (extrusion, brochage), car il est difficile d'avoir une différence assez petite de courbure circonférentielle.

La figure 15 montre schématiquement comment les palpeurs à long ou court rayon réagissent sur des marques d'outil de tour sur un cylindre. Le palpeur à court rayon va se déplacer, d'une saillie d'un côté à une vallée de l'autre côté puis revenir à la saillie et ce faisant, ne va décrire une trajectoire réellement circulaire que si la forme de la marque d'outil est réellement sinusoidale, ce qui est rarement le cas. Alors qu'avec un palpeur de type hachette, à long rayon, le graphique sera représentatif de la circularité de l'enveloppe de la pièce. Il sera relativement circulaire en dépit de la présence de marques d'outil.

Le principe est illustré à la figure 16 qui montre l'enveloppe A, tracée par un palpeur de type hachette, et la section B tracée avec un palpeur pointu, d'une pièce faite au tour ordinaire, l'outil produisant la marque représentée séparément. Les palpeurs sont réglés de manière à entrer en contact avec un cylindre lisse dans le même plan transversal. Ainsi, la trace du palpeur aiguille devrait-elle se trouver quelque part à l'intérieur de celle du palpeur hachette, sauf au niveau de la saillie la plus élevée où les deux traces pourraient se toucher. L'enveloppe tracée par le palpeur hachette est aussi circulaire qu'on peut l'estimer à faible grossissement tandis que la section tracée par le palpeur aiguille présente un défaut évident de circularité.

Un palpeur à pointe sphérique de rayon inférieur à 0,8 mm par exemple 0,25 mm, entre complètement dans les marques d'outils produites par un tour de rayon normal d'outil de 0,8 mm. Il entre encore mieux dans les nombreuses rayures que

produit le meulage, mais il néglige la texture plus fine du rodage, ou de la rectification fine.

On a avantage à utiliser un faible rayon dans tous les cas de direction circonférentielle associée à un grand rayon axial. D'où l'emploi fréquent de la forme torique (hachette) qui facilite le mesurage dans les trous.

B.3.4 Les composantes circonférentielles à haute fréquence trouvées par un palpeur pointu ou non sont éliminées de façon optimale par un filtre électrique à fréquence de coupure convenable.

B.3.5 Pour mesurer les rainures (chemins de roulements à billes) le choix du rayon de pointe du palpeur ne met plus seulement en jeu la rugosité mais aussi la position du palpeur dans la rainure.

La figure 17 montre que, si le centre du palpeur est déporté par rapport à la direction du mesurage X-X, une erreur dans la mesure est obligatoire si le déport y varie pendant la rotation du palpeur, et la probabilité d'erreur augmente au fur et à mesure que diminue la différence de rayon entre le palpeur et la pièce.

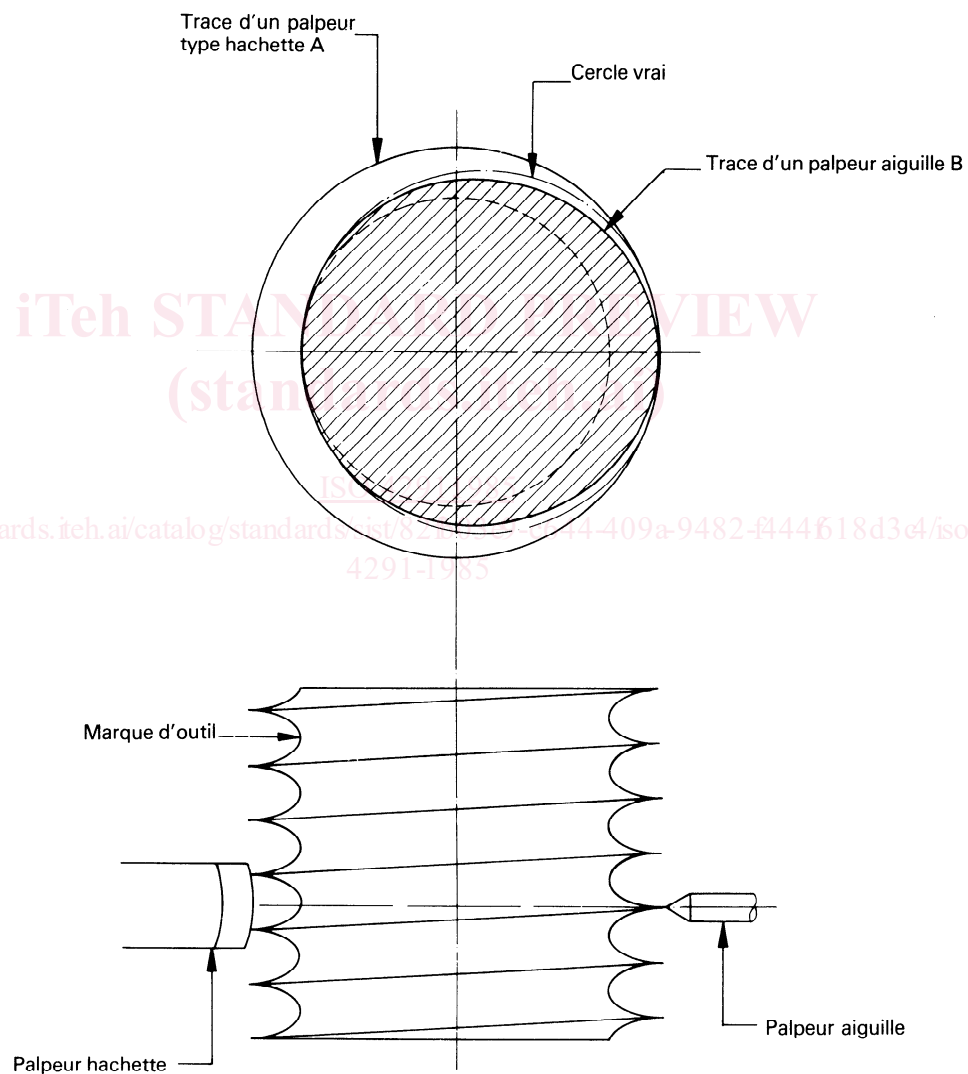


Figure 15 — Effet du rayon du palpeur une fois en contact avec la surface