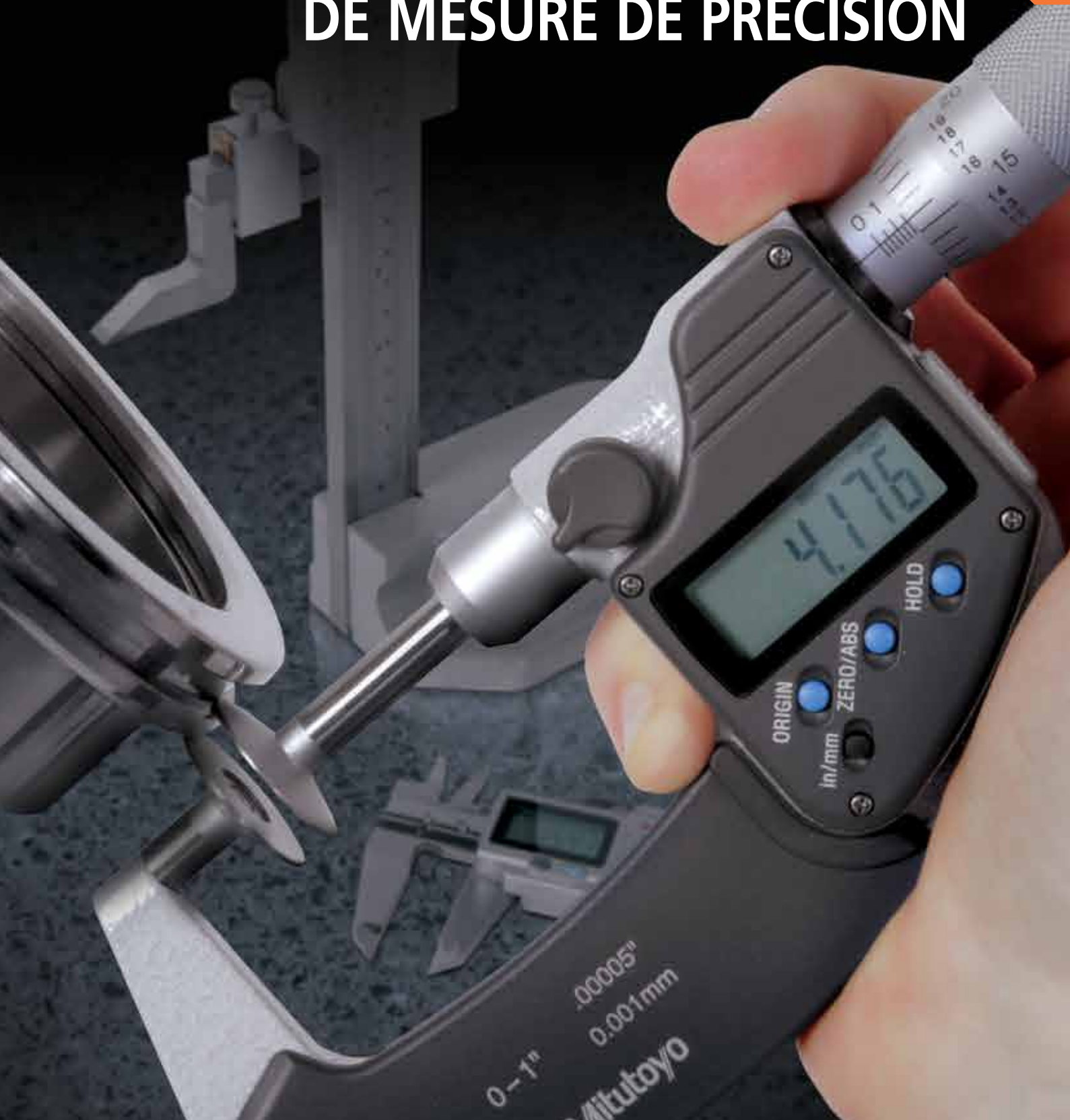


Mitutoyo

GUIDE PRATIQUE DES INSTRUMENTS DE MESURE DE PRÉCISION

ÉDITION FRANÇAISE



0-1" .00005"
0.001mm
Mitutoyo

Signification des symboles	02
Conformité au marquage CE	03
Contrôle de la qualité	04
Micromètres	06
Butées micrométriques	12
Micromètres d'intérieur	16
Pieds à coulisse	18
Trusquins	22
Cales parallèles	26
Comparateurs à cadran et comparateurs numériques	28
Capteurs de déplacement linéaire	32
Micromètres à balayage laser	34
Codeurs linéaires	36
Projecteurs de profil	38
Microscopes	40
Appareils de mesure optique	42
Surftest (Appareils de mesure des états de surface)	46
Contracer (Mesureurs de profil)	52
Roundtest (Contrôleurs de circularité)	54
Testeurs de dureté	58
Machines de mesure tridimensionnelle	60

Signification des symboles

Codeur linéaire ABSOLUTE

La méthode de la pile absolue (dite méthode absolue) est le fruit de la technologie Mitutoyo. Grâce à cette méthode, il n'est plus indispensable de refaire le zéro à chaque nouvelle mise en marche de l'appareil. Les informations de position enregistrées sur le codeur sont directement et en permanence, sans comptage. Trois types de codeurs linéaires sont disponibles : un modèle à capacitance électrostatique, un modèle à induction électromagnétique et un modèle associant la capacitance électrostatique à différents procédés optiques. Ces codeurs sont largement utilisés en métrologie dans des systèmes de mesure dimensionnelle pour obtenir des données d'une très grande fiabilité.

Avantages

1. Pas d'erreur de mesure même en cas de déplacement très rapide du coulisseau ou de la broche.
2. Pas de remise à zéro du compteur après l'arrêt du système*1.
3. Ce type de codeur consommant moins d'énergie qu'un codeur incrémental, la durée de vie de la pile peut atteindre jusqu'à environ 3 ans et demi (soit une autonomie de 20 000 heures en continu)*2 en utilisation normale.

*1: Sauf si la pile est remplacée. *2: Avec le pied à coulisse ABSOLUTE Digimatic (modèle à capacitance électrostatique)

ABSOLUTE

Classe de protection IP

Le terme « classe de protection » désigne généralement la protection d'un instrument ou de ses éléments internes contre les contacts directs et contre les pénétrations de corps étrangers solides, de poussière ou d'eau — défini par les standards (IEC 60529 : 2001) et JIS C 0920 : 2003

IP65 IP67

IP X X

Premier chiffre	Degrés de protection contre les corps étrangers solides	
	Description	Définition
0	Aucune protection	—
1	Protégé contre les corps étrangers solides de 50 mm et plus	Aucun objet à partir de 50 mm ne peut pénétrer dans le produit*
2	Protégé contre les corps étrangers solides de 12,5 mm et plus	Aucun objet à partir de 12,5 mm ne peut pénétrer dans le produit*
3	Protégé contre les corps étrangers solides de 2,5 mm et plus	Aucun objet à partir de 2,5 mm ne peut pénétrer dans le produit*
4	Protégé contre les corps étrangers solides de 1 mm et plus	Aucun objet à partir de 1 mm ne peut pénétrer dans le produit*
5	Protégé contre la poussière	La pénétration de poussière n'est pas totalement impossible mais celle qui pénètre ne peut pas compromettre le fonctionnement normal de l'appareil ou la sécurité.
6	Étanche à la poussière	Aucune pénétration de poussière n'est possible.

* : Pour plus d'informations concernant les conditions de test appliquées pour évaluer chaque niveau de protection, consultez les normes internationales.

Second chiffre	Degrés de protection contre l'eau	
	Description	Définition
0	Aucune protection	—
1	Protégé contre la chute verticale de gouttes d'eau	Les gouttes d'eau tombant verticalement n'ont aucun effet dommageable.
2	Protégé contre la chute verticale de gouttes d'eau jusqu'à une inclinaison du boîtier de 15°	Les gouttes d'eau tombant verticalement n'ont aucun effet dommageable dans la limite d'une inclinaison de 15° du boîtier de l'appareil par rapport à la verticale.
3	Protégé contre les pulvérisations.	Les pulvérisations d'eau jusqu'à un angle de 60° par rapport à la verticale n'ont aucun effet dommageable.
4	Protégé contre les projections d'eau	Les projections d'eau sur le boîtier n'ont aucun effet dommageable pour l'appareil quelle que soit la direction.
5	Protégé contre les jets d'eau	Les jets d'eau projetés sur le boîtier n'ont aucun effet dommageable quelle que soit la direction.
6	Protégé contre les jets d'eau puissants	Les jets d'eau puissants projetés sur le boîtier n'ont aucun effet dommageable quelle que soit la direction.
7	Protégé contre l'immersion dans l'eau	L'immersion temporaire du boîtier, dans des conditions de pression et de durée spécifiées, n'entraîne aucune pénétration d'eau dans des quantités susceptibles de causer des effets dommageables.
8	Protégé contre les effets d'une immersion continue dans l'eau	La pénétration d'eau dans des quantités susceptibles d'entraîner des effets dommageables lorsque le boîtier est immergé en continu est impossible dans les conditions convenues par le fabricant et l'utilisateur et plus exigeantes que pour un indice IP X7.

Certification de conformité indépendante

Les niveaux de protection IP65, IP66 et IP67 des produits Mitutoyo ont été certifiés par l'organisation d'homologation indépendante TÜV Rheinland.



Conformité au marquage CE



Afin d'améliorer la sécurité, chaque site de production applique des programmes visant à respecter les directives machines, les directives de CEM et les directives basse tension. La conformité au marquage CE est également satisfaite. Le sigle CE signifie "Conformité Européenne". Le marquage CE atteste que le produit concerné est conforme aux exigences essentielles de la réglementation européenne en matière d'hygiène, de sécurité et d'environnement.



Contrôle de la qualité

Contrôle qualité (QC)

Système permettant de fournir des produits ou des services ayant une qualité conforme aux exigences du client.

Contrôle de la qualité des processus

Ensemble d'activités visant à réduire les différences entre les produits fabriqués et à maintenir ces variations à un faible niveau. Ces activités débouchent sur l'amélioration et la standardisation des processus et sur un enrichissement technologique.

Contrôle statistique des processus (SPC)

Contrôle de la qualité des processus au moyen de méthodes statistiques.

Population

Ensemble des produits ayant des caractéristiques à prendre en compte pour améliorer et contrôler les processus et la qualité des produits. La population représente par convention le groupe de produits où sont prélevés des échantillons.

Lot

Ensemble de produits fabriqués dans des conditions identiques.

Échantillon

Produit ou groupe de produits prélevés parmi la population dans le but d'analyser leurs caractéristiques.

Taille de l'échantillon

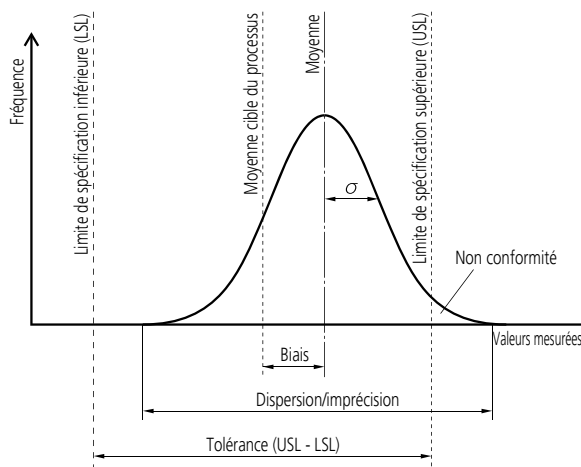
Nombre de produits constituant un échantillon.

Biais

Différence entre la vraie valeur d'une population et la moyenne des valeurs mesurées, en cas de mesures en série.

Dispersion

Variation des valeurs d'une caractéristique cible par rapport à la valeur moyenne. L'écart type est généralement utilisé pour représenter la dispersion des valeurs autour de la moyenne.



Histogramme

Un histogramme est un graphique qui illustre la répartition des valeurs sur un intervalle donné en divisant ce dernier en plusieurs tranches de valeurs représentées sous la forme de barres. Il permet de situer la moyenne et d'évaluer l'étendue approximative de la dispersion plus facilement. Une distribution en forme de cloche, appelée distribution normale, est fréquemment utilisée dans des exemples théoriques en raison de la facilité de calcul de ses caractéristiques. Il convient toutefois de rester prudent car, dans la réalité, de nombreux processus ne se caractérisent pas par une distribution normale, d'où des risques d'erreurs si cette hypothèse est supposée vraie.

Capabilité du processus

Performances spécifiques du processus lorsqu'il est suffisamment normalisé, quand les causes de dysfonctionnement ont été éliminées et quand le processus est en état de contrôle statistique. La capacité du processus est représentée par les valeurs $\pm 3\sigma$ ou 6σ quand les valeurs de qualité obtenues avec le processus respectent une distribution normale. σ (sigma) représente l'écart type.

Indice de capabilité du processus (PCI or Cp)

Valeur indiquant dans quelle mesure le processus peut fonctionner dans les limites de tolérance de la caractéristique cible. Il doit toujours être supérieur à un. La valeur de l'indice est calculée en divisant la tolérance d'une caractéristique cible par la capacité du processus (6σ). La valeur obtenue en divisant la différence entre la moyenne (\bar{X}) et la valeur type par 3σ peut être utilisée pour représenter cet indice dans le cas d'une tolérance unilatérale. L'indice de capabilité du processus suppose que la courbe d'une caractéristique présente une distribution normale.

Remarque : Si la courbe d'une caractéristique présente une distribution normale, 99,74% des valeurs se situent dans un intervalle de $\pm 3\sigma$ par rapport à la moyenne.

Tolérance bilatérale

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

USL: Limite de spécification supérieure
LSL: Limite de spécification inférieure

Tolérance unilatérale

Si seule la limite supérieure est spécifiée

$$C_p = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}$$

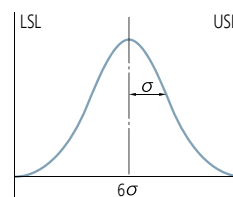
Tolérance unilatérale

Si seule la limite inférieure est spécifiée

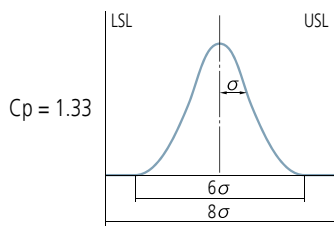
$$C_p = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}$$

Exemples d'indices de capacité du processus (C_p) (tolérance bilatérale)

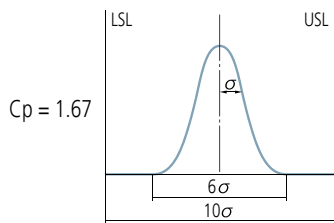
$C_p = 1$



La capacité du processus est atteinte lorsque les limites du processus de 6 sigma coïncident avec les limites de tolérance.



La capacité du processus est la valeur minimale généralement admissible et correspond à une valeur située à une distance minimum de 1 sigma des limites de tolérance.



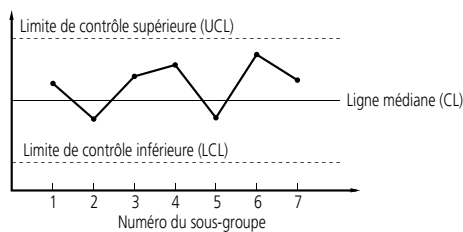
La capacité du processus est suffisante lorsque la valeur de l'indice se situe à une distance minimum de 2 sigma des limites de tolérance.

La Cp ne représentant que le rapport entre les limites de tolérance et la dispersion du processus, elle ne tient pas compte de la position de la moyenne du processus.

Un indice de capacité du processus qui tient compte de la différence entre la moyenne du processus et la moyenne du processus cible est généralement appelé Cpk. Il est égal à la plus petite des deux valeurs calculées en divisant par 3σ (moitié de la capacité du processus) la tolérance supérieure (USL moins la moyenne) ou la tolérance inférieure (la moyenne moins LSL).

Carte de contrôle

Il est utilisé pour contrôler le processus en séparant les variations du processus dues à des causes fortuites de celles dues à un dysfonctionnement. La carte de contrôle comprend une ligne médiane (CL) et des lignes de contrôle situées de part et d'autre de la ligne médiane (UCL et LCL). On peut affirmer que le processus est dans un état de contrôle statistique si tous les points de la courbe représentant les résultats du processus sont compris entre les limites de contrôle supérieure et inférieure et ne montrent aucune tendance particulière. La carte de contrôle est un outil de contrôle utile des performances du processus et donc de la qualité.



Carte de contrôle \bar{X} -R

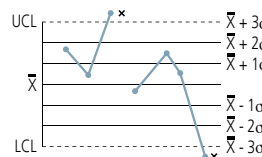
La carte de contrôle permet d'obtenir de nombreuses informations sur le processus. La carte de contrôle \bar{X} -R se compose de la carte de contrôle \bar{X} qui utilise la moyenne de chaque sous-groupe pour contrôler les biais anormaux de la moyenne du processus et de la carte de contrôle R qui utilise un intervalle pour contrôler les variations anormales. En règle générale, les deux cartes sont utilisées simultanément.

Causes fortuites

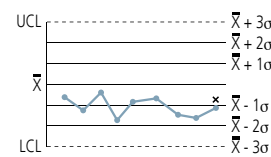
Ces causes de variation sont généralement négligeables. Les causes fortuites sont technologiquement ou économiquement impossibles à éliminer même lorsqu'elles sont identifiables.

Interprétation de la carte de contrôle

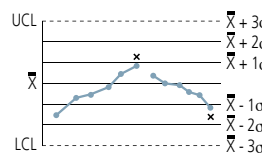
Différentes courbes considérées comme indésirables dans les graphes de contrôle sont illustrées ci-dessous. Ces courbes indiquent qu'une "cause particulière" affecte les résultats du processus et qu'une intervention de l'opérateur est nécessaire pour remédier à cette situation. Les règles de détermination qui suivent ne sont fournies qu'à titre indicatif. Les variations spécifiques de chaque processus doivent être prises en compte pour définir les règles de détermination. Supposons que les limites de contrôle supérieure et inférieure se trouvent à 3σ de la ligne médiane, divisez le graphe de contrôle en six zones de 1σ pour appliquer les règles décrites ci-dessous. Ces règles s'appliquent à la carte de contrôle R et à la carte de contrôle \bar{X} . Il convient de rappeler que ces "règles de correction de tendance" ont été définies sur la base d'une distribution normale. D'autres règles peuvent être définies en fonction du type de distribution.



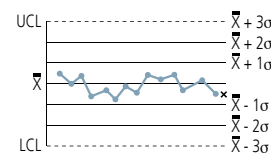
Il y a un point situé au-delà des deux limites de contrôle ($\pm 3\sigma$).



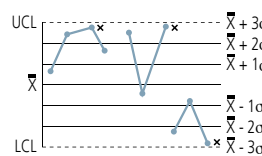
Neuf points consécutifs se trouvent du même côté de la ligne médiane.



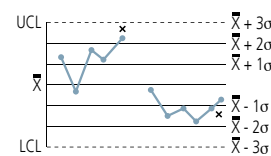
Six points consécutifs d'augmentation ou de diminution.



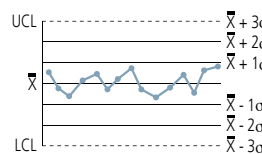
Alternance de 14 points en augmentation et en diminution.



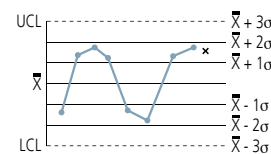
Deux points sur trois points consécutifs sont à plus de $\pm 2\sigma$ de part et d'autre de la ligne médiane.



Quatre points sur cinq points consécutifs sont à plus de $\pm 1\sigma$ de part et d'autre de la ligne médiane.



Il y a 15 points consécutifs situés à moins de $\pm 1\sigma$ de la ligne médiane.



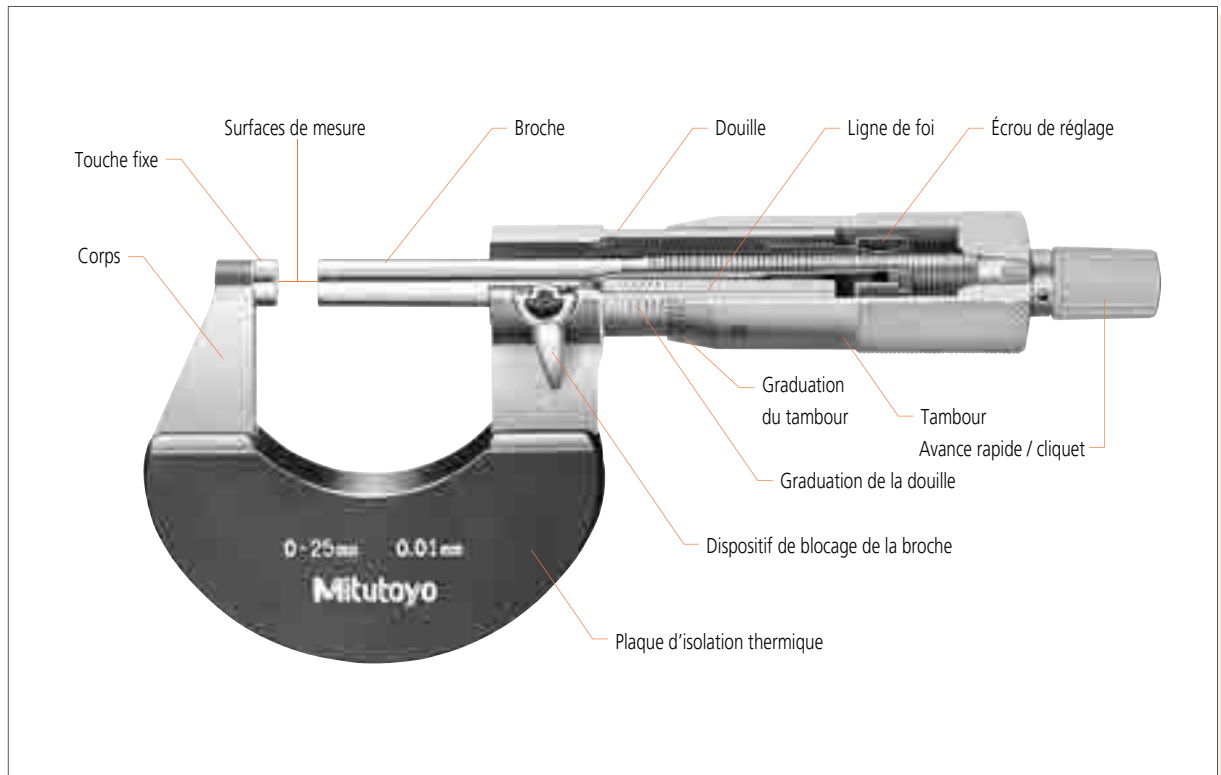
Il y a huit points consécutifs situés à plus de $\pm 1\sigma$ de la ligne médiane.

Remarque : Cette partie du Guide pratique des instruments de mesure de précision a été rédigée par Mitutoyo sur la base de sa propre interprétation du Manuel de contrôle de la qualité JIS publié par l'Association japonaise de normalisation. Références : Manuel de contrôle de la qualité JIS (Association japonaise de normalisation) Z 8101 : 1981, Z 8101-1 : 1999, Z 8101-2 : 1999, Z 9020 : 1999, Z 9021 : 1998

Micromètres

Description des composants

Micromètre d'extérieur analogique standard

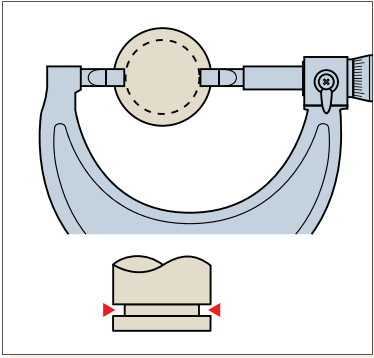


Micromètre d'extérieur Digimatic



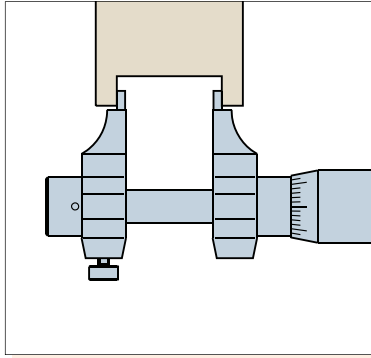
Utilisations particulières des micromètres

Micromètre à touches couteaux



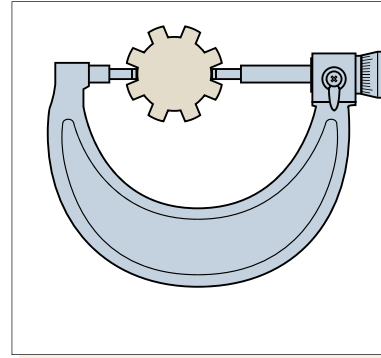
> Pour la mesure du diamètre dans des gorges étroites.

Micromètre d'intérieur, type pied à coulisse



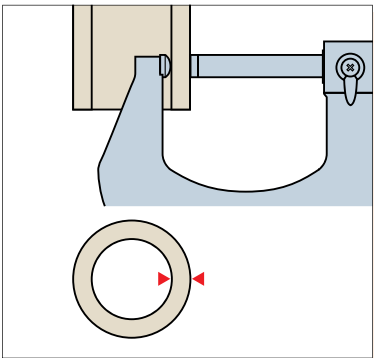
> Pour la mesure du diamètre intérieur et de la largeur des gorges.

Micromètre à touches fixes pour cannelures



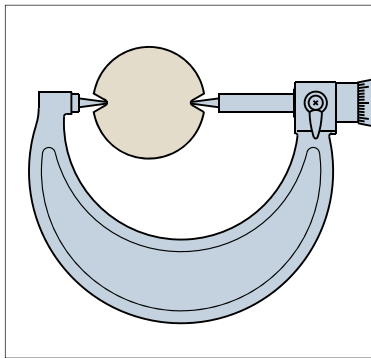
> Pour la mesure du diamètre des arbres cannelés.

Micromètre à touches sphériques pour surfaces incurvées



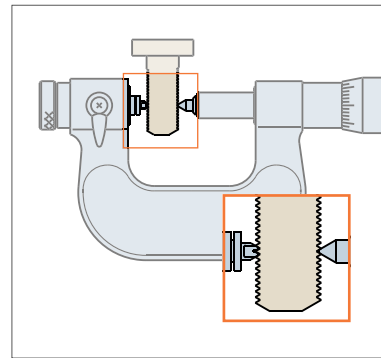
> Pour la mesure de l'épaisseur des parois des tubes.

Micromètre à touches pointues



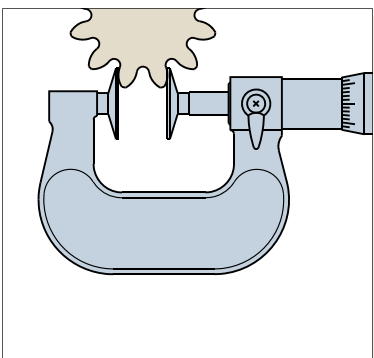
> Pour la mesure du diamètre à fond de filet.

Micromètre pour la mesure de filetage



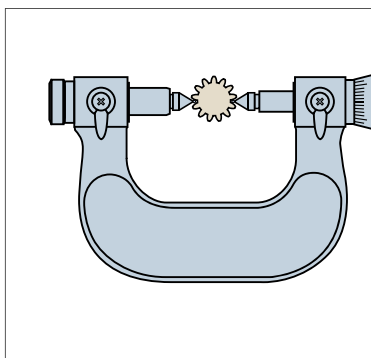
> Pour la mesure efficace du diamètre du filetage.

Micromètre d'extérieur à disques



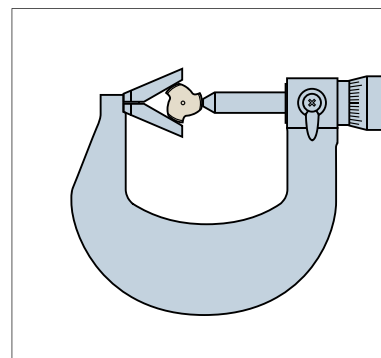
> Pour la mesure de la longueur de la tangente au cercle de base sur des engrenages cylindriques et hélicoïdaux.

Micromètre à touches à billes



> Mesure du diamètre d'engrenage sur pignon.

Micromètre à touches prismatiques

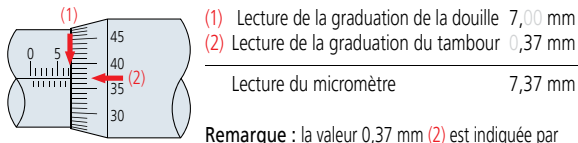


> Pour la mesure des outils de coupe à 3 ou 5 dents.

Micromètres

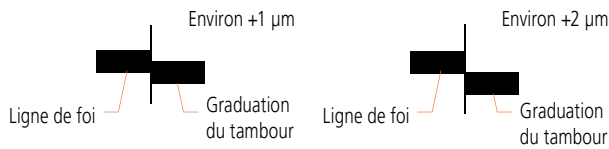
Lecture des graduations

■ Micromètre à vernier (graduation : 0,01 mm)

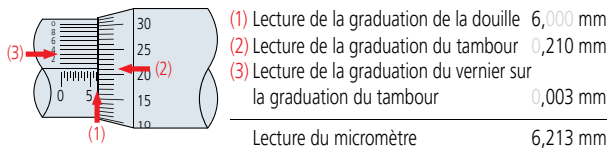


Remarque : la valeur 0,37 mm (2) est indiquée par l'alignement de la ligne de foi de la douille avec une graduation du tambour.

La graduation du tambour permet une lecture directe avec une résolution de 0,01 mm, comme illustré ci-dessus, mais il est également possible d'extrapoler la valeur à une résolution de 0,001 mm quand les lignes sont quasiment alignées car l'épaisseur des lignes représente 1/5 de la distance qui les séparent.



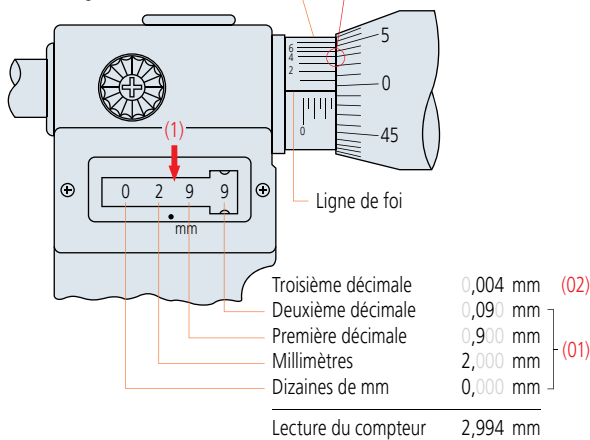
■ Micromètre à vernier (graduation : 0,001 mm)



Remarque : La valeur de 0,21 mm (2) est indiquée par la position de la ligne de foi entre deux graduations (21 et 22). La valeur de 0,003 mm (3) est indiquée par l'alignement d'une graduation du vernier sur une graduation du tambour.

■ Micromètre à compteur mécanique (précision : 0,001 mm)

Position de la troisième décimale sur le vernier (graduations de 0,001 mm)

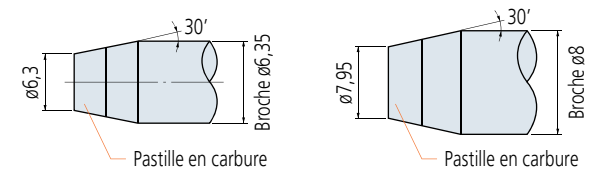


Remarque : 0,004 mm (2) est indiquée par la coïncidence entre une graduation du vernier et une graduation du tambour.

Dispositif de limitation de la force de mesure

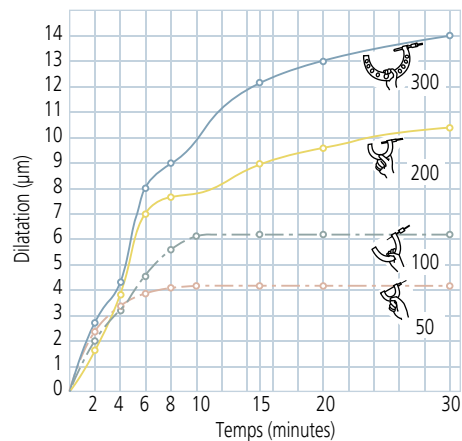
	Audible pendant l'utilisation	Utilisable d'une seule main	Remarque
Cliquet	Oui	Oui	Cliquetis audibles entraînant des microchocs
Tambour à friction (Type F)	Non	Possible	Fonctionnement sans à-coups, silencieux et régulier
Tambour à cliquet (Type T)	Oui	Oui	Fonctionnement audible confirmant une force de mesure constante
Tambour à cliquet	Oui	Oui	Fonctionnement audible confirmant une force de mesure constante

Vue détaillée de la face de mesure



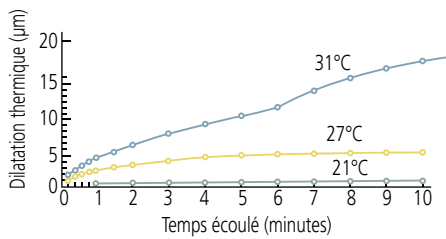
Les illustrations ne sont fournies qu'à titre indicatif et ne sont pas à l'échelle.

Dilatation du micromètre due à un maintien de la structure à main nue



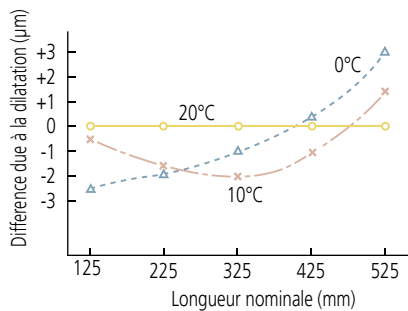
Le graphique ci-dessus illustre la dilatation de la structure du micromètre causée par le transfert de chaleur de la main de l'opérateur à la structure lorsque celle-ci est tenue à main nue. Comme le montre le graphique, la dilatation induite par la température peut entraîner d'importantes erreurs de mesure. Si le micromètre doit être tenu à la main pendant la mesure, essayez de réduire la durée du contact. L'utilisation d'un isolant thermique, comme des gants, peut réduire considérablement cet effet. (Le graphique ci-dessus représente des valeurs théoriques qui ne sont pas garanties par le fabricant)

Dilatation d'un étalon de longueur en fonction de la température (longueur initiale de 200 mm à 20°C)



Le graphique ci-dessus illustre la dilatation au fil du temps d'un étalon de micromètre due au maintien de son extrémité par plusieurs personnes présentant des températures corporelles différentes (indiquées sur le graphique) à une température ambiante de 20°C. Il montre qu'il est important de ne pas régler le micromètre en tenant l'étalon directement à la main mais de procéder avec des gants ou en tenant délicatement l'étalon par ses isolants thermiques. Avant d'effectuer une mesure, il convient également de rappeler qu'un étalon de micromètre nécessite un certain temps pour retrouver sa longueur originale après dilatation. (Les valeurs du graphique sont de nature expérimentale et non garanties par le fabricant)

Différence de dilatation thermique entre le micromètre et l'étalon de longueur



Au cours de l'expérience ci-dessus, le micromètre et son étalon ont été placés à une température ambiante de 20°C pendant 24 heures, puis le point d'origine a été réglé à l'aide de l'étalon. Le micromètre et l'étalon ont ensuite été placés à des températures de 0°C et de 10°C pendant le même laps de temps, avant de mesurer la variation de longueur. Le graphique ci-dessus montre les résultats obtenus pour des longueurs allant de 125 à 525 mm à chaque température. Il montre que le micromètre et l'étalon doivent être placés à la même température ambiante pendant plusieurs heures avant le réglage du point d'origine. (Les valeurs du graphique sont de nature expérimentale et non garanties par le fabricant)

Loi de Hooke

La loi de Hooke établit que la contrainte subie par un matériau élastique est proportionnelle à la force causant cette contrainte, tant que la contrainte ne dépasse pas la limite d'élasticité de ce matériau.

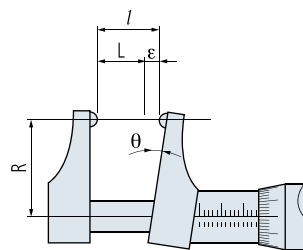
Changement de méthode de support et d'orientation

Le changement de méthode de support ou d'orientation d'un micromètre après le réglage de l'origine altère les résultats de mesure. Les tableaux ci-dessous indiquent les erreurs de mesure susceptibles de se produire en changeant de méthode de support et d'orientation après avoir réglé l'origine d'un micromètre « soutenu en bas et au centre ». Ces résultats réels montrent qu'il est préférable de régler le micromètre et d'effectuer une mesure sans changer de méthode de support et d'orientation.

Longueur de mesure maximum (mm)	Erreur de mesure (µm)	
	Soutenu en bas et au centre	Soutenu uniquement au centre
325	0	-5.5
425	0	-2.5
525	0	-5.5
625	0	-11.0
725	0	-9.5
825	0	-18.0
925	0	-22.5
1025	0	-26.0

Longueur de mesure maximum (mm)	Erreur de mesure (µm)	
	Soutenu au centre et orienté horizontalement.	Tenu à la main et orienté vers le bas.
325	+1.5	-4.5
425	+2.0	-10.5
525	-4.5	-10.0
625	0	-5.5
725	-9.5	-19.0
825	-5.0	-35.0
925	-14.0	-27.0
1025	-5.0	-40.0

Principe d'Abbe



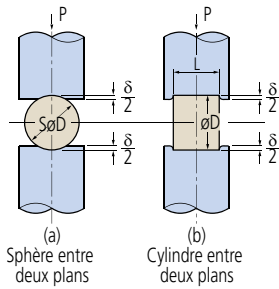
Selon le principe d'Abbe "l'exactitude maximale est obtenue lorsque l'axe de mesure et l'axe de la règle sont identiques".

Cela est dû au fait que toute variation de l'angle relatif (θ) du bec de mesure mobile sur un instrument de mesure, comme un pied à coulisse, entraîne un déplacement qui n'est pas mesuré par la règle de l'instrument et qui constitue l'erreur d'Abbe ($\epsilon = l - L$ sur le schéma). L'erreur de rectitude de la broche, le jeu du guide de la broche ou une variation de la force de mesure peuvent entraîner une variation de l'angle (θ) et une augmentation de l'erreur avec R.

Micromètres

Formule de Hertz

La formule de Hertz permet de calculer la réduction visible du diamètre de sphères et de cylindres due à la compression élastique lorsqu'il est mesuré entre deux surfaces planes. Cette formule est utile pour calculer la déformation d'une pièce causée par la force de mesure au niveau des points et des lignes de contact.



Supposons que le matériau est de l'acier et que les unités de mesure sont les suivantes :

Module d'élasticité : $E = 205 \text{ GPa}$
 Ampleur de la déformation : $\delta \text{ (}\mu\text{m)}$
 Diamètre de la sphère ou du cylindre : $D \text{ (mm)}$
 Longueur du cylindre : $L \text{ (mm)}$
 Force de mesure : $P \text{ (N)}$

a) Réduction visible du diamètre de la sphère :

$$\delta = 0.82 \sqrt[3]{P^2/D}$$

b) Réduction visible du diamètre du cylindre :

$$\delta = 0.094 PL \sqrt[3]{1/D}$$

Principales erreurs de mesure du micromètre à vis

Cause	Erreur maximale possible	Mesures de prévention et d'élimination des erreurs	Erreurs non éliminables même avec des mesures de prévention
Erreur d'avance du micromètre	$3 \mu\text{m}$	1. Corrigez le micromètre après l'utilisation.	$\pm 1 \mu\text{m}$
Erreur angulaire de la touche fixe	$\pm 5 \mu\text{m}$ en supposant que l'erreur demi-angulaire est de 15 minutes	1. Mesurez l'erreur angulaire et corrigez le micromètre. 2. Réglez le micromètre en utilisant une jauge de filetage identique à la pièce.	$\pm 3 \mu\text{m}$ d'erreur de mesure théorique demi-angulaire
Erreur d'alignement des points de contact	$+10 \mu\text{m}$		$+3 \mu\text{m}$
Influence de la force de mesure	$\pm 10 \mu\text{m}$	1. Utilisez le micromètre avec la plus faible force de mesure possible. 2. Utilisez toujours le verrou à cliquet. 3. Réglez le micromètre avec une jauge de filetage de pas identique.	$+3 \mu\text{m}$
Erreur angulaire de la jauge de filetage	$\pm 10 \mu\text{m}$	1. Exécutez un calcul de correction (angle). 2. Corrigez l'erreur de longueur. 3. Réglez le micromètre en utilisant un calibre ayant le même filetage que la pièce.	$+3 \mu\text{m}$
Longueur de l'erreur du calibre à filetage	$\pm \left(3 + \frac{L}{25}\right) \mu\text{m}$	1. Exécutez un calcul de correction. 2. Réglez le micromètre en utilisant un calibre ayant le même filetage que la pièce.	$\pm 1 \mu\text{m}$
Erreur angulaire du filetage de la pièce	Degré d'erreur angulaire selon JIS 2 ± 229 minutes $-91 \mu\text{m}$ $+71 \mu\text{m}$	1. Réduisez l'erreur angulaire autant que possible. 2. Mesurez l'erreur angulaire et exécutez un calcul de correction. 3. Utilisez la méthode des trois fils en cas d'erreur importante.	$\pm 8 \mu\text{m}$ si l'erreur angulaire est de ± 23 minutes
Erreur cumulée	$(\pm 117 + 40) \mu\text{m}$		$+26 \mu\text{m}$ $-12 \mu\text{m}$

Mesure du diamètre du pas de vis

Méthode des trois piges

Le diamètre du pas de vis peut être mesuré selon la méthode des trois piges illustrée sur la figure ci-contre.

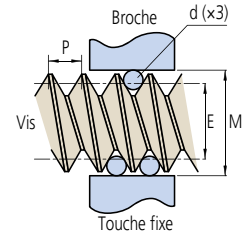
Calculez le diamètre du pas de vis (E) à l'aide des formules (1) et (2).

(1) Vis à filetage métrique ou unifié (60°): $E = M - 3d + 0.866025P$

(2) Filetage Whitworth (55°): $E = M - 3.16568d + 0.960491P$

d = Diamètre de la pige
 E = Diamètre du pas de vis
 M = Lecture au micromètre avec les trois piges

P = Pas de vis
 (Convertissez les pouces en millimètres pour les filetages unifiés.)



Type de filetage	Dimension optimale de la pige à D
Vis à filetage métrique ou unifié (60°)	$0,577P$
Filetage Whitworth (55°)	$0,564P$

Principales erreurs de mesure de la méthode des trois piges

Cause	Mesures de prévention et d'élimination des erreurs	Erreur possible	Erreurs non éliminables même avec des mesures de préventions
Erreur de pas (pièce)	1. Corrigez l'erreur de pas ($\delta p = \delta E$) 2. Mesurez plusieurs points et retenez la moyenne. 3. Réduisez chaque erreur de pas.	$\pm 18 \mu\text{m}$ pour une erreur de pas théorique de 0,02 mm.	$\pm 3 \mu\text{m}$
Erreur demi-angulaire (pièce)	1. Utilisez le diamètre de pige optimal. 2. Aucune correction requise.	$\pm 0.3 \mu\text{m}$	$\pm 0.3 \mu\text{m}$
Due à erreur de la touche fixe	1. Utilisez le diamètre de pige optimal. 2. Utilisez la pige dont le diamètre est le plus proche de la moyenne côté pige seule.	$\pm 8 \mu\text{m}$	$+1 \mu\text{m}$
Erreur de diamètre de la pige	1. Utilisez la force de mesure prédéterminée et adaptée au pas. 2. Utilisez la largeur de mesure prédéterminée entre les bords. 3. Appliquez une force de mesure constante.	$-3 \mu\text{m}$	$-1 \mu\text{m}$
Erreur cumulée		Dans le pire des cas $+20 \mu\text{m}$ $-35 \mu\text{m}$	Si mesuré avec soin $+3 \mu\text{m}$ $-5 \mu\text{m}$

Méthode du fil unique

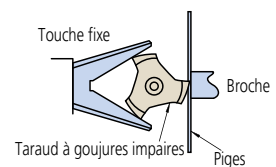
Le diamètre du pas d'un taraud à dents impaires peut être mesuré avec un micromètre à touche fixe en V en appliquant la méthode du fil unique. Mesurez la valeur de la distance (M1) et calculez M avec les formules (3) ou (4).

(3) Taraud à trois dents : $M = 3M_1 - 2D$

(4) Taraud à cinq dents : $M = 2.2360M_1 - 1.23606D$

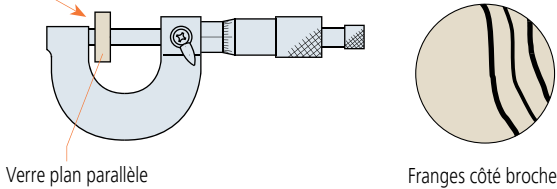
M_1 = Lecture du micromètre pendant la mesure avec un fil unique
 D = Diamètre du taraud à dents impaires

Appliquez ensuite la valeur de M obtenue à la formule (1) ou (2) pour calculer le diamètre du pas de vis (E).



Contrôle du parallélisme des faces de mesure du micromètre

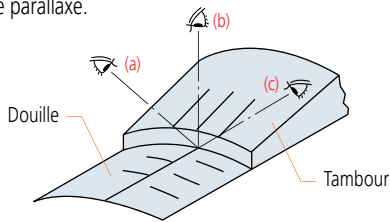
Sens de lecture du verre plan parallèle côté broche



Le parallélisme peut être évalué à l'aide d'un verre plan parallèle placé entre les deux faces. Comprimez d'abord légèrement le verre plan parallèle contre la face de mesure de la touche fixe. Refermez ensuite la broche sur le verre plan parallèle en appliquant une force de mesure normale et comptez le nombre de franges d'interférence rouges visibles sur la face de mesure de la broche à la lumière blanche. Chaque frange représente une différence de hauteur d'une demi-onde (0,32 µm pour les franges rouges). Sur la figure ci-dessus, le parallélisme mesuré est d'environ 1 µm, soit $0,32 \mu\text{m} \times 3 = 0,96 \mu\text{m}$.

Remarques générales concernant l'utilisation d'un micromètre

1. Vérifiez attentivement le type, la plage de mesure, la précision et les autres caractéristiques du micromètre pour sélectionner un instrument adapté à votre application.
2. Laissez le micromètre et la pièce reposer à température ambiante suffisamment longtemps pour que leur température s'uniformise avant de procéder à une mesure.
3. Observez la ligne de foi selon un angle nul pour identifier correctement sa coïncidence avec une graduation du tambour. Si les graduations sont observées selon un certain angle, la coïncidence des lignes peut ne pas être identifiée correctement en raison d'une erreur de parallaxe.



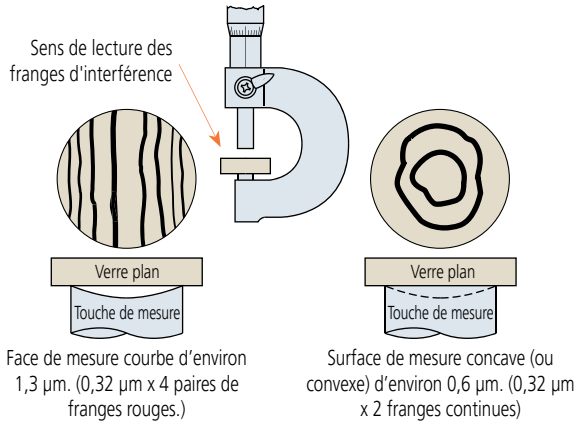
(a) Ligne de foi vue du dessus (b) Vue directe de la ligne de foi (c) Ligne de foi vue du dessous

4. Essayez les faces de mesure de la touche fixe et de la broche avec du papier non pelucheux et réglez le point zéro avant de mesurer.



Contrôle de la planéité des faces de mesure du micromètre

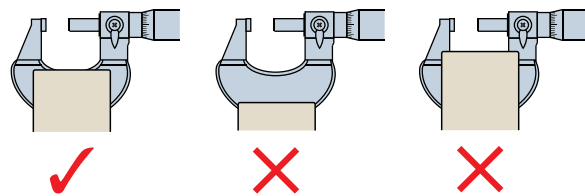
La planéité peut être évaluée à l'aide d'un verre plan (ou parallèle) maintenu contre une face. Comptez le nombre de franges d'interférence rouges visibles sur la face de mesure à la lumière blanche. Chaque frange représente une différence de hauteur d'une demi-onde (0,32 µm pour les franges rouges).



Face de mesure courbe d'environ 1,3 µm. (0,32 µm x 4 paires de franges rouges.)

Surface de mesure concave (ou convexe) d'environ 0,6 µm. (0,32 µm x 2 franges continues)

5. A titre d'entretien quotidien, éliminez la poussière, les copeaux et autres impuretés de la circonférence et des faces de mesure de la broche. Essayez convenablement l'instrument avec un chiffon sec pour éliminer les taches et les traces de doigts.
6. Utilisez le dispositif de serrage continu correctement de sorte que les mesures soient effectuées avec une force de mesure appropriée.
7. Si le micromètre doit être installé sur un support, le support doit maintenir le micromètre par le centre de la structure. Ne serrez pas le support excessivement.



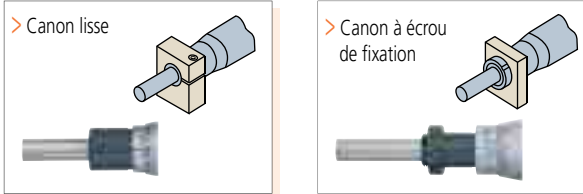
8. Veillez à ne pas faire tomber le micromètre ou à le heurter avec un objet. Ne faites pas tourner le tambour du micromètre avec une force excessive. Si vous pensez que votre micromètre a été endommagé par une manœuvre involontaire, soumettez-le à un contrôle rigoureux avant de le réutiliser.
9. Après une longue période d'inutilisation ou si aucun film d'huile de protection n'est plus visible, appliquez un léger film d'huile anticorrosion sur le micromètre avec un chiffon.
10. Remarques concernant le stockage :
 - Évitez d'exposer le micromètre aux rayons directs du soleil.
 - Conservez le micromètre dans un endroit sec et correctement aéré.
 - Conservez le micromètre dans un endroit non poussiéreux.
 - Conservez le micromètre dans un étui ou tout autre contenant sans le poser à terre.
 - Lorsque vous rangez le micromètre, laissez toujours un espace de 0,1 à 1 mm entre les touches.
 - Ne conservez pas le micromètre serré dans un support.

Butées micrométriques

Principaux critères de sélection

Les critères importants lors de la sélection d'une butée micrométrique incluent la plage de mesure, la touche de la broche, le canon, les graduations, le diamètre du tambour, etc.

Canon

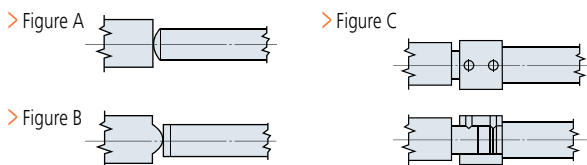


- Le canon utilisé pour maintenir la butée micrométrique peut être de type « lisse » ou « à écrou de fixation », comme illustré ci-dessus. Le diamètre du canon est usiné à une dimension exprimée en unité métrique ou anglo-saxonne avec une tolérance h6.
- Le canon à écrou de fixation permet une immobilisation sûre et rapide de la butée micrométrique. Le canon lisse a l'avantage de pouvoir être utilisé dans un champ plus large d'applications et de permettre un léger réglage axial de la position lors de l'installation définitive, en outre il n'exige aucun système de fixation mécanique.
- Des dispositifs de fixation sont disponibles en option.

Touche de mesure



- Les touches de mesure plates sont souvent réservées aux applications où une butée micrométrique est utilisée pour effectuer des mesures.
- Quand la butée micrométrique est utilisée comme dispositif d'avance, une touche de mesure sphérique peut réduire les erreurs dues à un défaut d'alignement (Figure A). Une touche de mesure plate peut également être utilisée si la pièce présente une partie sphérique, comme une bille en carbure (Figure B).
- Il est possible d'utiliser une butée micrométrique à broche non rotative ou dotée d'un dispositif anti-rotation sur la broche (Figure C) pour éviter les risques de torsion contre la pièce.
- Si une butée micrométrique est utilisée comme butée, l'utilisation d'une touche de mesure plate sur la broche et sur la surface de contact assure la durabilité.



Broche non rotative

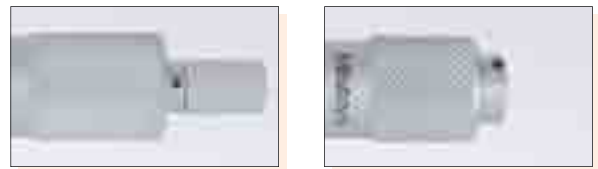
Une broche non rotative n'exerce aucune force de torsion sur la pièce, un aspect particulièrement important dans certaines applications.

Pas de vis de la broche

- Les butées standard ont un pas de vis de 0,5 mm.
- Les butées à pas de vis de 1 mm permettent un réglage plus rapide et réduisent les risques d'erreur de lecture des butées standard à 0,5 mm. Elles ont en outre une excellente résistance aux charges grâce à la plus grande largeur du filetage.
- Butées à pas de vis de 0,25 mm ou 0,1 mm : Ce type de butée est destiné aux applications nécessitant une avance fine ou un positionnement fin.

Dispositif d'avance à force constante

- L'utilisation d'une butée micrométrique avec dispositif d'avance à force constante (tambour à friction ou à cliquet) est recommandée pour les applications comportant des mesures.
- Si la butée micrométrique est utilisée comme butée, ou si la place est limitée, l'utilisation d'une butée sans cliquet constitue probablement le meilleur choix.



> Butée micrométrique avec dispositif d'avance à cliquet

> Butée micrométrique sans dispositif d'avance à force constante (pas de cliquet)

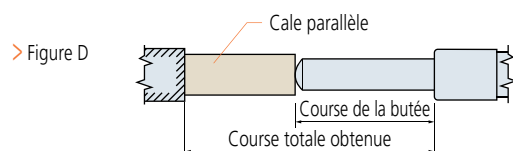
Dispositif de blocage de la broche

Si la butée micrométrique est utilisée comme butée, il est conseillé d'utiliser un modèle doté d'un dispositif de blocage de la broche pour que le réglage ne change pas, même en cas de chocs répétés dus au chargement.



Plage de mesure (Course)

- Lors du choix de la plage de mesure de la butée micrométrique, prévoyez une marge suffisante en fonction de la course de mesure nécessaire. Six plages de mesure, de 5 à 50mm, sont disponibles pour les butées micrométriques standard.
- Même si la course prévue est plus petite, (2 mm ou 3 mm), il est plus économique d'opter pour un modèle ayant une course de 25 mm si la place est suffisante pour son installation.
- Si une course de plus de 50 mm est nécessaire, l'utilisation, en plus, d'une cale parallèle peut allonger la plage de mesure réelle. (Figure D)



Butées spéciales

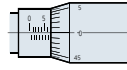
Des butées micrométriques spéciales sont disponibles pour les applications robotisées, etc. qui exigent une avance ou un réglage ultra-fins de la broche.

Diamètre du tambour

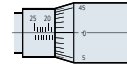
Le diamètre du tambour est un aspect important pour la commodité et la finesse du positionnement. Un tambour à petit diamètre permet un positionnement rapide, tandis qu'un tambour à grand diamètre permet un positionnement fin et une lecture facile des graduations. Certains modèles regroupent tous ces avantages grâce à un tambour à grand diamètre équipé d'un mécanisme d'avance rapide.



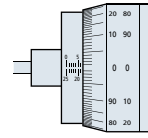
Types de graduations



Type de graduation normale



Type de graduation inversée



Type de graduation bidirectionnelle

- La lecture d'une butée micrométrique mécanique exige la plus grande attention, en particulier lorsque cet instrument ne nous est pas familier.
- Les graduations standard sont les graduations de type « normal », identiques à celles d'un micromètre d'extérieur. Avec ce type de graduation, la valeur lue augmente proportionnellement à la rétraction de la broche dans le corps de la butée.
- Au contraire, avec une graduation de type « inversé », la valeur lue augmente proportionnellement à l'extraction de la broche du corps de la butée.
- Les graduations de type « bidirectionnel » sont destinées à faciliter les mesures dans les deux directions avec des nombres de couleur noire pour les graduations normales et des nombres de couleur rouge pour les graduations inversées.
- Des butées micrométriques avec affichage mécanique ou numérique, permettant une lecture directe de la valeur mesurée, sont également disponibles. Ce type de butée permet d'éviter toute erreur de lecture. Un autre avantage est que l'affichage numérique permet de stocker les données sur un ordinateur et d'effectuer ultérieurement un traitement statistique des valeurs relevées.

Conseils pour l'installation des butées micrométriques

Une butée micrométrique doit être maintenue par le canon dans un alésage parfaitement usiné par un procédé de blocage n'exerçant pas de force excessive sur le canon. Les trois procédés les plus répandus sont décrits ci-dessous. Le procédé 3 est déconseillé. Adoptez, si possible, les procédés (1) ou (2).

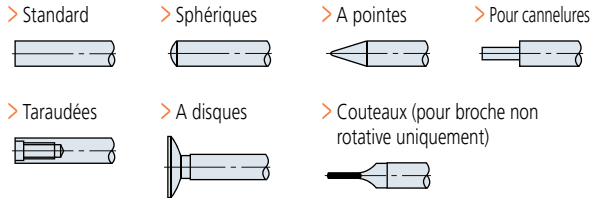
	Méthode de montage											
	(1) Écrou de fixation				(2) Noix de serrage				(3) Vis de maintien			
Diamètre du canon	ø9.5	ø10	ø12	ø18	ø9.5	ø10	ø12	ø18	ø9.5	ø10	ø12	ø18
Alésage	G7				G7				H5			
Tolérances d'ajustement	+0,005 à +0,020		+0,006 à +0,024		+0,005 à +0,020		+0,006 à +0,024		0 à +0,006		0 à +0,008	
Précautions	Vérifiez que la Face A est perpendiculaire à l'alésage. Intervalle de tolérance de perpendicularité pour le serrage du canon 0,16 / 6,5.				Éliminez les bavures générées sur la paroi de l'alésage par l'opération de coupe.				M3 x 0,5 ou M4 x 0,7 sont les dimensions idéales de la vis de serrage. Placez une douille en laiton sous la vis (si l'épaisseur le permet) pour éviter d'endommager le canon.			

Butées micrométriques

Produits sur mesure (présentation non exhaustive)

Les butées micrométriques sont utilisées dans de nombreux domaines scientifiques et industriels et Mitutoyo offre une vaste gamme de modèles standard pour répondre aux exigences de ses clients. Cependant, lorsqu'aucun produit standard ne convient, Mitutoyo est en mesure de réaliser la butée micrométrique dotée des caractéristiques qui conviennent le mieux à votre application. N'hésitez pas à contacter Mitutoyo pour connaître les solutions possibles, même si votre commande ne porte que sur un seul exemplaire.

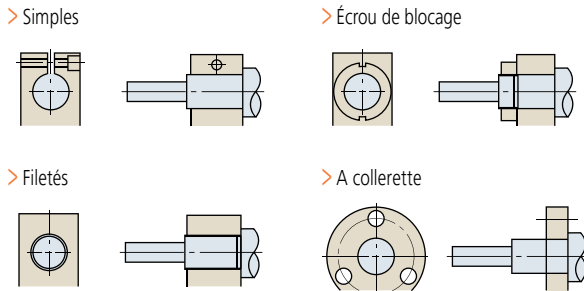
1. Types de touches côté broche



Des broches rallongées sont également disponibles. Contactez Mitutoyo.

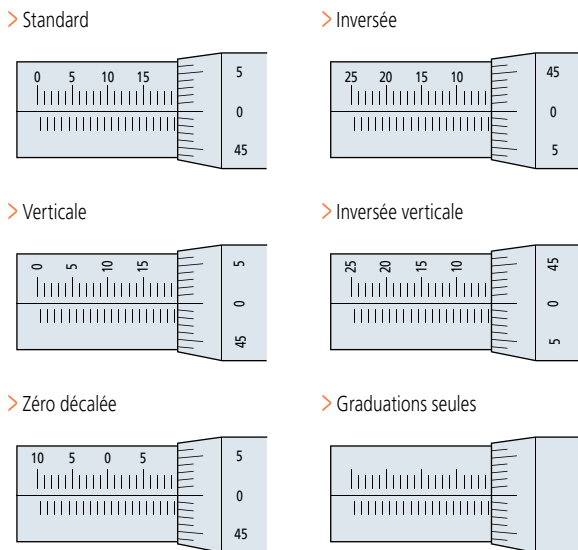
2. Types de canons

Un canon personnalisé peut être réalisé pour s'adapter au système de fixation.



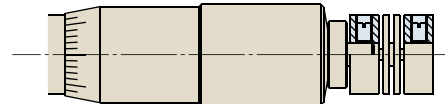
3. Types de graduations

Différents types de graduations du tambour et du fourreau, telles que les graduations inversées ou verticales, sont disponibles.



4. Raccordement moteur

Des raccords peuvent être aménagés sur la butée en vue de sa motorisation.



5. Fixation du tambour

La fixation du tambour peut être réalisée par cliquet, par vis de serrage ou par vis à tête hexagonale.



6. Pas de vis de la broche

Des pas de vis de 1 mm pour les applications rapides ou de 0,25 mm pour une avance fine peuvent être réalisés à la place du pas de vis standard de 0,5 mm. Des pas en vis en unités anglo-saxonnes sont également possibles. Contactez Mitutoyo pour plus d'informations.

7. Lubrifiant pour le filetage de la broche

Les caractéristiques de lubrification peuvent être spécifiées par le client.

8. Fabrication en inox

Tous les composants de la butée peuvent être réalisés en acier inoxydable.

9. Conditionnement simple

Les commandes portant sur de grandes quantités de butées micrométriques peuvent être livrées dans un conditionnement simple à des fins de fabrication de pièces d'origine (OEM).

Capacité de charge maximale des butées micrométriques

La capacité de charge maximale d'une butée micrométrique dépend de sa méthode de fixation et du type de charge appliquée, statique ou dynamique (en cas d'utilisation comme butée). La capacité de charge maximale de chaque modèle ne peut donc être déterminée définitivement. Les limites de charge recommandées par Mitutoyo (100 000 révolutions en cas d'utilisation à des fins de mesure dans la plage de précision garantie) et les résultats des essais de charge statique avec une petite butée micrométrique sont indiqués dans les tableaux ci-dessous.

1. Charges maximales recommandées

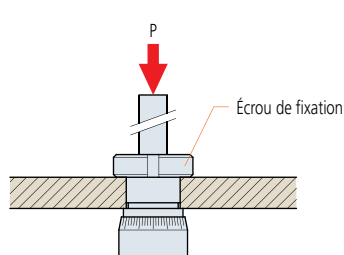
		Charge maximale
Modèles standard	Pas de la broche : 0,5 mm	Jusqu'à 4 kgf*
	Pas de la broche : 0,1 mm/0,25 mm	Jusqu'à 2 kgf
Type hautes performances	Pas de la broche : 0,5 mm	Jusqu'à 4 kgf*
	Pas de la broche : 0,1 mm/0,25 mm	Jusqu'à 6 kgf
	Broche non rotative	Jusqu'à 2 kgf
	Type MHF à avance fine (mécanisme différentiel)	Jusqu'à 2 kgf

* Jusqu'à 2 kgf seulement en cas de butée MHT

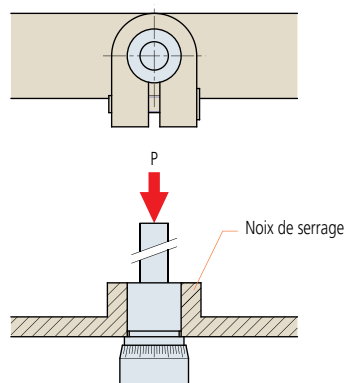
2. Essai de charge statique des butées micrométriques (avec butée MHS pour l'essai)

Les butées micrométriques ont été installées selon les méthodes illustrées ci-dessous afin de mesurer la force à laquelle les butées sont endommagées ou expulsées de leur dispositif de fixation par application d'une charge statique dans le sens de P. (Les essais n'ont pas tenu compte de la plage de précision garantie.)

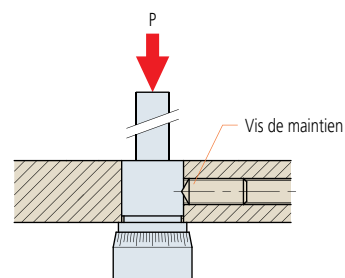
(1) Écrou de fixation



(2) Noix de serrage



(3) Vis de maintien



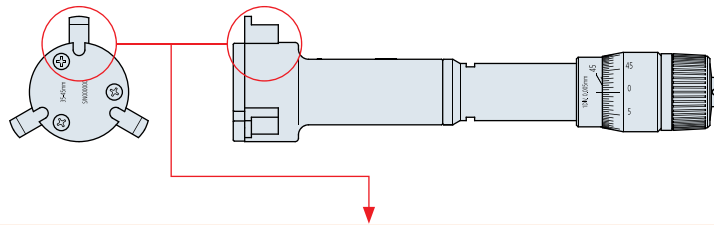
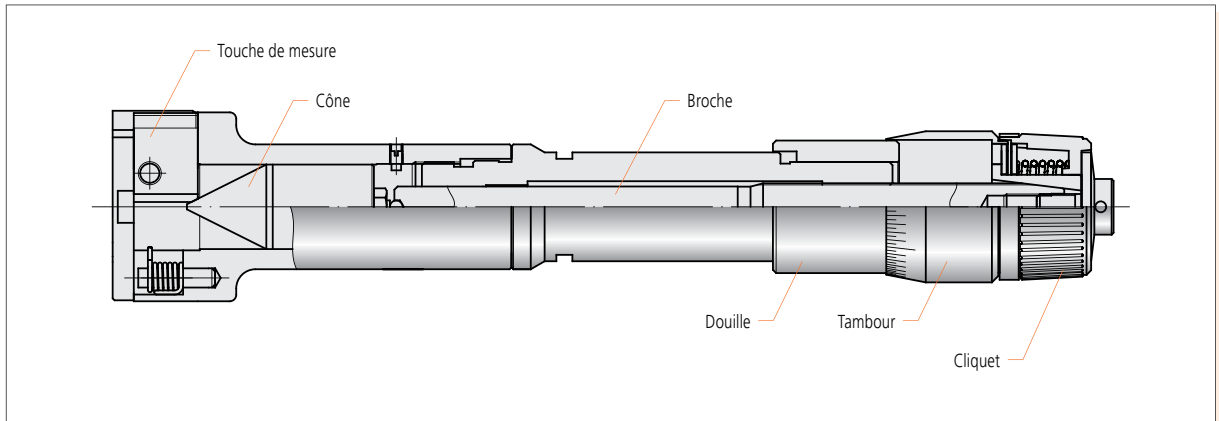
Méthode de montage	Charge d'endommagement ou d'expulsion*
(1) Écrou de fixation	Endommagement de la butée de 8,63 à 9,8 kN (880 à 1 000 kgf).
(2) Noix de serrage	Expulsion de la butée du dispositif de blocage de 0,69 à 0,98 kN (70 à 100 kgf).
(3) Vis de maintien	Endommagement de la vis de maintien de 0,69 à 1,08 kN (70 à 110 kgf).

* Ces valeurs ne sont fournies qu'à titre indicatif.



Micromètres d'intérieur

Description des composants

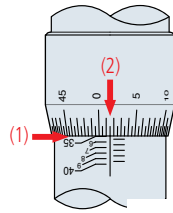


Caractéristique	Forme de la pièce (exemple)	Profil d'extrémité de la touche (exemple)	Remarque
Gorge droite		<p>Rayon R de la pointe pouvant mesurer le diamètre minimum (différent pour chaque taille)</p> <p>W = 1 ou plus</p>	<ul style="list-style-type: none"> Permet de mesurer le diamètre de différentes gorges et cannelures intérieures.
Gorge arrondie		<p>Rayon R de la pointe pouvant mesurer le diamètre minimum (différent pour chaque taille)</p> <p>W = 1 ou plus</p> <p>Rayon = 0,5 ou plus</p>	<ul style="list-style-type: none"> Le diamètre minimum mesurable de la gorge est d'environ 16 mm (en fonction de la forme de la pièce.) Valeurs de la cote ℓ : Si $W < 2 \text{ mm}$: $\ell < 2 \text{ mm}$ Si $W > 2 \text{ mm}$: $\ell = 2 \text{ mm}$ comme valeur standard modifiable selon les circonstances.
Cannelure		<p>W = 0,5 ou plus</p> <p>Rayon R de la pointe pouvant mesurer le diamètre minimum (différent pour chaque taille)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Le nombre de cannelures ou de dents doit être un multiple de 3. Les informations relatives à la forme de la pièce doivent être communiquées au moment de la commande de pièce sur mesure.
Dentelure		<p>45° ou plus</p> <p>R = 0,3 ou plus</p>	<ul style="list-style-type: none"> Si votre application nécessite une plage de mesure différente de celle d'un micromètre d'intérieur standard, l'éventuelle bague de réglage supplémentaire entraînera un surcoût
Taraudage			<ul style="list-style-type: none"> Permet de mesurer le diamètre réel d'un taraudage. La mesurabilité des taraudages est limitée par le type, les dimensions nominales et le pas du filet. Contactez Mitutoyo en mentionnant les caractéristiques du taraudage à mesurer pour obtenir les conseils utiles.

Lecture de la graduation

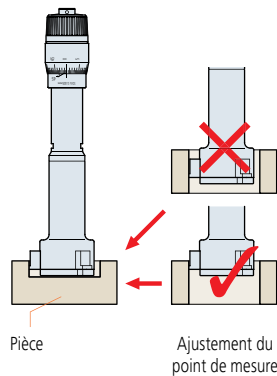
Graduation : 0,005 mm

(1) Douille	35,000 mm
(2) Tambour	0,015 mm
Lecture	35,015 mm



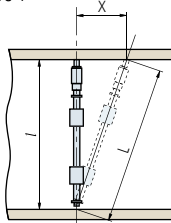
Écarts des valeurs mesurées entre différents points de mesure

Si vous utilisez un Holtest, la valeur mesurée diffère selon que vous mesurez en utilisant toute la surface de mesure ou uniquement le bout de la touche fixe, en raison du mécanisme de l'instrument. Avant d'effectuer une mesure, réglez le point d'origine dans les mêmes conditions que pour la mesure. Si vous souhaitez mesurer avec le bout de la touche fixe, réglez le point d'origine avec le bout de la touche fixe.



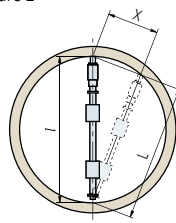
Erreurs d'alignement

> Figure 1



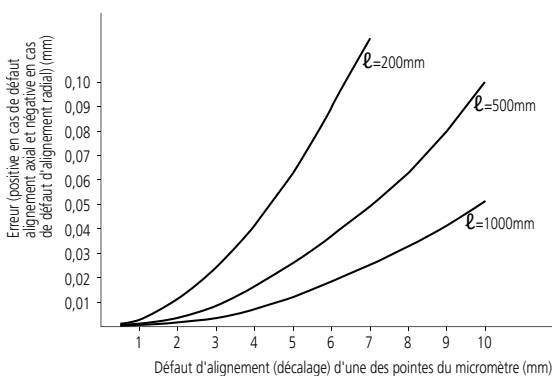
l : Diamètre intérieur à mesurer
 L : Distance mesurée avec un décalage axial = X
 X : Décalage axial
 Δl : Erreur de mesure
 Δl : $L-l = \sqrt{l^2 + X^2} - l$

> Figure 2



l : Diamètre intérieur à mesurer
 L : Distance mesurée avec un décalage radial = X
 X : Décalage radial
 Δl : Erreur de mesure
 Δl : $L-l = \sqrt{l^2 - X^2} - l$

Si le micromètre d'intérieur est mal aligné dans le sens axial ou radial d'une valeur X pendant la mesure, comme l'illustrent les figures 1 et 2, l'erreur de mesure aura une valeur correspondant à la courbe illustrée ci-dessous (obtenue à partir de la formule ci-dessus). L'erreur est positive en cas de défaut d'alignement axial et négative en cas de défaut d'alignement radial.

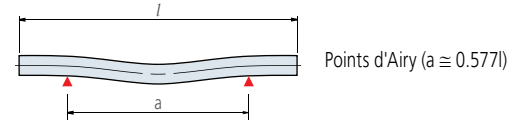


Erreur de mesure due à la variation de la température du micromètre

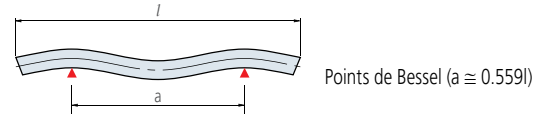
Le transfert de chaleur de l'opérateur au micromètre doit être réduit au minimum pour éviter toute erreur de mesure due à une différence de température entre la pièce et le micromètre. Si le micromètre est tenu directement à la main pendant la mesure, utilisez des gants ou tenez l'instrument par la partie isolante (si présente).

Points d'Airy et de Bessel

Quand une barre étalon ou un micromètre d'intérieur est placé(e) horizontalement sur deux points, la déformation entraînée par leur propre poids est fonction de l'espacement de ces deux points. Il existe deux valeurs d'espacement qui permettent de contrôler utilement cette déformation, comme l'illustrent les figures ci-dessous.



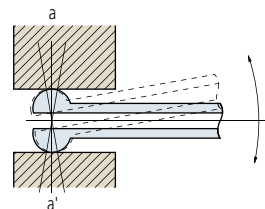
Les extrémités d'une barre étalon (ou d'un micromètre) peuvent être parfaitement alignées dans un plan horizontal en espaçant les deux supports symétriquement comme l'illustre la figure ci-dessus. Ces points sont connus sous le nom de « points d'Airy » et sont couramment utilisés pour s'assurer que les extrémités d'une barre étalon sont parallèles et que la longueur est parfaitement définie.



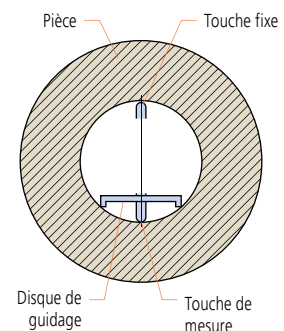
Les écarts de longueur d'une barre étalon (ou d'un micromètre) dus à la courbure peuvent être réduits en espaçant les supports symétriquement comme l'illustre la figure ci-dessus. Ces points sont connus sous le nom de « points de Bessel » et peuvent être utiles en cas d'utilisation d'un micromètre d'intérieur de grande longueur.

Vérificateurs d'alésage

Les vérificateurs d'alésage pour petits diamètres de Mitutoyo ont des éléments de contact à courbure large qui facilitent leur positionnement pour mesurer le diamètre réel (dans le sens a-a') d'un alésage. Le diamètre réel est la valeur minimum affichée sur le cadran du vérificateur d'alésage lorsque celui-ci est actionné dans le sens indiqué par les flèches.



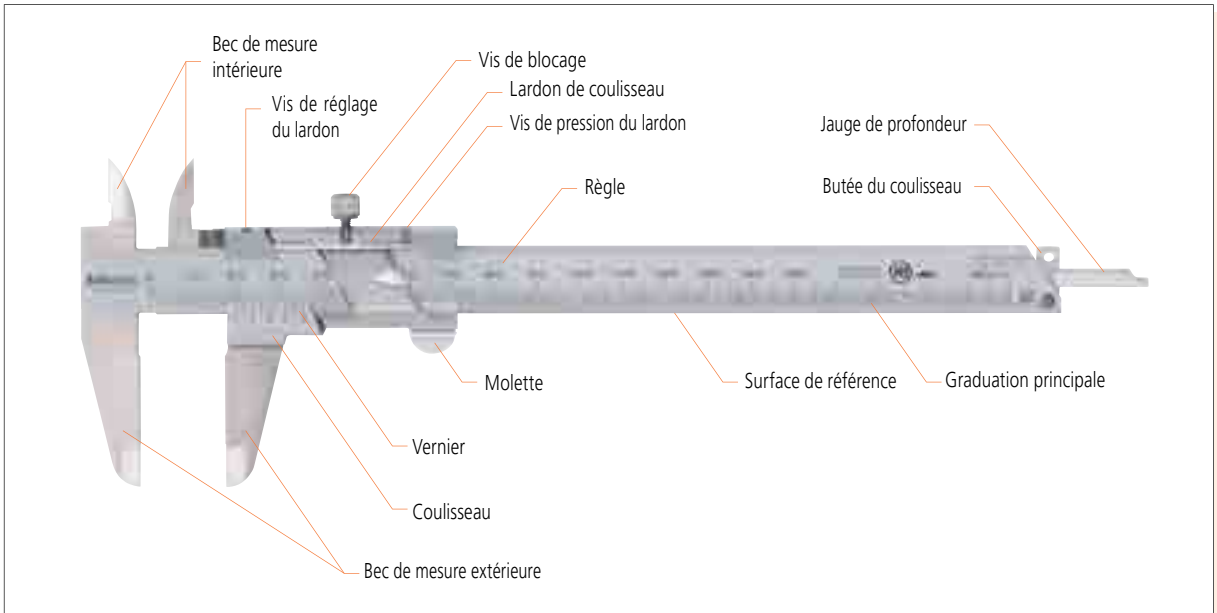
Le disque de guidage à ressort monté sur un vérificateur d'alésage à deux touches Mitutoyo garantit un alignement radial automatique du calibre de sorte qu'une oscillation axiale est suffisante pour lire la valeur minimum (diamètre réel).



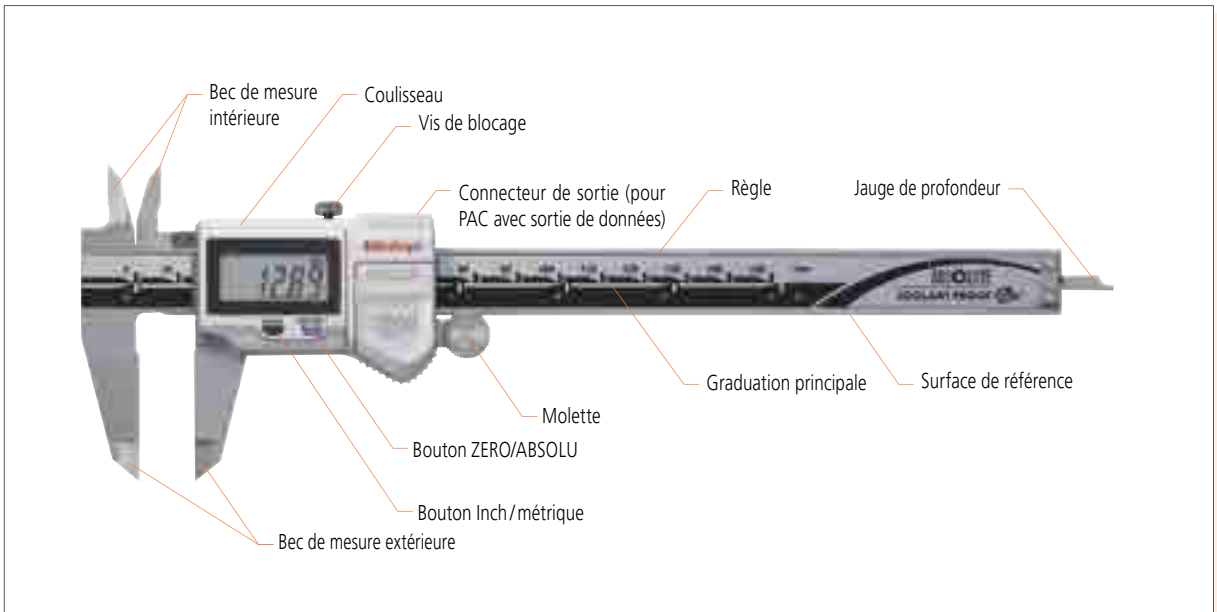
Pieds à coulisse

Description des composants

Pied à coulisse à vernier

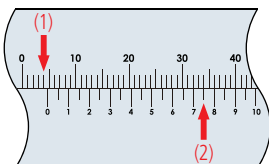


Pied à coulisse Digimatic Absolute



Comment lire les graduations

Pieds à coulisse à vernier

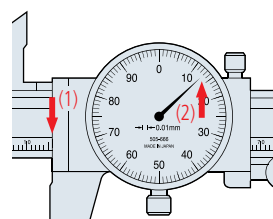


Graduation : 0,05 mm

- (1) Lecture de la graduation principale 4,00 mm
 - (2) Lecture du vernier 0,75 mm
- Lecture du pied à coulisse 4,75 mm

Remarque : la valeur de 0,75 mm ci-dessus à gauche (2) correspond à la coïncidence entre une graduation de la règle principale et une graduation du vernier.

Pieds à coulisse à montre



Graduation : 0.01 mm

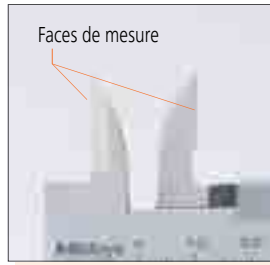
- (1) Lecture de la graduation principale 16,00 mm
 - (2) Lecture du vernier 0,13 mm
- Lecture du pied à coulisse 16,13 mm

Exemples de mesures

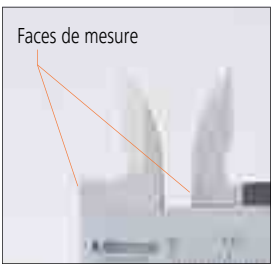
Mesure extérieure



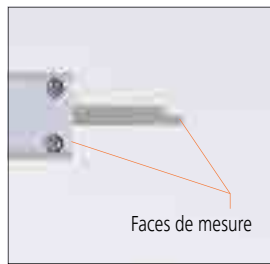
Mesure intérieure



Mesures d'épaulement

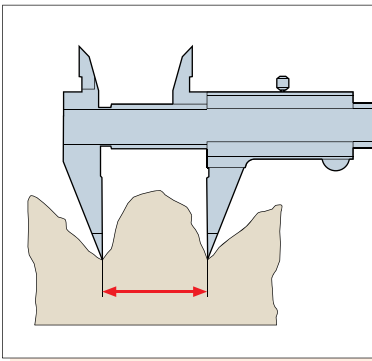


Mesures de profondeur



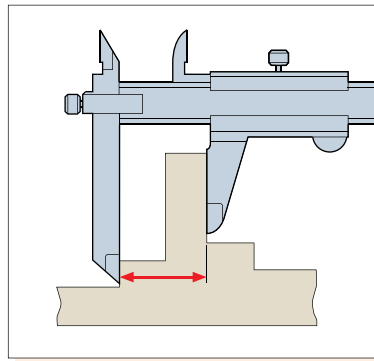
Pieds à coulisse spéciaux

Pied à coulisse à becs pointus



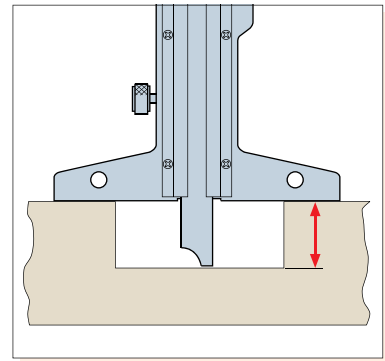
> Pour la mesure des surfaces irrégulières.

Pied à coulisse à becs décalés



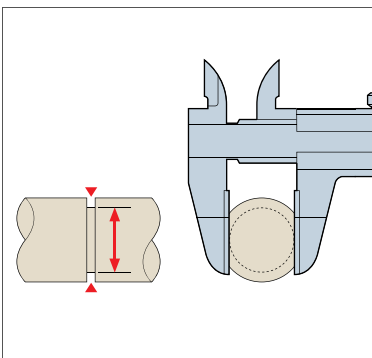
> Pour la mesure des pièces à épaulements.

Jauge de profondeur



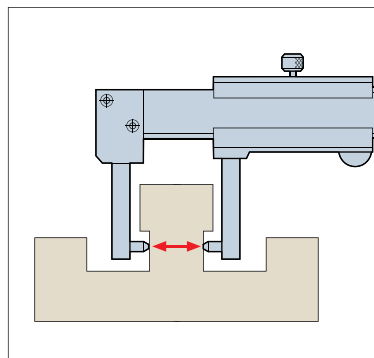
> Pour la mesure de la profondeur.

Pied à coulisse à becs fins



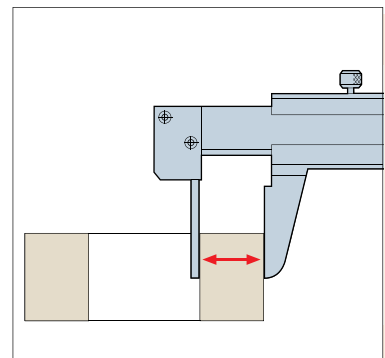
> Pour la mesure du diamètre des gorges étroites.

Pied à coulisse à pointes de mesure intérieures.



> Pour la mesure du diamètre extérieur comme l'épaisseur d'un axe à épaulement.

Pied à coulisse pour la mesure de l'épaisseur des tubes



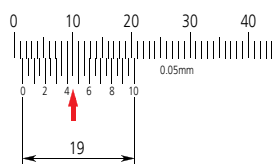
> Pour la mesure de l'épaisseur des tubes.

Pieds à coulisse

Types de graduations de vernier

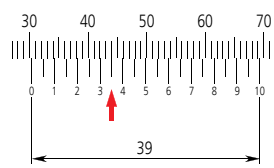
Le vernier est fixé au coulisseau du pied à coulisse et chaque division de cette graduation est plus petite de 0,05 mm que les divisions de 1 mm de la règle principale. Ceci signifie que, lorsque le bec du pied à coulisse est ouvert, chaque déplacement de 0,05 mm amène la ligne de graduation suivante du vernier en correspondance avec une ligne de la graduation principale pour indiquer le nombre de tranches de 0,05 mm à ajouter (même si par commodité, la graduation est numérotée en fractions de mm). Une solution alternative consiste à graduer le vernier de divisions deux fois plus grandes que celles de la règle principale pour réaliser un vernier de grande longueur. Ceci facilite la lecture des règles mais le principe et la graduation restent les mêmes.

> Vernier standard (graduation 0,05 mm)



Lecture 1,45 mm

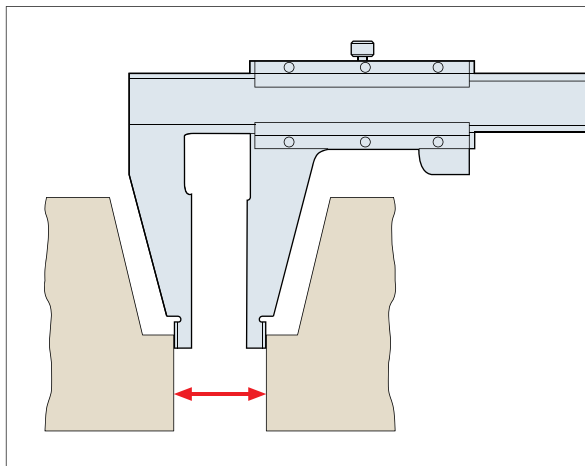
> Vernier de grande longueur (graduation 0,05 mm)



Lecture 30,35 mm

À propos des pieds à coulisse de grande longueur

Les règles en acier sont couramment utilisées pour effectuer des mesures approchées des pièces de grande dimension, mais lorsqu'une précision supérieure est nécessaire, un pied à coulisse de grande longueur peut s'avérer nécessaire. Si un pied à coulisse de grande longueur est très pratique en raison de sa facilité d'utilisation, il exige de prendre certaines précautions. En premier lieu, il est important de se rappeler qu'il n'y a pas de relation directe entre résolution et précision. Pour plus de détails, consultez les valeurs indiquées dans notre catalogue. Si la résolution est constante, la précision atteinte varie quant à elle considérablement en fonction de l'utilisation du pied à coulisse. La méthode de mesure avec cet instrument est un point important car la déformation de la règle principale entraîne des erreurs de mesure importantes et la précision varie considérablement en fonction de la méthode utilisée pour tenir le pied à coulisse. Aussi, l'opérateur veillera à ne pas exercer une force excessive sur les touches de mesure extérieure quand celles-ci sont éloignées de la règle principale car c'est dans cette situation que l'erreur est maximale. Cette précaution est également nécessaire en cas d'utilisation des pointes de mesure extérieure d'un pied à coulisse à bords longs.



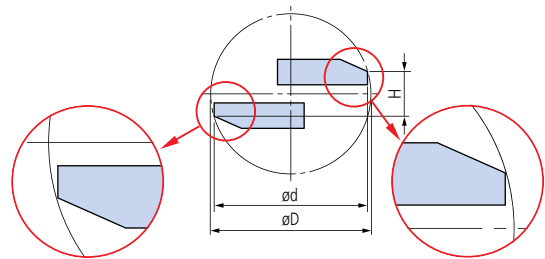
Mesure des petits alésages avec un pied à coulisse de type standard

Une erreur structurelle «d» se produit lorsque vous mesurez le diamètre intérieur d'un petit alésage.

$\varnothing D$ = Diamètre intérieur réel
 $\varnothing d$ = Diamètre intérieur indiqué
 Δd = Erreur de mesure ($\varnothing D - \varnothing d$)

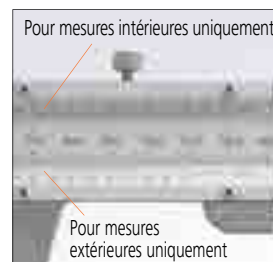
Diamètre intérieur réel $\varnothing D = 5$ mm

H	0,3	0,5	0,7
Δd	0,009	0,026	0,047



Mesure intérieure avec un pied à coulisse d'atelier

Les touches de mesure intérieure d'un pied à coulisse d'atelier étant les bouts des becs, le parallélisme des touches de mesure est particulièrement influencé par la force de mesure. Cette influence est un facteur important pour la précision de la mesure. Contrairement à un pied à coulisse standard, un pied à coulisse d'atelier ne peut pas mesurer de très petits diamètres d'alésage parce qu'il est limité par la dimension des becs épaulés. Cet inconvénient est toutefois plutôt rare car il est inhabituel de mesurer de très petits alésages avec ce type de pied à coulisse. Bien entendu, le rayon de courbure des touches de mesure intérieure est toujours suffisamment petit pour permettre une mesure correcte du diamètre des alésages jusqu'à la limite inférieure (fermeture du bec). Les pieds à coulisse d'atelier de Mitutoyo sont équipés d'une règle supplémentaire sur le coulisseau destinée aux mesures intérieures et qui peut être lue directement sans calcul. Cette caractéristique élimine tout risque d'erreur liée à l'ajout de la valeur représentant l'épaisseur du bec intérieur comme c'est le cas avec les pieds à coulisse à règle unique.

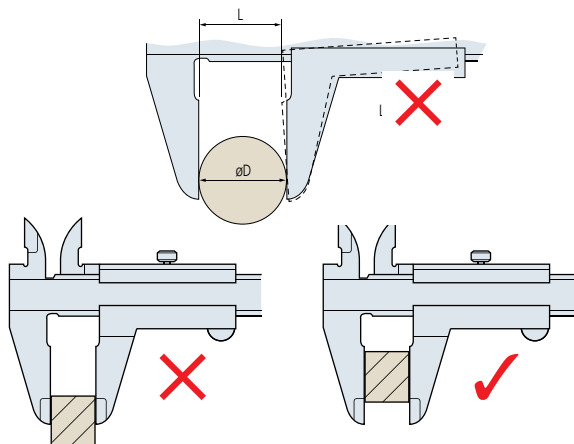


Remarques générales concernant l'utilisation d'un pied à coulisse

1. Causes d'erreurs potentielles

Différents facteurs peuvent être sources d'erreurs pendant une mesure avec un pied à coulisse. Les principaux facteurs sont les erreurs de parallaxes, une force de mesure excessive due au fait que le pied à coulisse n'est pas utilisé en tenant compte du principe d'Abbe, une dilatation thermique due à une différence de température entre le pied à coulisse et la pièce, et les effets de l'épaisseur des becs à lame ou du jeu entre les becs pendant la mesure du diamètre d'un petit alésage. Bien qu'il existe d'autres facteurs d'erreurs comme la précision de la graduation, la rectitude du bord de référence, la planéité de la règle principale et la perpendicularité des becs, ces facteurs sont pris en compte dans les valeurs

de tolérances de l'instrument. Ils ne posent par conséquent aucun problème tant que le pied à coulisse est conforme aux tolérances d'erreur instrumentale. Des remarques concernant l'utilisation du pied à coulisse ont été ajoutées à la norme JIS pour que les utilisateurs puissent évaluer les facteurs d'erreur liés à la structure du pied à coulisse avant son utilisation. Ces remarques ont trait à la force de mesure et précisent que « si le pied à coulisse n'est pas équipé d'un dispositif de stabilisation de la force de mesure, la pièce doit être mesurée en appliquant une force de mesure uniforme. Agissez avec la plus grande attention lorsque vous mesurez la pièce avec la base ou la pointe du bec car des erreurs de mesure importantes sont possibles dans de telles circonstances. »



2. Mesure intérieure

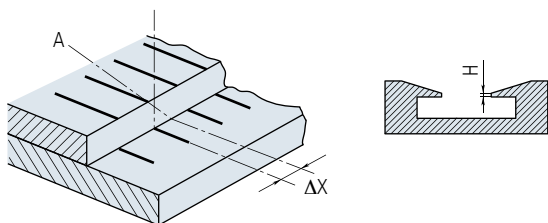
- Insérez le bec intérieur aussi loin que possible avant de mesurer.
- Lisez la valeur maximale indiquée en cas de mesure intérieure.
- Lisez la valeur minimale indiquée en cas de mesure de la largeur d'une gorge.

3. Mesure de profondeur

Lisez la valeur minimale indiquée en cas de mesure de profondeur.

4. Erreur de parallaxe lors de la lecture des règles

Observez les graduations du vernier selon une perspective directe pour vérifier si une graduation du vernier coïncide avec une graduation de la règle principale. Si vous observez les graduations du vernier selon une perspective oblique (A), la position d'alignement est décalée de ΔX , comme le montre la figure ci-dessous, suite à un effet de parallaxe dû à la hauteur (H) de l'épaulement entre le plan du vernier et celui de la règle principale, entraînant une erreur de lecture de la valeur mesurée. Pour éviter cela, la JIS précise que la hauteur de l'épaulement ne doit pas dépasser 0,3 mm.

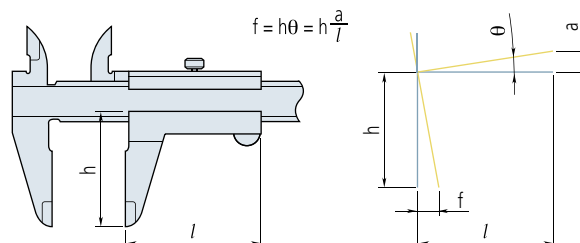


5. Relation entre mesure et température

La règle principale du pied à coulisse est gravée (ou montée) sur de l'acier inoxydable dont le coefficient de dilatation thermique est égal à celui du matériau usiné le plus courant, l'acier, soit $(10,2 \pm 1) \times 10^{-6}/K$. Il convient de rappeler que l'utilisation d'un matériau différent, la température ambiante et la température de la pièce peuvent altérer la précision de la mesure.

6. Erreur de parallélisme du bec mobile

Si le bec mobile n'est plus parallèle au bec fixe, suite à une force excessive appliquée au coulisseau ou à un défaut de rectitude du bord de référence de la règle, une erreur de mesure se produira, comme l'illustre la figure ci-dessous. Cette erreur peut être due en substance au fait que le pied à coulisse n'est pas conforme au principe d'Abbe.



Exemple : Supposons que l'erreur des becs due à un défaut de parallélisme du coulisseau soit de 0,01 mm à 50 mm et que les becs de mesure extérieure mesurent 40 mm de profondeur, l'erreur à la pointe des becs sera égale à $(40/50) \times 0,01 \text{ mm} = 0,008 \text{ mm}$. Si la surface de guidage est usée, l'erreur peut se produire même avec une force de mesure correcte.

7. Manipulation

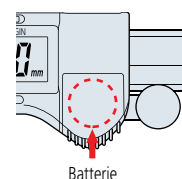
- Les becs du pied à coulisse sont aiguisés et l'instrument doit être manipulé avec précaution pour éviter de se blesser.
- Évitez d'endommager la règle d'un pied à coulisse numérique et ne marquez aucun numéro d'identification ou autres informations avec un stylo graveur électrique.
- Évitez d'endommager le pied à coulisse en l'exposant à des chocs contre des objets durs ou en le faisant tomber sur l'établi ou par terre.

8. Entretien des surfaces de coulissement de la règle et des surfaces de mesure

Essayez les surfaces de coulissement et les surfaces de mesure avec un chiffon doux et sec pour éliminer la poussière avant d'utiliser le pied à coulisse.

9. Vérification et réglage du point d'origine avant l'utilisation

Nettoyez les surfaces de mesure en enserrant un morceau de papier propre entre les becs de mesure extérieure et le retirant lentement. Fermez les becs et vérifiez que le vernier (ou l'afficheur) indique zéro avant d'utiliser le pied à coulisse. En cas d'utilisation d'un pied à coulisse Digimatic, réinitialisez le point d'origine (bouton ORIGIN) après avoir remplacé la pile



10. Opérations à effectuer après l'utilisation

- Après avoir utilisé le pied à coulisse, essuyez-le pour éliminer toute trace d'eau et d'huile. Appliquez une fine couche d'huile anticorrosion et laissez-le sécher avant de le ranger.
- Essayez également les pieds à coulisse étanches car ils peuvent également s'oxyder.

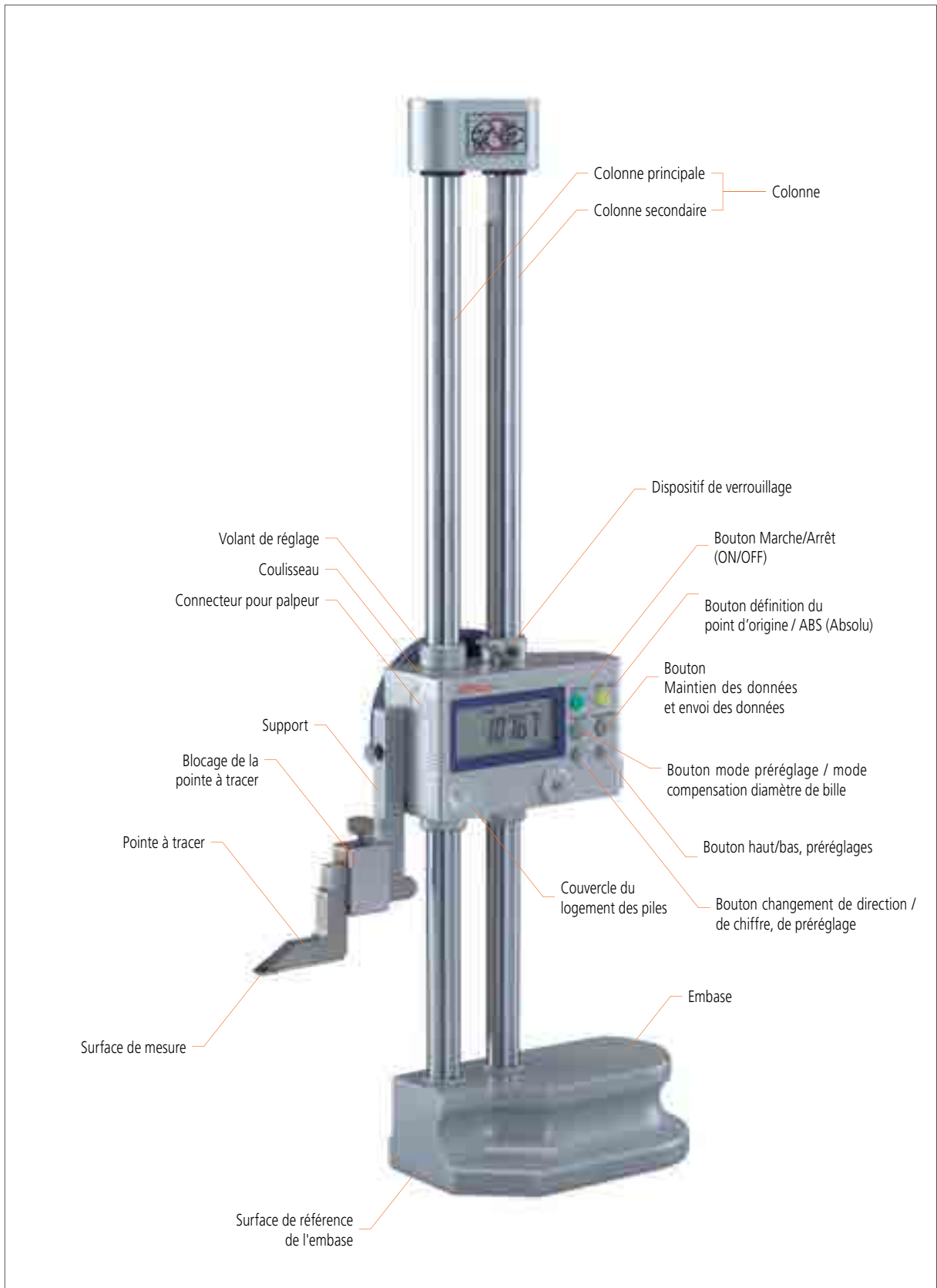
11. Remarques concernant le stockage

- Conservez le pied à coulisse à l'abri des rayons directs du soleil, des températures excessives et de l'humidité.
- Si un pied à coulisse numérique ne doit pas être utilisé pendant plus de trois mois, retirez la pile avant de le ranger.
- Ne laissez pas les becs du pied à coulisse complètement fermés pendant le stockage.

Trusquins

Description des composants

Trusquins Digimatic





> Sortie Digimatic

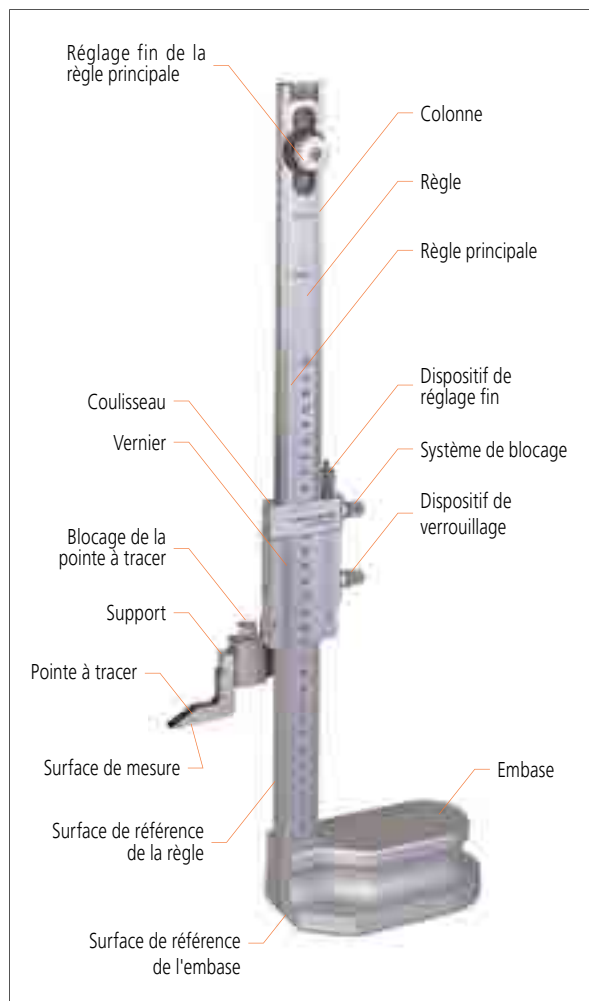


> Levier de blocage du coulisseau.

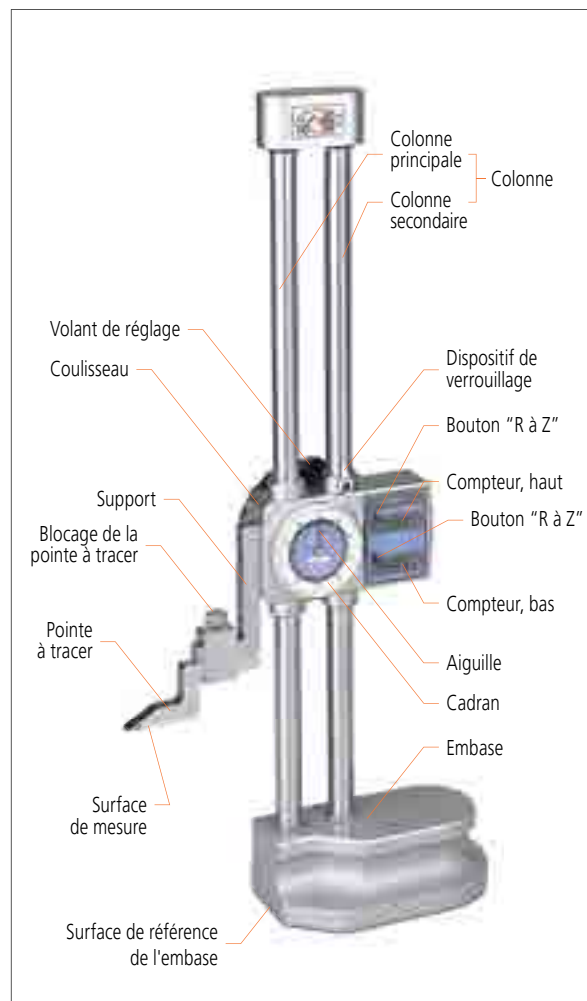


> Pignon actionné par une manivelle.

Trusquin à vernier



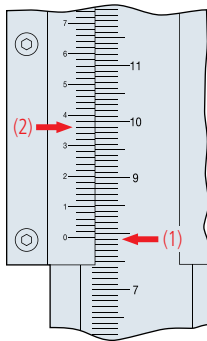
Trusquin à compteur mécanique



Trusquins

Lecture des mesures

Trusquin à vernier

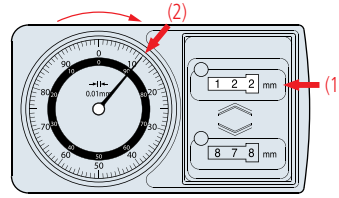
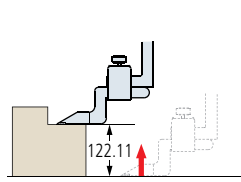


Graduation : 0,02 mm

(1) Graduation principale	79,00 mm
(2) Vernier	0,36 mm
Lecture	79,36 mm

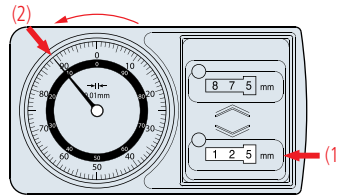
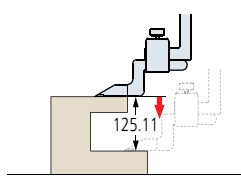
Trusquin à compteur mécanique

> Mesure vers le haut par rapport à une surface de référence.



(1) Compteur	122,00 mm
(2) Cadran	0,11 mm
Lecture	122,11 mm

> Mesure vers le bas par rapport à une surface de référence.



(1) Compteur	125,00 mm
(2) Cadran	0,11 mm
Lecture	125,11 mm

Remarques générales concernant l'utilisation des trusquins

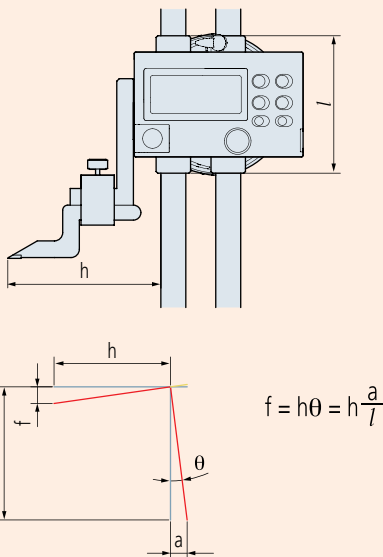
1. Causes d'erreurs potentielles

Comme pour un pied à coulisse, les facteurs d'erreurs de mesure possibles sont, entre autres, les erreurs de parallaxe, les erreurs dues à l'application d'une force de mesure excessive dérivant de l'utilisation d'un trusquin non conforme au principe d'Abbe, et la dilatation thermique due à une différence de température entre le trusquin et la pièce mesurée. Il existe d'autres facteurs d'erreurs liés à la structure du trusquin. En particulier, les facteurs d'erreurs liés à un bord de référence déformé et à une mauvaise installation de la pointe à tracer décrits ci-dessous doivent être pris en compte avant d'utiliser l'appareil.

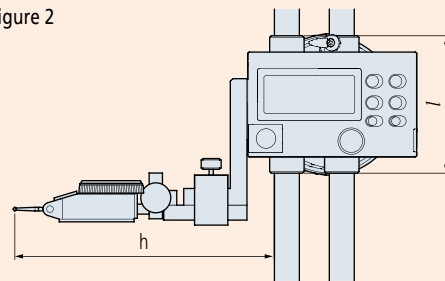
2. Déformation du bord de référence (colonne) et installation de la pointe à tracer

Comme pour le pied à coulisse et comme l'illustre la figure ci-dessous, des erreurs de mesure se produisent en cas de déformation, pendant la mesure, de la colonne de référence qui guide le coulisseau. Cette erreur peut être calculée avec la même formule que celle utilisée pour les erreurs dues à un non respect du principe d'Abbe. L'installation de la pointe à tracer (ou d'un comparateur à palpeur orientable) exige une attention particulière car elle influence l'ampleur des erreurs dérivant d'une déformation de la colonne de référence en augmentant la valeur de la variable h dans la formule ci-dessus. En d'autres termes, l'erreur de mesure sera plus grande en cas d'utilisation d'une pointe à tracer de grande longueur ou d'un comparateur à palpeur orientable.

> Figure 1



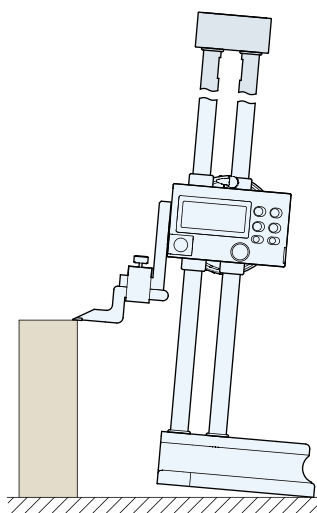
> Figure 2



Exemple : Impact de la position du point de mesure
 Quand $h = 150$ mm, l'erreur est 1,5 fois plus grande que quand $h = 100$ mm.

3. Soulèvement de l'embase par rapport au plan d'appui

Lors du réglage de la hauteur de la pointe à tracer par rapport à un empilage de cales parallèles ou la surface d'une pièce, l'embase peut se soulever et se désolidariser du plan d'appui si une force descendante excessive est appliquée sur le coulisseau, entraînant une erreur de mesure. Pour effectuer un réglage précis, déplacez le coulisseau délicatement vers le bas pour amener la pointe à tracer en contact avec la surface de la cale parallèle ou de la pièce à mesurer. Le réglage correct est obtenu quand la pointe à tracer touche légèrement la surface lors de son déplacement le long du bord de la surface. Il est également nécessaire de s'assurer que le plan d'appui et la surface de référence de l'embase du trusquin sont exempts de poussière et de bavures avant d'effectuer la mesure.



4. Erreur due à l'inclinaison de la règle principale (colonne)

Selon la norme JIS, la perpendicularité du bord de référence de la colonne par rapport à la surface de référence doit être meilleure que :

$$(0,01 + \frac{L}{1000}) \text{ mm} \quad L \text{ représente la longueur de mesure (unité : mm)}$$

Cette exigence n'est pas très contraignante. Selon cette formule, la limite de perpendicularité admissible est, par exemple, de 0,61 mm quand $L = 600$ mm. Ceci parce que ce facteur d'erreur a très peu d'influence et ne modifie pas l'inclinaison du coulisseau, contrairement à une colonne déformée.

5. Relation entre précision et température

Les trusquins sont constitués de différents matériaux. Il convient de rappeler qu'une pièce réalisée dans un matériau différent peut, en fonction de sa propre température et de la température ambiante, altérer la précision de la mesure si ces effets ne sont pas compensés par un calcul de correction.

6. L'extrémité de la pointe à tracer d'un trusquin est très aiguisée et doit être manipulée avec précaution pour éviter de se blesser.

7. Les opérations de gravure de numéros d'identification ou d'autres informations avec un stylo graveur électrique sont dommageables pour les trusquins numériques.

8. Manipulez le trusquin avec précaution pour éviter les risques de chutes et de chocs contre d'autres objets..

9. Maintenez la colonne de guidage du coulisseau en état de propreté. L'accumulation de poussière sur la colonne rend le coulissement difficile et entraîne des erreurs de réglage et de mesure.

10. Pendant le tracé, verrouillez le coulisseau en position à l'aide des dispositifs de blocage fournis. Il est conseillé de vérifier le réglage après le verrouillage de la pointe à tracer car, sur certains trusquins, cette opération peut modifier légèrement le réglage. Le cas échéant, une tolérance doit être appliquée pour compenser ce phénomène.

11. L'écart de parallélisme entre la surface de mesure de la pointe à tracer et la surface de référence de l'embase doit être de 0,01 mm maximum. Enlevez la poussière et ébavurez les surfaces de contact des dispositifs de fixation lors de l'installation d'une pointe à tracer ou d'un comparateur à palpeur orientable avant de procéder à une mesure. La pointe à tracer et les autres composants doivent être maintenus en position pendant la mesure.

12. Si la règle principale du trusquin est mobile, déplacez-la de la distance nécessaire pour définir le point d'origine et serrez les écrous de fixation.

13. Les erreurs de parallaxe ne sont pas négligeables. Lorsque vous lisez une valeur, regardez toujours les graduations selon une perspective directe.

14. Opérations à effectuer après l'utilisation :

Essayez l'instrument pour éliminer toute trace d'eau et d'huile.

Appliquez une légère couche d'huile anticorrosion et laissez sécher avant de ranger l'instrument.

15. Remarques concernant le stockage :

- Conservez le trusquin à l'abri des rayons directs du soleil, des températures excessives et de l'humidité.
- Si un trusquin numérique ne doit pas être utilisé pendant plus de trois mois, retirez la pile avant de le ranger.
- Si vous disposez d'une housse de protection, utilisez-la pour le stockage afin d'éviter le dépôt de poussière sur la colonne.

Cales parallèles

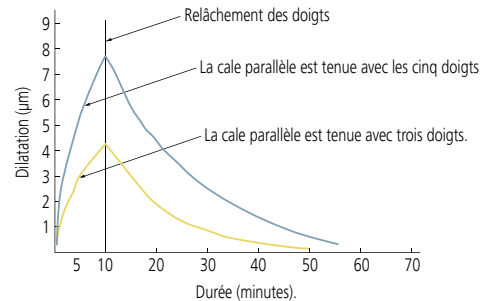
Definition du mètre

La 17^{ème} conférence générale sur les poids et mesures, qui s'est tenue en 1983, a établi une nouvelle définition du mètre selon laquelle un mètre correspond à la distance parcourue par la lumière dans le vide pendant une durée de 1/299 792 458 seconde. Les cales parallèles sont la réalisation matérielle de cette unité et, en tant que telles, sont utilisées largement dans tous les secteurs de l'industrie.

m

Temps de stabilisation thermique

La figure ci-dessous indique l'ampleur de l'écart dimensionnel induit par la manipulation d'une cale étalon parallèle de 100 mm avec les mains.



Sélection, préparation et constitution d'un empilage de cales

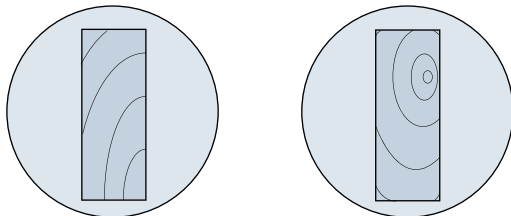
Sélectionnez les cales étalons à empiler pour obtenir la dimension finale.

- Lors de la sélection des cales étalons, veuillez tenir compte des considérations suivantes.
 - Utilisez le moins de cales possible.
 - Sélectionnez autant que possible des cales épaisses.
 - Commencez par sélectionner la cale correspondant au chiffre le plus à droite de la valeur à obtenir et procédez à rebours vers le chiffre situé le plus à gauche.
- Nettoyez les cales parallèles avec un produit approprié.
- Vérifiez que les faces de mesure sont exemptes de bavures à l'aide d'un verre plan :
 - Essuyez correctement chaque face de mesure.
 - Placez le verre plan sur la face de mesure de la cale parallèle.
 - Faites glisser délicatement le verre plan jusqu'à ce que des franges d'interférence apparaissent.

Appréciation 1 : Si aucune frange d'interférence n'apparaît, la présence sur la face de mesure d'une grande bavure ou contaminant est probable.
 - Appuyez légèrement sur le verre plan pour vous assurer que les franges d'interférence disparaissent.

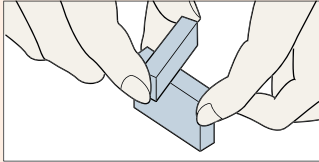
Appréciation 2 : Si les franges d'interférence disparaissent, il n'y a pas de bavure sur la face de mesure.

Appréciation 3 : Si des franges d'interférence persistent localement pendant que le verre plan est déplacé en légers va-et-vient sur la face de mesure, cela signifie qu'il y a une bavure sur le verre plan.
 - Éliminez les éventuelles bavures de la face de mesure en utilisant une pierre plate abrasive à grain fin.
- Appliquez une très fine couche d'huile sur la face mesure et répartissez-la uniformément sur toute la surface. (Essuyez ensuite la surface jusqu'à enlever pratiquement tout le film d'huile). Les produits les plus couramment utilisés sont la graisse, l'huile à broches, la vaseline, etc.

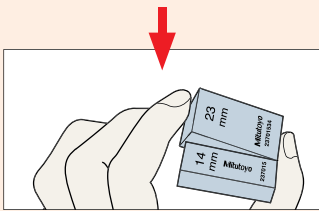


5. Superposez délicatement les faces des cales parallèles à assembler. Trois méthodes d'assemblage sont possibles (les méthodes a, b et c illustrées ci-dessous) en fonction de la taille des cales à assembler :

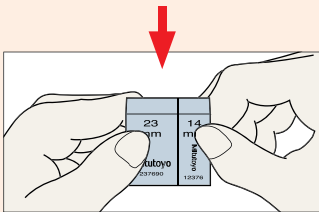
i) Assemblage de cales parallèles épaisses



Superposez les cales parallèles en entrecroisant les faces de mesure à 90°.

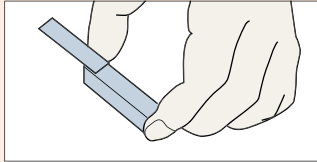


Faites pivoter une cale sur l'autre en exerçant une légère pression. Vous devez sentir les cales adhérer entre elles.

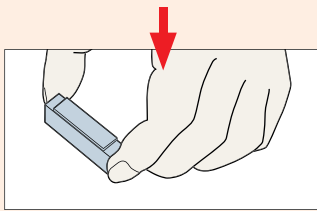


Faites pivoter les cales jusqu'à ce que les faces soient parfaitement alignées.

ii) Assemblage d'une cale mince avec une cale épaisse

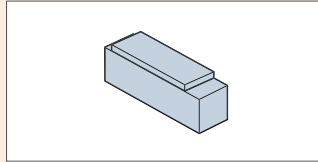


Superposez un bord de la cale mince sur un bord de la cale épaisse.

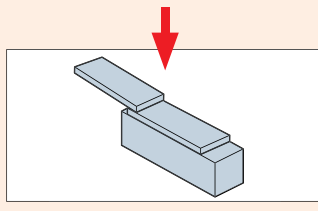


Faites glisser la cale mince sur toute la surface en appuyant légèrement jusqu'à ce que les faces de mesure soient alignées.

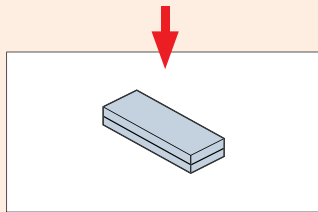
iii) Assemblage de deux cales minces



Pour éviter tout risque de courbure, alignez d'abord une des cales minces sur une cale épaisse.

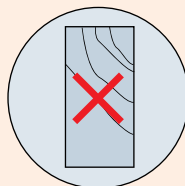
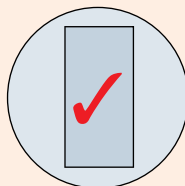


Assemblez ensuite la seconde cale mince à la première cale mince.

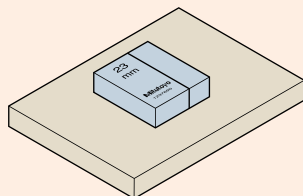


Enfin, retirez la cale épaisse de l'empilage.

Appliquez un verre plan sur la surface d'une cale mince pour vérifier l'état d'adhérence.



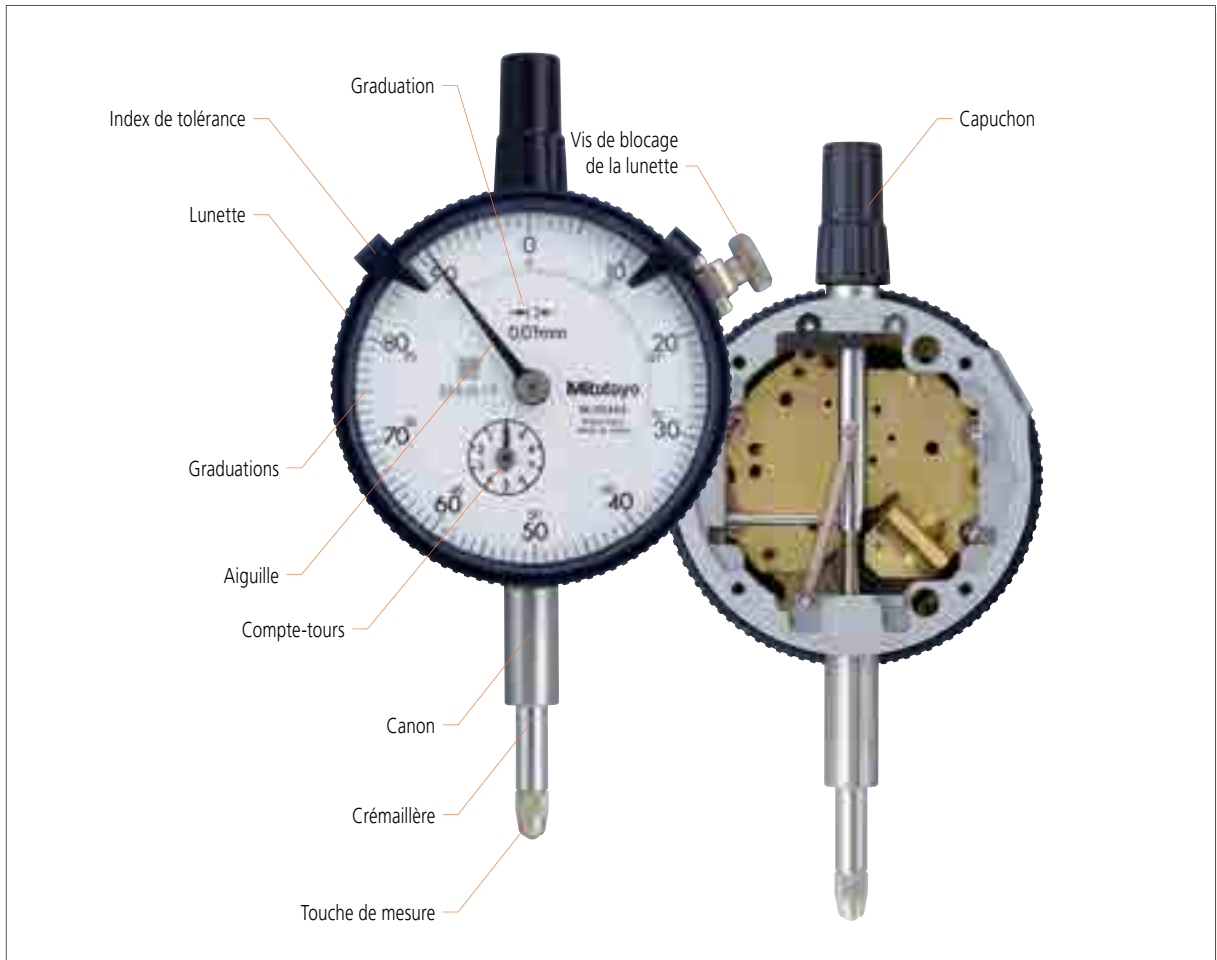
Franges d'interférence irrégulières



Essuyez la face de mesure exposée et poursuivez la constitution de l'empilage en procédant comme décrit ci-dessus jusqu'à obtenir la valeur finale.

Comparteurs à cadran et comparteurs numériques

Description des composants



Types de cadrans

Les comparteurs à cadran conçus pour des mesures de dimensions comparables avec la plage d'un micromètre sont généralement équipés de cadrans continus multi-tours à graduation dans le sens horaire. Certains possèdent un cadran à graduation bidirectionnelle permettant une mesure dans le sens inverse. Les cadrans à lecture uniquement inversée s'utilisent sur les jauges de profondeur et vérificateurs d'alésages. Les instruments destinés aux mesures comparatives sont dotés d'un cadran symétrique dont la graduation augmente dans les deux sens à partir du zéro central, permettant la lecture d'écarts faibles par rapport à une surface de référence. Ce cadran peut être limité à un seul tour pour éviter les erreurs de lecture.

0,01 mm



> Cadran continu
(Graduation bidirectionnelle)



> Cadran symétrique
(Multi-tours)

0,001 mm



> Cadran partagé
(Graduation bidirectionnelle)



> Cadran symétrique
(Multi-tours)



> Cadran continu (Lecture inversée)



> Cadran symétrique
(Un seul tour)



> Cadran continu
(Graduation bidirectionnelle)



> Cadran symétrique
(Multi-tours)

Norme B7503: 2011 relative aux comparateurs à cadran (Extrait de la norme JIS/Normes industrielles japonaises)

Erreur maximale admissible

Erreur maximum admissible (EMA) pour chaque caractéristique de mesure – comparateurs à cadran avec un diamètre de lunette supérieur ou égal à 50mm												
Graduation (mm)	0,01								0,005	0,001		
Plage de mesure (mm)	1 ou moins	Plus de 1 à 3	Plus de 3 à 5	Plus de 5 à 10	Plus de 10 à 20	Plus de 20 à 30	Plus de 30 à 50	Plus de 50 à 100	5 ou moins	1 ou moins	Plus de 1 à 2	Plus de 2 à 5
Erreur de retour	3	3	3	3	5	7	8	9	3	2	2	3
Répétabilité	3	3	3	3	4	5	5	5	3	0,5	0,5	1
1/10 de tour arbitraire	5	5	5	5	8	10	10	12	5	2	2	3,5
1/2 tour arbitraire	8	8	9	9	10	12	12	17	9	3,5	4	5
Un tour arbitraire	8	9	10	10	15	15	15	20	10	4	5	6
Erreur d'indication Totalité de la plage de mesure	8	10	12	15	25	30	40	50	12	5	7	10

L'EMA des comparateurs à cadran à un seul tour ne définit aucune erreur maximum d'indication sur 1/2 tour et 1 tour.

Erreur maximum admissible (EMA) pour chaque caractéristique de mesure – comparateurs à cadran avec un diamètre de lunette inférieur ou égal à 50mm et comparateurs à cadran horizontaux							
Graduation (mm)	0,01				0,005	0,002	0,001
Plage de mesure (mm)	1 ou moins	Plus de 1 à 3	Plus de 3 à 5	Plus de 5 à 10	5 ou moins	1 ou moins	1 ou moins
Erreur de retour	4	4	4	5	3,5	2,5	2
Répétabilité	3	3	3	3	3	1	1
1/10 de tour arbitraire	8	8	8	9	6	2,5	2,5
1/2 tour arbitraire	11	11	12	12	9	4,5	4
Un tour arbitraire	12	12	14	14	10	5	4,5
Erreur d'indication Totalité de la plage de mesure	15	16	18	20	12	6	5

L'EMA des comparateurs à cadran à un seul tour ne définit aucune erreur maximum d'indication sur 1/2 tour et 1 tour.

Remarque : Les valeurs indiquées dans le tableau ont été relevées à une température de 20°C, température prévue par la norme JIS B0680.
Les caractéristiques de mesure d'un comparateur à cadran doivent respecter à la fois l'erreur maximale admissible (EMA) et les limites de force de mesure admissible (LMA) sur tous les points de la plage de mesure et dans toutes les positions si les caractéristiques de mesure ne sont pas spécifiées par le fabricant.

Montage du comparateur

Méthode	Exemple	Remarque
Fixation directe du canon avec une vis		<ul style="list-style-type: none"> Tolérance de l'alésage : $\varnothing 8G7 (+0,005 \text{ à } 0,02)$ Vis de fixation : M4 à M6μ Position : 8 mm minimum du bord inférieur du canon Couple de serrage maximum : 150N/cm pour une vis de fixation M5 Un couple de serrage excessif peut altérer le mouvement de la broche.
Fixation du canon dans une noix de serrage		<ul style="list-style-type: none"> Tolérance de l'alésage : $\varnothing 8G7 (+0,005 \text{ à } 0,02)$
Avec la patte de fixation		<ul style="list-style-type: none"> La patte de fixation peut pivoter de 90° en fonction de l'application. (La patte est placée à la verticale lors de la production.) La patte de certains modèles de la série 1 (N° 1911, 1913-10&1003), ne peut pas pivoter à l'horizontale. Pour éviter toute erreur due à un effet cosinus, vérifiez que la broche du comparateur est correctement alignée dans la direction souhaitée.

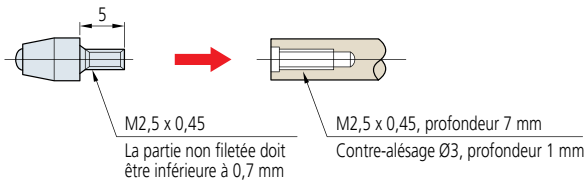
Entretien de la crémaillère

- Ne lubrifiez pas la crémaillère afin d'éviter les phénomènes d'accumulation de poussière risquant de compromettre le bon fonctionnement du comparateur.
- Si le mouvement de la crémaillère n'est pas satisfaisant, essayez les surfaces supérieure et inférieure avec un chiffon sec ou légèrement imbibé d'alcool. Si le mouvement ne s'améliore pas après le nettoyage, contactez Mitutoyo en vue d'une réparation.
- Avant d'effectuer une mesure ou un étalonnage, vérifiez que la broche se déplace sans à-coup, et vérifiez la stabilité du point zéro.

Comparateurs à cadran et comparateurs numériques

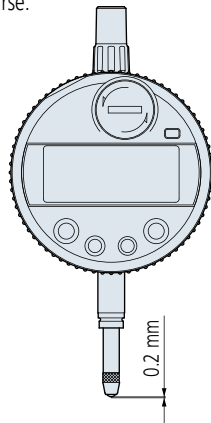
Touche de mesure

Pas de vis standard de M2,5 x 0,45 (Longueur : 5 mm). La partie non filetée située à la base de la vis doit être inférieure à 0,7 mm lors de la fabrication de la touche de mesure.



Définition du point zéro du comparateur

Le respect des spécifications à moins de 0,2 mm de la fin de course de la broche n'est pas garanti pour les comparateurs numériques. Lors de la définition du point zéro ou de la programmation d'une valeur spécifique, veillez à soulever la broche de 0,2 mm minimum par rapport à la fin de course.



Effet de l'orientation sur la force de mesure

Position	Exemple	Remarque
Touche de mesure vers le bas (position normale)		—
Broche horizontale (position latérale)		En cas de mesure avec une crémaillère en position horizontale ou orientée vers le haut, la force de mesure est plus faible que lorsque la touche de mesure est orientée vers le bas. Dans ce cas, vérifiez le fonctionnement et la répétabilité du comparateur à cadran ou à affichage numérique. Pour obtenir un fonctionnement conforme aux spécifications en fonction de la position du comparateur, consultez les descriptions fournies dans la documentation technique.
Touche de mesure vers le haut (position inversée)		En cas de mesure avec une crémaillère en position horizontale ou orientée vers le haut, la force de mesure est plus faible que lorsque la touche de mesure est orientée vers le bas. Dans ce cas, vérifiez le fonctionnement et la répétabilité du comparateur à cadran ou à affichage numérique. Pour obtenir un fonctionnement conforme aux spécifications en fonction de la position du comparateur, consultez les descriptions fournies dans la documentation technique.

Norme B7533-1990 relative aux comparateurs à palpeur orientable (Extrait de la norme JIS/Normes industrielles japonaises)

Précision d'indication

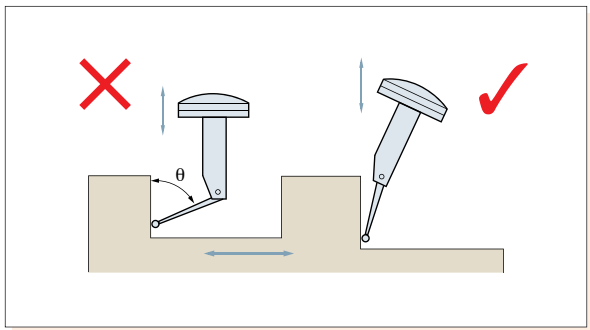
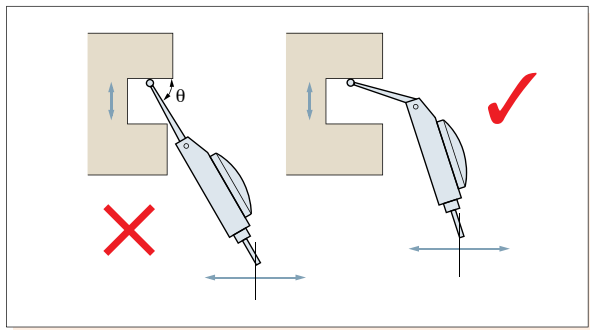
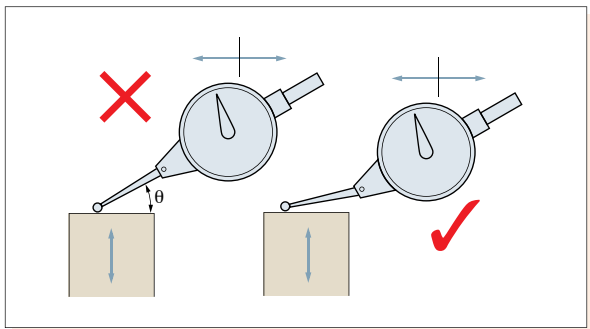
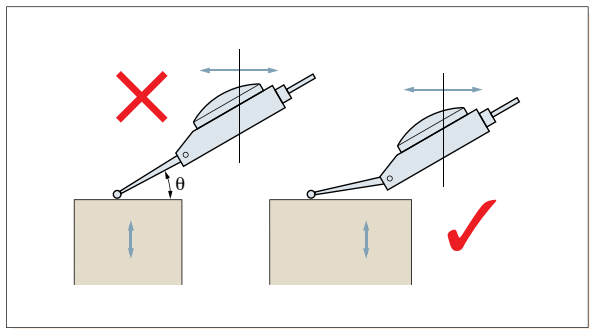
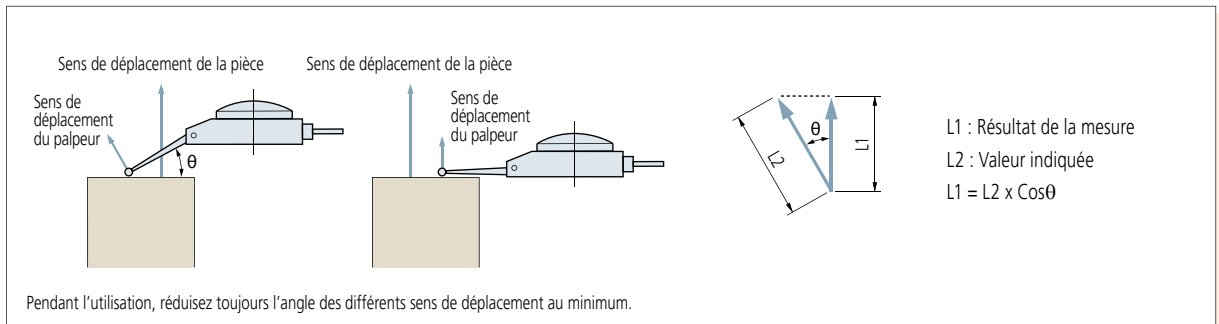
Le tableau ci-dessous récapitule les erreurs d'indication admissibles pour les comparateurs à palpeur orientable.

Graduation (mm)	Plage de mesure (mm)	Précision en gamme large	Erreur adjacente	Répétabilité	Erreur de retour
0,01	0,5	5	5	3	3
	0,8	8			4*
	1,0	10			
0,002	0,2	3	2	1	2
	0,28				

* S'applique aux comparateurs dont le palpeur mesure plus de 35 mm de long.
Remarque : Les valeurs du tableau correspondent à une température de 20°C.

Comparateurs à palpeur orientable et effet cosinus

Le comparateur n'affichera pas une valeur de mesure correcte si le sens de la mesure est désaxé par rapport au sens de mesure théorique (effet cosinus). Le sens de mesure d'un comparateur à palpeur orientable étant perpendiculaire à la droite passant par la touche et le pivot du palpeur, cet effet peut être atténué en réglant le palpeur de manière à réduire au minimum l'angle θ (comme l'illustrent les figures). Si nécessaire, la valeur indiquée par le comparateur peut être corrigée pour les 6 angles indiqués dans le tableau ci-dessous par une valeur de compensation afin d'obtenir le résultat de la mesure. Résultat de la mesure = valeur indiquée x valeur de compensation



Compensation en cas d'angle différent de zéro

Exemples

Si le comparateur indique une valeur de 0,200 mm pour différentes valeurs de θ , les résultats obtenus après compensation sont les suivants :

Angle	Valeur de compensation
10°	0,98
20°	0,94
30°	0,86
40°	0,76
50°	0,64
60°	0,50

Pour $\theta = 10^\circ$,
 $0,200 \text{ mm} \times 0,98 = 0,196 \text{ mm}$
 Pour $\theta = 20^\circ$,
 $0,200 \text{ mm} \times 0,94 = 0,188 \text{ mm}$
 Pour $\theta = 30^\circ$,
 $0,200 \text{ mm} \times 0,86 = 0,172 \text{ mm}$

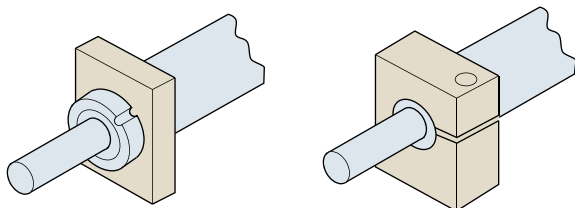
Remarque : Une touche spéciale en forme de développante peut être utilisée pour appliquer une compensation automatique et pouvoir mesurer sans compensation manuelle n'importe quel angle θ de 0 à 30°. (Ce type de touche est réalisé sur mesure.)



Capteurs de déplacement linéaires

Canon lisse ou à écrou de fixation

Le canon utilisé pour immobiliser la tête d'un capteur de déplacement linéaire peut être de type « lisse » ou « à écrou de fixation », comme l'illustre la figure ci-dessous. Le canon à écrou de blocage permet une fixation rapide et solide de la tête du capteur de déplacement linéaire. Le canon lisse a l'avantage de pouvoir être utilisé dans un champ plus large d'applications et de permettre un léger réglage axial de la position lors de l'installation définitive, en outre, il n'exige aucun système de fixation mécanique ou adhésive supplémentaire. Veillez toutefois à ne pas exercer une force excessive sur le canon.



> Tige avec écrou de blocage

> Tige lisse

Indice de protection contre l'intrusion de corps solides et liquides

IP54

Type	Niveau	Description
Protection contre la poussière	5 : Protégé contre les poussières	Protection contre les poussières dangereuses
Protection contre l'eau	4 : Protégé contre les projections d'eau	Les projections d'eau sur le boîtier n'ont aucun effet dommageable quelle que soit leur direction.

IP66

Type	Niveau	Description
Protection contre la poussière	6 : Étanche à la poussière	Protection contre l'intrusion de poussière Protection complète contre les contacts
Protection contre l'eau	6 : Étanche à l'eau	Les jets d'eau puissants projetés sur le boîtier n'ont aucun effet dommageable quelle que soit la direction

Précautions lors du montage d'un capteur de déplacement linéaire

- Insérez le canon du capteur dans le système de fixation de l'instrument de mesure ou du support et serrez la vis de fixation.
- Un serrage excessif du canon risque de compromettre le bon fonctionnement de la broche.
- N'utilisez jamais un procédé de montage comportant un serrage du canon par contact direct entre le canon et une vis.
- Ne fixez jamais un capteur de déplacement linéaire par une autre partie que par le canon.
- Montez la tête du capteur de manière à ce qu'elle soit dans l'axe du sens de déplacement. Un montage désaxé de la tête par rapport au sens de déplacement entraînera des erreurs de mesure.
- Veillez à ne pas exercer une force excessive sur le capteur par l'intermédiaire du câble.

Mesure comparative

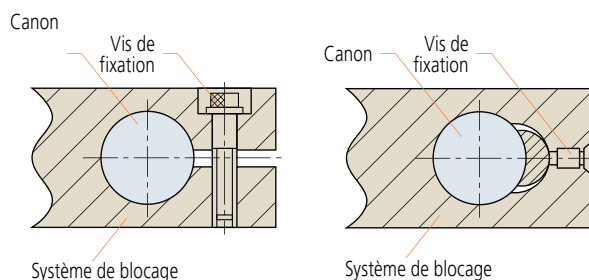
Méthode de mesure où une dimension de la pièce est obtenue en mesurant la différence entre la pièce et un étalon représentant les dimensions nominales de la pièce.

Force de mesure

Il s'agit de la force exercée sur une pièce pendant la mesure par la touche de mesure de la tête du capteur de déplacement linéaire, en bout de course, exprimée en Newton.

Précautions lors du montage d'un Laser Hologage

Pour monter un Laser Hologage, introduisez le canon dans le support ou le système de fixation correspondant.

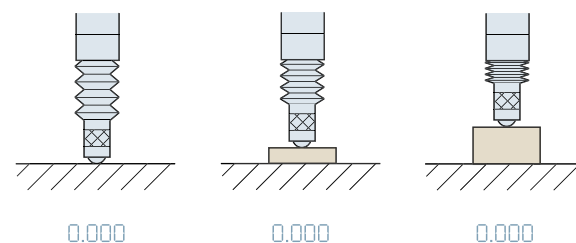


Diamètre de l'alésage recommandé pour le système de blocage : 15 mm +0,034/-0,014

- Orientez le trou du support de fixation de manière à ce que son axe soit parallèle à la direction de la mesure. Tout montage désaxé du capteur entraînera une erreur de mesure.
- Lors de la fixation du Laser Hologage, ne serrez pas le canon excessivement. Un serrage excessif du canon risque de compromettre le bon coulisement de la broche.
- Si la mesure prévoit un déplacement du Laser Hologage, montez ce dernier de manière à ce que le câble ne soit pas coincé et qu'aucune force indésirable ne s'exerce sur la tête du capteur.

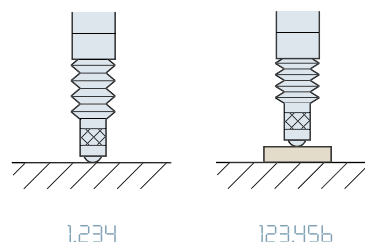
Remise à zéro

L'affichage peut être remis à zéro (0) quelle que soit la position de la broche.



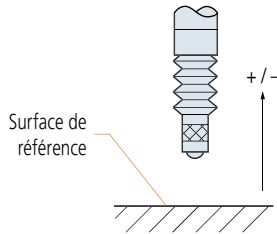
Préselection

N'importe quelle valeur numérique peut être programmée sur l'unité d'affichage comme point de départ du comptage.



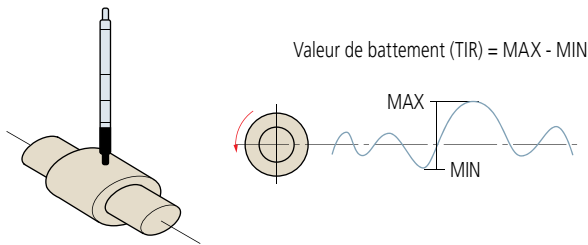
Inversion de la direction de mesure

La direction de la mesure de la broche du capteur peut être programmée pour un comptage positif (+) ou négatif (-).



Valeurs MAX, MIN, TIR

L'unité d'affichage peut mémoriser la valeur maximum (MAX), la valeur minimum (MIN) et la valeur de battement MAX-MIN pendant la mesure.



Réglage de la tolérance

Des limites de tolérance peuvent être programmées dans l'unité d'affichage pour signaler automatiquement que la mesure est dans les limites programmées.

Sortie à collecteur ouvert (NPN)

Une charge externe, telle qu'un relais ou un circuit logique, peut être pilotée par la sortie du collecteur d'un transistor interne lui-même contrôlé par un résultat de jugement de tolérance, etc.

Sortie Digimatic

Protocole de communication permettant de connecter la sortie des instruments de mesure avec différentes unités de traitement des données Mitutoyo. Il permet de connecter la sortie à un Mini-processeur Digimatic DP-1VR des câbles USB pour la réalisation de calculs statistiques et la création d'histogrammes, etc.

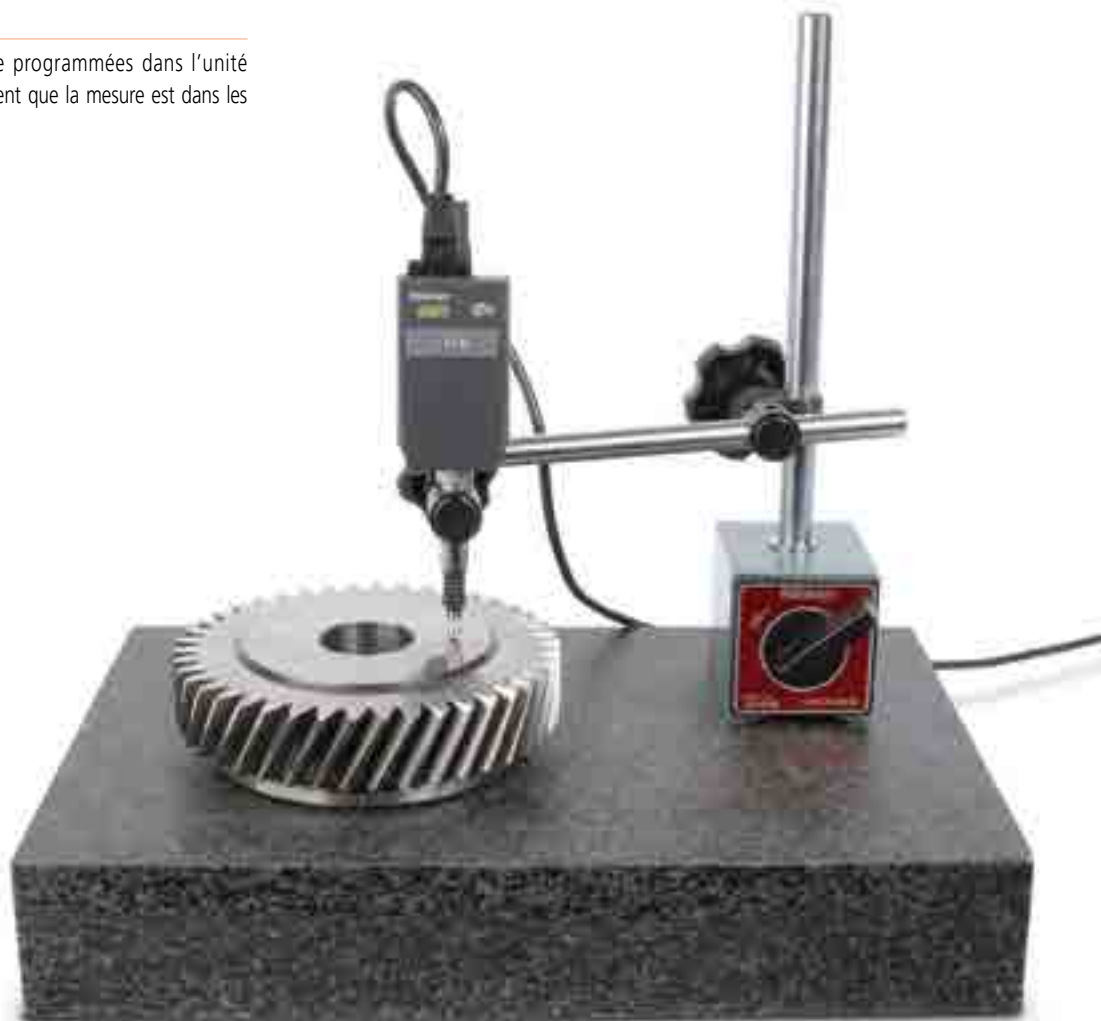
Sortie BCD

Sortie permettant de transférer des données selon une notation décimale codée en binaire.

Sortie RS-232C

Port de communication série permettant une transmission bidirectionnelle des données selon la norme de l'EIA.

Pour plus d'informations sur la procédure de transfert, consultez les spécifications des différents instruments de mesure.



Micromètres à balayage laser

Compatibilité

Votre micromètre à balayage laser a été ajusté avec une clef intégrée à l'unité de mesure. Cette clef porte les mêmes numéros de commande et de série que l'unité de mesure et s'installe dans l'unité d'affichage. L'unité de mesure peut donc être reliée à une autre unité d'affichage pendant le remplacement de l'unité d'identification.

La pièce et les conditions de mesure

D'éventuelles erreurs de mesure peuvent être liées au type de laser sélectionné (visible ou invisible), à la forme de la surface et à la rugosité de la pièce. Il convient alors d'effectuer un étalonnage avec un étalon dont les dimensions, la forme et la rugosité de surface sont similaires à celles de la pièce à mesurer. Si les valeurs relevées sont trop dispersées en raison des conditions de mesure, il convient d'augmenter le nombre de balayages utilisés dans le calcul de la valeur moyenne afin d'améliorer la précision de la mesure.

Interférences électriques

Pour éviter les erreurs de mesure, ne placez pas les câbles de signal et de raccordement du micromètre à balayage laser à proximité de lignes ou de câbles à haute tension pouvant induire des interférences électriques dans les circuits électriques. Mettez à la terre les divers appareils et câbles utilisés.

Connexion à un ordinateur

Si le micromètre à balayage laser doit être connecté à un ordinateur externe via l'interface RS-232C, vérifiez que la connexion du câble est conforme aux spécifications.

Sécurité laser

Pour effectuer les mesures, les micromètres à balayage laser Mitutoyo utilisent un faisceau laser visible de faible puissance. Le laser est un appareil de CLASSE 2 EN/CEI60825-1 (2007). Les indications de danger reproduites à droite figurent aux emplacements adéquats de chaque appareil.

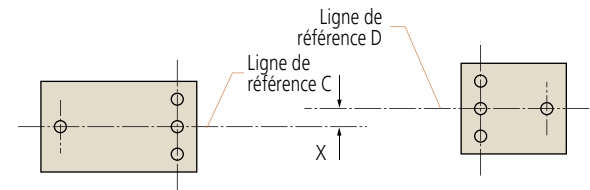


Réinstallation après démontage de l'émetteur de la base

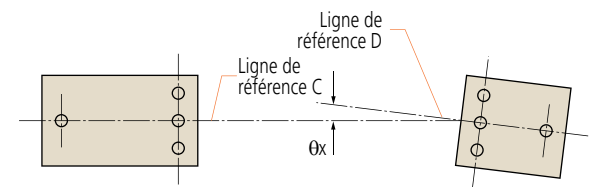
Afin d'éviter les erreurs de mesure dues à un mauvais alignement de l'axe optique du laser avec le récepteur lors de l'installation de l'émetteur et du récepteur, respectez impérativement les consignes suivantes.

Alignement dans le plan horizontal

- a) Défaut de parallélisme des lignes de référence C et D : X (dans le sens transversal)

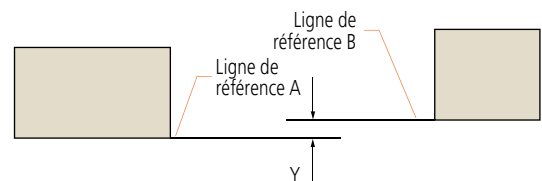


- b) Défaut de parallélisme entre les lignes de référence C et D : θ_x (angle)

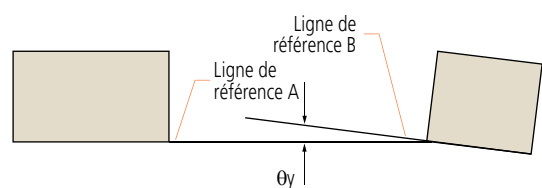


Alignement dans le plan vertical

- c) Défaut de parallélisme des lignes de références A et B : Y (hauteur)



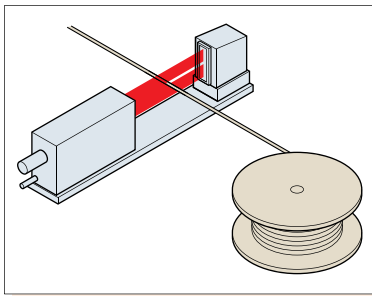
- d) Défaut de parallélisme entre les plans A et B : θ_y (angle)



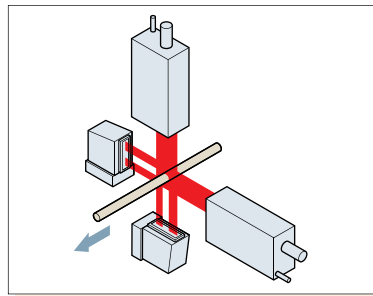
Limites de défaut d'alignement de l'axe optique

Modèle	Distance entre émetteur et récepteur	X et Y	θ_x et θ_y
LSM-501S	max. 68 mm	moins de 0,5 mm	plus ou moins 0,4° (7,0 mrad)
	max. 100 mm	moins de 0,5 mm	plus ou moins 0,3° (5,2 mrad)
LSM-503S	max. 130 mm	moins de 1,0 mm	plus ou moins 0,4° (7,0 mrad)
	max. 350 mm	moins de 1,0 mm	plus ou moins 0,16° (2,8 mrad)
LSM-506S	max. 273 mm	moins de 1,0 mm	plus ou moins 0,2° (3,5 mrad)
	max. 700 mm	moins de 1,0 mm	plus ou moins 0,08° (1,4 mrad)
LSM-512S	max. 321 mm	moins de 1,0 mm	plus ou moins 0,18° (3,6 mrad)
	max. 700 mm	moins de 1,0 mm	plus ou moins 0,08° (1,4 mrad)
LSM-516S	max. 800 mm	moins de 1,0 mm	plus ou moins 0,09° (1,6 mrad)

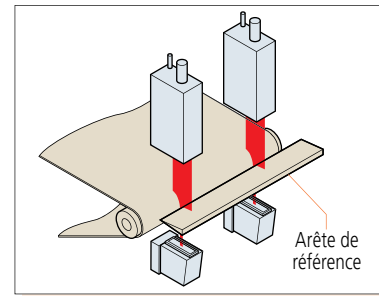
Exemples de mesures



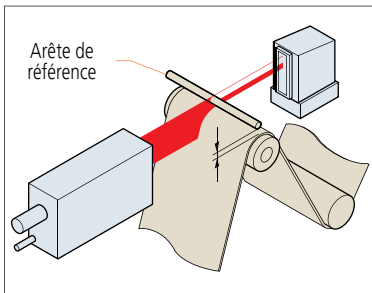
> Mesure continue de fibres de verre ou de fils de faible diamètre.



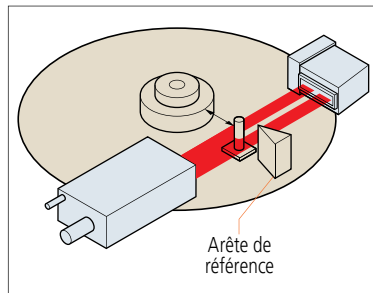
> Mesure des axes X et Y sur des câbles et des fibres optiques par exemple.



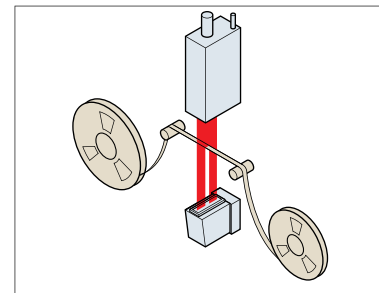
> Mesure de l'épaisseur de films ou de feuilles.



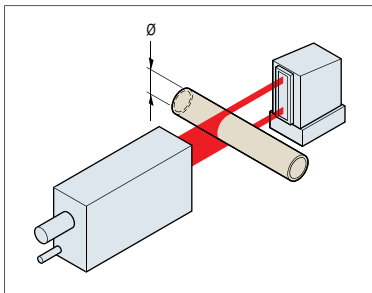
> Mesure d'épaisseur de films et de bandes continues.



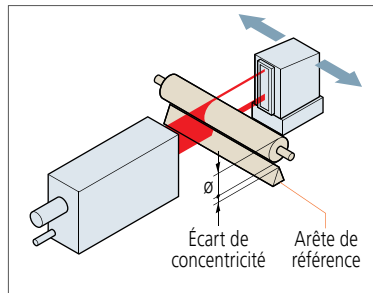
> Mesure de concentricité de disques magnétiques.



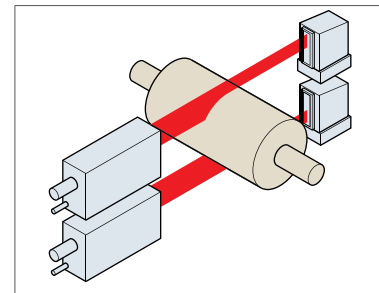
> Mesure de largeurs de bandes et de films.



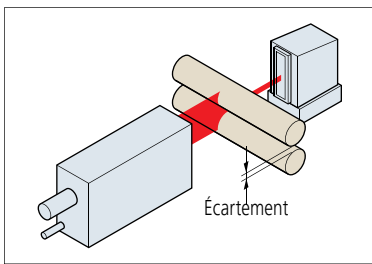
> Mesure de diamètres extérieurs de pièces cylindriques.



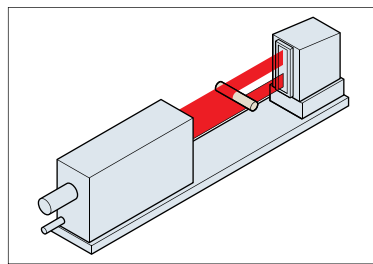
> Mesure de diamètres extérieurs et de la circularité de pièces cylindriques.



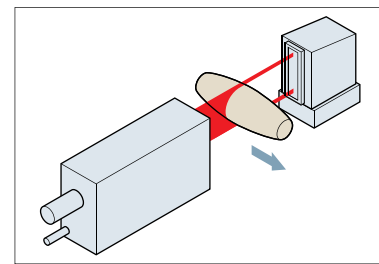
> Système double pour la mesure des grands diamètres extérieurs.



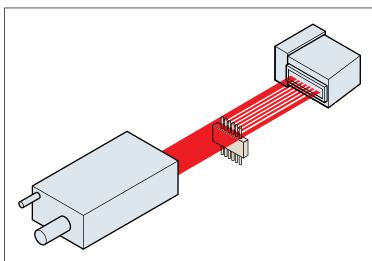
> Mesure d'écartement de cylindres.



> Mesure de diamètres extérieurs de connecteurs optiques et de férules.



> Mesure de forme.



> Mesure de distance entre des contacts de puces à circuits intégrés.

Codeurs linéaires

Glossaire

- **Système absolu**
Système de mesure où chaque position est lue directement et en permanence, sans comptage.
- **Système incrémental**
Système de mesure où chaque position est obtenue par comptage de graduation par rapport à un point de référence.
- **Décalage de l'origine**
Fonction qui permet de transférer le point d'origine d'un système de coordonnées vers un autre point. Pour que cette fonction soit disponible, le système doit avoir un point d'origine mémorisé en permanence.
- **Restauration du point d'origine**
Fonction qui place avec précision les axes de la machine dans une position spécifique en les ralentissant à l'aide d'interrupteurs de fin de course intégrés.
- **Contrôle séquentiel**
Type de contrôle qui consiste à effectuer des étapes de contrôle dans un ordre préétabli.
- **Contrôle numérique**
Méthode de contrôle des mouvements d'une machine par commandes créées et programmées à l'aide d'un ordinateur (CNC). Par convention, une séquence de commandes constitue un «programme pièce» qui ordonne à la machine d'effectuer un ensemble d'opérations sur une pièce.
- **Sortie binaire**
Sortie des données dans un format binaire (uns et zéros) représentant les nombres sous la forme d'exposants entiers de 2.
- **RS-232C**
Norme d'interface utilisant une méthode asynchrone de transmission des données en série sur une ligne de transmission asymétrique pour l'échange de données entre des émetteurs relativement proches les uns des autres. Il s'agit d'un moyen de communication largement répandu et ses périphériques.
- **Sortie à circuit de commande de ligne**
Ce type de sortie se caractérise par des vitesses de fonctionnement de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de nanosecondes et une distance de transmission relativement longue de plusieurs centaines de mètres. Un circuit de commande de ligne différentiel-voltmètre (compatible RS422A) est utilisé comme interface vers le contrôleur NC dans le système de codage linéaire.
- **BCD**
Notation des chiffres 0 à 9 par séquence binaire sur quatre bits. La transmission des données se fait via une sortie unidirectionnelle par TTL ou collecteur ouvert.
- **RS-422**
Norme d'interface pour la transmission en série des bits dans un format différentiel sur une ligne de transmission symétrique. La RS-422 est supérieure en matière de transmission des données et de capacité d'exploitation avec une alimentation unique de +5V.
- **Précision**
La précision d'un codeur est exprimée par l'erreur maximum possible entre les positions indiquées et les positions réelles de chaque point, dans les limites de la graduation de la règle, à une température de 20°C. A défaut d'une norme internationale relative aux règles, chaque fabricant a sa propre définition de la précision. Les caractéristiques de précision indiquées dans notre catalogues ont été déterminées par interférométrie laser.
- **Exactitude sur plage étroite**
Sur un codeur, même s'il peut varier en fonction du modèle, le pas de graduation est généralement de 20 μm . L'exactitude sur plage étroite correspond à l'exactitude de mesure déterminée en mesurant un pas de graduation à la résolution maximale (1 μm par exemple).

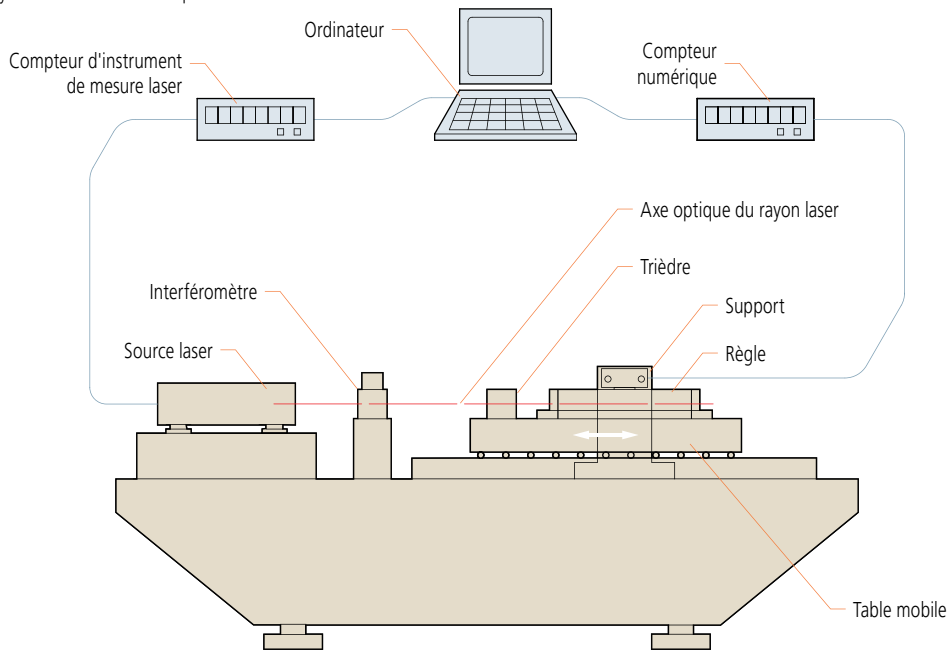


Précision du codeur linéaire

Précision de l'indication de la position

La précision du codeur linéaire est déterminée en comparant la valeur de la position indiquée par le codeur avec la valeur correspondante mesurée à des intervalles réguliers par un instrument de métrologie à laser installé dans un système de contrôle de la précision tel que celui illustré sur la figure ci-dessous. Le contrôle étant réalisé à une température ambiante de 20°C, la précision du codeur n'est garantie qu'à cette température. D'autres températures de contrôle peuvent être utilisées pour se conformer à des normes internes.

> Schéma du système de contrôle de la précision.



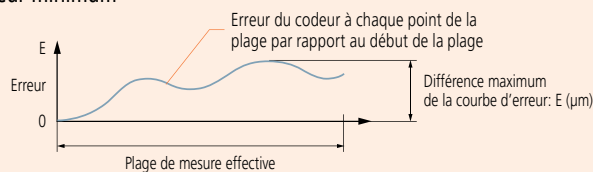
La précision du codeur à chaque point est exprimée par une valeur calculée selon la formule suivante :

Erreur = Valeur indiquée par le codeur linéaire – valeur correspondante du système de contrôle à laser

La courbe représentant l'erreur mesurée à chaque point de la plage de mesure effective est appelée courbe de précision. Les deux méthodes de spécification de la précision d'un codeur linéaire, symétrique ou asymétrique, sont décrites ci-dessous.

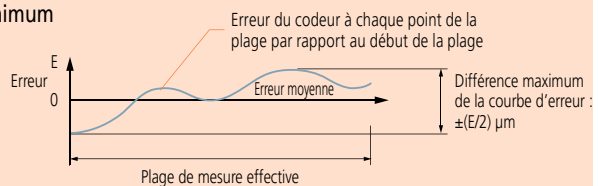
1) Spécification asymétrique de la précision : erreur maximum – erreur minimum

Cette méthode consiste simplement à calculer la différence "erreur maximum moins erreur minimum" de la courbe de précision, comme illustré ci-dessous. La formule de calcul est la suivante : $E = (\alpha + \beta)L$ μm . Où L représente la plage de mesure effective (mm), et α et β sont des facteurs spécifiés pour chaque modèle. Exemple : pour un type de codeur dont la spécification de précision est $(3 + 3L/1000) \mu\text{m}$ et la plage de mesure effective est de 1 000 mm, E est égale à 6 μm .



2) Spécification symétrique de la précision : erreur maximum et minimum par rapport à l'erreur moyenne

Cette méthode exprime l'erreur maximum par rapport à l'erreur moyenne de la courbe de précision. La formule de calcul est la suivante : $e = \pm(E/2) \mu\text{m}$. Elle est principalement utilisée pour les codeurs linéaires de type séparé (adapté).

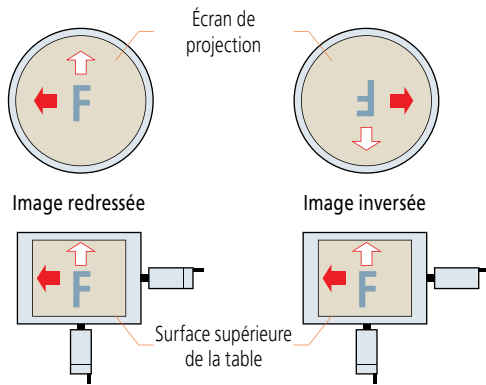


Un codeur linéaire détecte les déplacements à partir de graduations à pas constant. Deux courbes de signal sinusoïdales ayant le même pas que les graduations sont obtenues par détection des graduations. En interpolant ces signaux dans le circuit électrique, il est possible de calculer des valeurs inférieures au pas des graduations en générant des impulsions correspondant à la résolution recherchée. Par exemple, si le pas des graduations est de 20 μm , des valeurs interpolées peuvent générer une résolution de 1 μm . La précision de ce procédé n'est pas sans erreur et est appelée précision d'interpolation. La précision positionnelle globale d'un codeur linéaire dépend à la fois de l'erreur de pas des graduations et de la précision d'interpolation.

Projecteurs de profils

Image redressée et image inversée

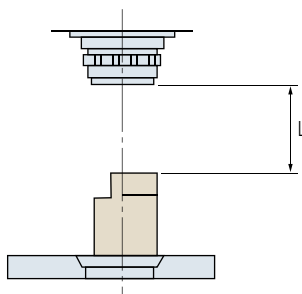
L'image d'un objet projetée sur un écran est droite si elle est orientée de la même manière que l'objet sur la table. Si l'image est inversée vers le bas, les mouvements latéraux par rapport à l'objet sur la table (comme sur la figure ci-dessous) seront inversés sur l'image (appelée aussi « image renversée » ce qui est probablement plus exact).



F = Pièce, ➡ = Déplacement sur l'axe X, ⇨ = Déplacement sur l'axe Y

Distance de travail

Il s'agit de la distance entre la surface de l'objectif de projection et la surface de la pièce focalisée. Elle est représentée par L dans le schéma ci-dessous.



Précision du grossissement

La précision du grossissement d'un projecteur obtenue avec un objectif donné est calculée en projetant l'image d'un objet de référence et en comparant la taille de l'image mesurée à l'écran à la taille théorique (calculée à partir du coefficient de grossissement indiqué), comme le montre la formule ci-dessous. L'objet de référence est le plus souvent une petite règle de verre graduée appelée « micromètre objet » ou « règle étalon » et son image projetée est mesurée avec une grande règle en verre.

(La précision du grossissement diffère de la précision de mesure.)

$$\Delta M(\%) = \frac{L - IM}{IM} \times 100$$

$\Delta M(\%)$: Précision du grossissement exprimée en pourcentage du grossissement nominal de l'objectif

L: Longueur de l'image projetée de l'objet de référence mesurée à l'écran

I: Longueur de l'objet de référence

M: Grossissement de l'objectif de projection

Type d'éclairage

■ Éclairage diascopique :

Méthode d'éclairage permettant d'observer la pièce avec une lumière transmise principalement utilisée pour mesurer l'image grossie du profil d'une pièce.

■ Éclairage épiscopique coaxial :

Méthode d'éclairage où la pièce est éclairée par une lumière réfléchie dans le même axe que l'objectif pour l'observation ou la mesure d'une surface. (Un miroir semi-réfléchissant ou un objectif de projection à miroir semi-réfléchissant intégré est nécessaire)

■ Éclairage épiscopique oblique :

Méthode consistant à éclairer indirectement la surface de la pièce. Cette méthode offre une image plus contrastée et permet une observation claire et en trois dimensions. Des erreurs sont toutefois possibles lors de mesures dimensionnelles avec ce type d'éclairage. Un miroir oblique est nécessaire. Certains modèles de projecteurs sont équipés d'un miroir oblique (PJ-H30) ou grâce à des fibres optiques (PH).

Diamètre du champ de vision

Diamètre maximum de la pièce pouvant être projeté avec un objectif donné.

$$\text{Diamètre du champ de vision (mm)} = \frac{\text{Diamètre de l'écran du projecteur de profil}}{\text{Grossissement de l'objectif de projection utilisé}}$$

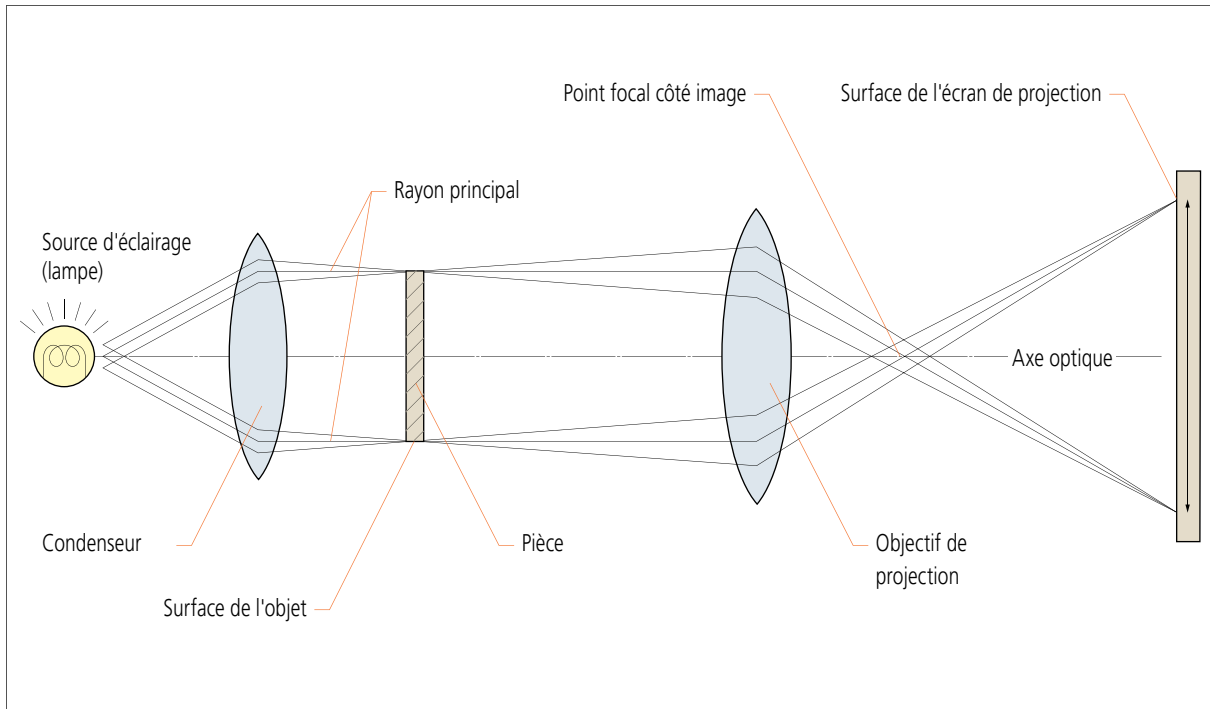
Exemple : dans le cas d'un objectif 5X et d'un écran de projecteur d'un diamètre de \varnothing 500 mm :

$$\text{Le diamètre du champ de vision est donné par la formule } \frac{500 \text{ mm}}{5} = 100 \text{ mm}$$

Système optique télécentrique

Un système optique dont le principe de base est l'alignement parallèle du rayon principal avec l'axe optique sur le point focal côté image. Ce procédé permet de conserver la taille de l'image même si elle devient floue lors du déplacement de l'objet le long de l'axe optique. Pour les projecteurs de mesure et les microscopes de mesure, un effet similaire est obtenu en plaçant une lampe incandescente sur le point focal d'un condenseur au lieu du dispositif d'arrêt de l'objectif pour que l'objet soit éclairé par des faisceaux parallèles. (Voir la figure ci-dessous.)

> Éclairage diascopique télécentrique



Microscopes

Ouverture numérique (NA)

La valeur d'ouverture numérique est importante parce qu'elle indique le pouvoir de résolution d'un objectif. Plus la valeur de NA est grande plus les détails visibles seront petits. Un objectif ayant une grande valeur de NA collecte plus de lumière et fournit une image plus claire, avec une profondeur focale plus étroite qu'un objectif à faible valeur de NA.

$$NA = n \cdot \sin\theta$$

La lettre n représente l'indice de réfraction du milieu entre l'objet et l'objectif. Cette valeur est égale à ± 1 lorsque ce milieu est dans l'air.

Pouvoir de résolution (R)

Distance minimale détectable entre deux points de l'image représentant la résolution maximale. Le pouvoir de résolution (R) est déterminé par l'ouverture numérique (NA) et la longueur d'onde (λ) de l'éclairage.

$$R = \frac{\lambda}{2(NA)^2} \text{ (}\mu\text{m)}$$

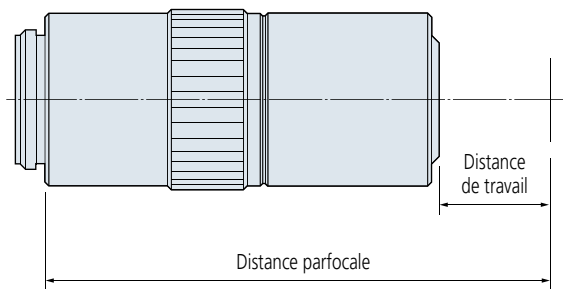
$\lambda = 0,55\mu\text{m}$ est souvent considéré comme la longueur d'onde de référence

Distance de travail (WD)

Distance entre la face avant de l'objectif d'un microscope et la surface de la pièce à laquelle la mise au point la plus nette est obtenue.

Distance parfocale

Distance entre la position de l'objectif d'un microscope et la surface de la pièce à laquelle la mise au point la plus nette est obtenue. Différents objectifs montés ensemble sur la même tourelle ont la même distance parfocale de sorte qu'en cas de changement d'objectif, la mise au point nécessaire est minimale.

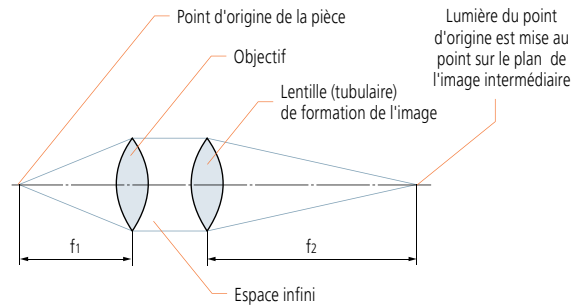


Point focal

Les rayons lumineux se déplaçant parallèlement à l'axe optique d'un système à lentille convergente et traversant ce système convergent (ou se focalisent) sur un point de l'axe appelé point focal arrière, ou point focal de l'image.

Système optique infini

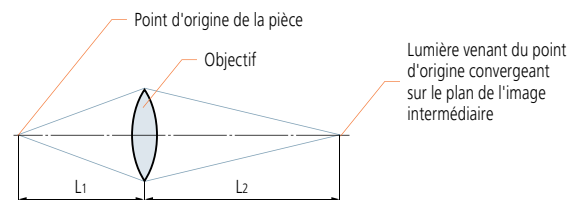
Système optique où l'objectif forme son image à l'infini et où une lentille tubulaire est placée dans le corps tubulaire entre l'objectif et l'oculaire pour produire une image intermédiaire. Après avoir traversé l'objectif, la lumière se déplace parallèlement à l'axe optique vers la lentille tubulaire à travers l'espace dit « infini » dans lequel des composants accessoires peuvent être installés, comme des prismes de contraste interférentiel différentiel, des polariseurs, etc. avec des effets minimes sur la mise au point et la correction des points aberrants.



Remarque : Grossissement de l'objectif = f_2/f_1

Système optique fini

Système optique qui utilise un objectif pour former l'image intermédiaire à une position finie. La lumière venant de la pièce traverse l'objectif est dirigée vers le plan de l'image intermédiaire (situé sur le plan focal avant de l'oculaire) et converge sur ce plan.



Remarque : Grossissement de l'objectif = L_2/L_1

Longueur focale (f)

Distance entre le point principal et le point focal d'un objectif : si f_1 représente la longueur focale d'un objectif et f_2 représente la longueur focale d'une lentille (tubulaire) de formation de l'image, le grossissement est déterminé par le rapport entre les deux. (Dans le cas d'un système optique à correction infinie.)

$$\text{Grossissement de l'objectif} = \frac{\text{Longueur focale de la lentille (tubulaire) de formation de l'image}}{\text{Longueur focale de l'objectif}}$$

Exemple: $1X = \frac{200}{200}$ Exemple: $10X = \frac{200}{20}$

Profondeur focale (DOF)

Également appelée « profondeur de champ », il s'agit de la distance (mesurée dans le sens de l'axe optique) qui sépare les deux plans qui définissent les limites de la netteté acceptable de l'image quand le microscope est focalisé sur un objet. Plus la valeur d'ouverture numérique (NA) augmente, plus la profondeur focale diminue, comme le montre la formule ci-dessous :

$$DOF = \frac{\lambda}{2(NA)^2}$$

Remarque : $\lambda = 0,55 \mu\text{m}$ est souvent considérée comme la longueur d'onde de référence

Exemple: pour un objectif M Plan Apo 100X (NA = 0,7)

La profondeur focale de l'objectif est égale à

$$\frac{0,55 \mu\text{m}}{2 \times 0,7^2} = 0,6 \mu\text{m}$$

Éclairage à fond clair et éclairage à fond sombre

Dans un éclairage à fond clair, la totalité du cône de lumière est focalisé par l'objectif sur la surface /de la pièce. C'est le mode d'observation normal avec un microscope optique. Dans un éclairage à fond sombre, la zone interne du cône de lumière est obstruée de sorte que la surface de la pièce est éclairée selon un angle oblique. L'éclairage à fond sombre est utile pour repérer les rayures et les impuretés de la surface.

Objectifs apochromatiques et achromatiques

- Un objectif apochromatique est un objectif corrigé pour l'aberration chromatique (flou) en trois couleurs (rouge, bleu, jaune).
- Un objectif achromatique est un objectif corrigé pour l'aberration chromatique en deux couleurs (rouge, bleu).

Grossissement

Rapport entre la taille de l'image agrandie d'un objet formée par un système optique et la taille réelle de l'objet. Le terme grossissement renvoie généralement à un grossissement latéral mais il peut également désigner un grossissement vertical ou angulaire.

Rayon principal

Rayon considéré comme émis depuis un point de l'objet selon l'axe optique et traversant le centre du diaphragme d'ouverture d'un système optique.

Diaphragme d'ouverture

Un diaphragme à ouverture réglable permet de contrôler l'intensité de l'éclairage et le pouvoir de résolution grâce à sa disposition précisément définie sur l'axe optique du microscope.

Diaphragme de champ

Dispositif qui permet de contrôler le champ de vision d'un instrument optique.

Système télécentrique

Système optique dans lequel les rayons lumineux sont parallèles à l'axe optique dans l'espace entre l'objet et l'image. Ceci signifie que le grossissement est pratiquement constant sur la plage de distances de travail et élimine toute erreur de perspective.

Image droite

Image dont les sens d'orientation gauche, droite, haut et bas sont identiques à ceux de la pièce observée.

Nombre de champs, champ de vision réel grossissement de l'écran du moniteur

Le nombre de champs est une valeur qui caractérise un oculaire. Cette valeur, multipliée par le grossissement de l'objectif, permet de calculer la taille de la zone visible. En revanche, le champ de vision réel est la plage de la surface de la pièce réellement grossie et observée avec l'objectif. Le champ de vision réel peut être calculé à l'aide de la formule suivante :

1. Plage de la pièce qui peut être observée avec le microscope (diamètre)

$$\text{Champ de vision réel} = \frac{\text{NC de l'oculaire}}{\text{Grossissement de l'objectif}}$$

Exemple: le champ de vision réel d'un objectif 1X est égal à $24 = \frac{24}{1}$

Exemple: le champ de vision réel d'un objectif 10X est égal à $2,4 = \frac{24}{10}$

2. Plage observée avec le moniteur

$$\text{Plage d'observation du moniteur} = \frac{\text{Dimension du capteur d'image de la caméra (diagonale)}}{\text{Grossissement de l'objectif}}$$

Format	Taille du capteur d'image		
	Longueur diagonale	Longueur	Hauteur
1/3"	6,0	4,8	3,6
1/2"	8,0	6,4	4,8
2/3"	11,0	8,8	6,6

3. Grossissement de l'écran du moniteur

Grossissement de l'écran du moniteur =

$$\text{Grossissement de l'objectif} \times \frac{\text{Longueur de la diagonale de l'écran du moniteur}}{\text{Longueur de la diagonale du capteur d'image de la caméra}}$$

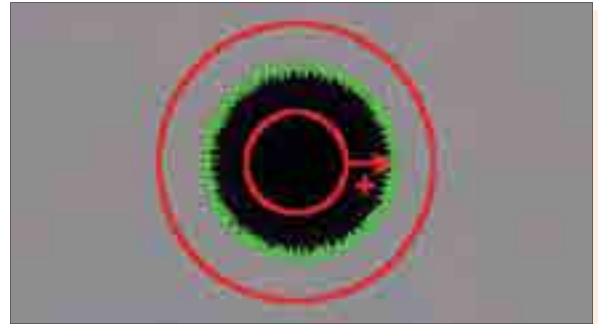
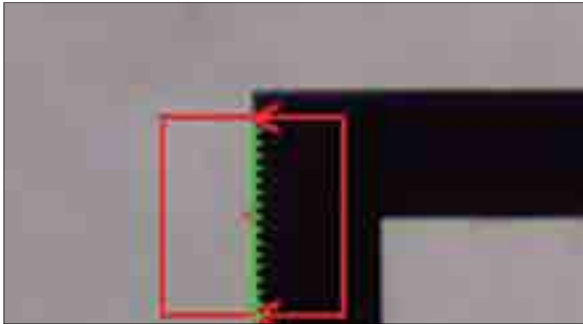
Appareils de mesure optique

Mesure par analyse d'image

Les machines de mesure optique sont dotées des fonctionnalités suivantes :

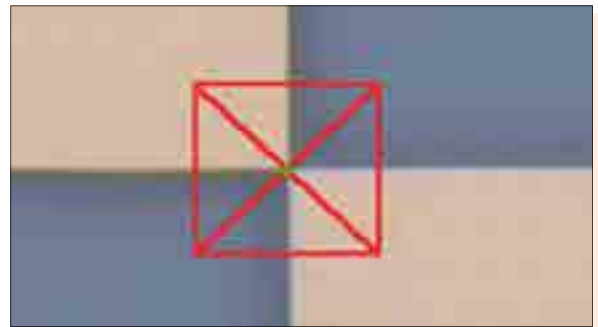
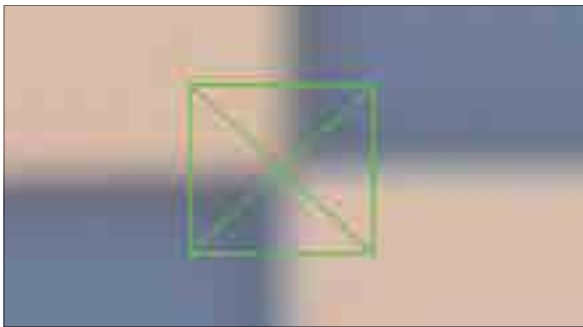
Détection d'arêtes

Mesure par détection d'arêtes dans le plan XY



Mise au point automatique

Netteté et mesure en Z

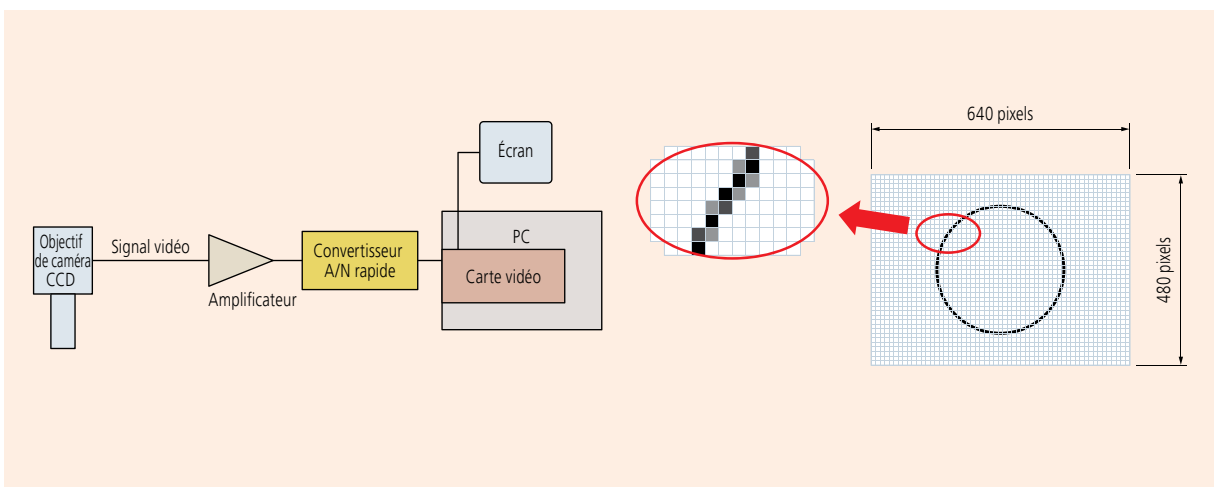


Reconnaissance de formes

Alignement, positionnement et contrôle d'une entité

Sauvegarde des images

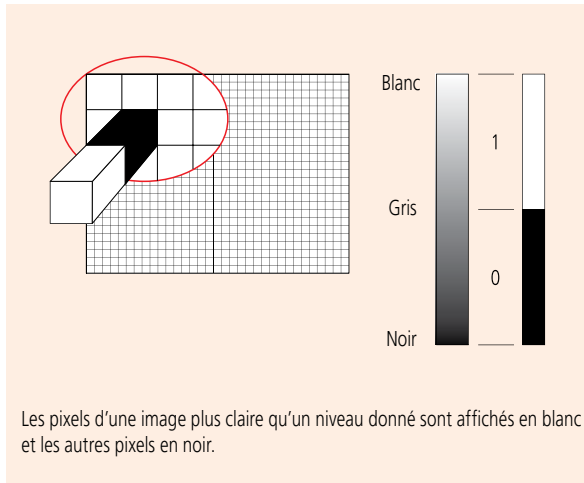
Une image vidéo se compose d'un nombre défini de pixels. Elle est comparable à une image imprimée sur du papier millimétré dont chaque carré est rempli différemment.



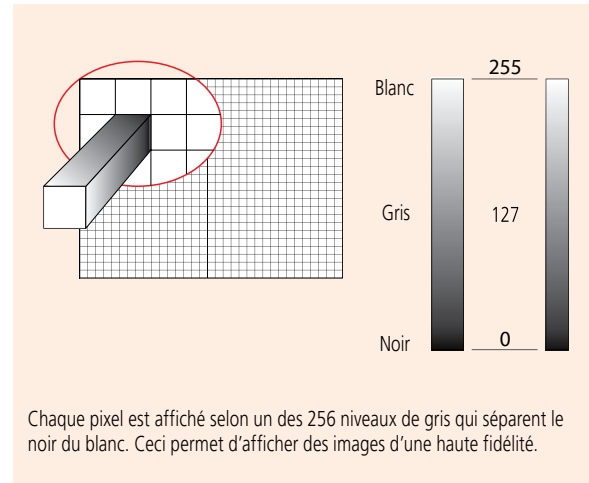
Échelle de gris

L'ordinateur mémorise l'image après l'avoir convertie en valeurs numériques. Une valeur numérique est assignée à chaque pixel de l'image. La qualité de l'image varie en fonction du nombre de niveaux de gris définis par les valeurs numériques. Le PC analyse 2 types d'échelle : l'échelle de gris binaire et celle à niveaux multiples. L'échelle binaire gère le clair et le sombre, tandis que l'autre échelle gère 256 niveaux de gris de chaque pixel d'une image.

> Échelle de gris binaire



> Échelle de gris à niveaux multiples



Différence de qualité des images

Différence entre deux images exprimées en échelle de gris binaire et en échelle à niveaux de gris multiples.



> Exemple d'image affichée avec l'échelle de gris binaire (2 niveaux).



> Exemple d'image affichée avec l'échelle de gris à 256 niveaux.

Variation de l'image en fonction d'un seuil

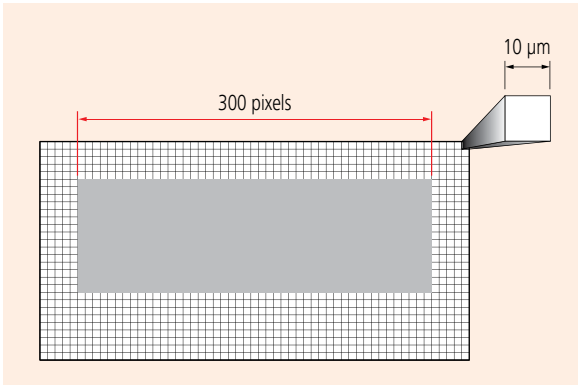
Ces trois images sont trois versions différentes de la même image affichée selon différents seuils (niveaux de seuil) de réglage de l'échelle de gris binaire. Dans une image affichée selon une échelle de gris binaire, les images sont obtenues en modifiant le seuil de réglage du niveau de gris. L'échelle de gris à 2 niveaux n'est pas utilisée pour les mesures optiques de précision car les valeurs numériques changent en fonction du seuil de réglage sélectionné.



Appareils de mesure optique

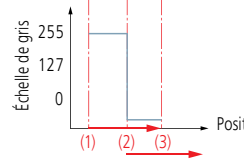
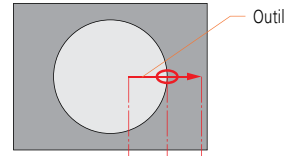
Mesure dimensionnelle

Une image se compose de pixels. Si le nombre de pixels d'une zone à mesurer est compté et multiplié par la taille d'un pixel, la zone peut être convertie en valeur dimensionnelle numérique. Par exemple, supposons que le nombre total de pixels contenus dans le côté d'une pièce rectangulaire est de 300, comme l'illustre la figure ci-dessous. Et si un pixel mesure 10 µm après grossissement de l'image, la longueur totale de pièce est obtenue avec la formule :
 $10 \mu\text{m} \times 300 \text{ pixels} = 3000 \mu\text{m} = 3 \text{ mm}$.



Détection d'arête

L'image monochrome ci-dessous illustre la méthode de détection de l'arête d'une pièce dans une image. La détection d'arête est effectuée dans une zone donnée. Le symbole qui permet de sélectionner graphiquement cette zone est appelé « outil ». Plusieurs outils sont disponibles pour s'adapter aux différents points et aux différentes formes de la pièce.



Le système de détection d'arête balaye la zone déterminée avec l'outil comme l'illustre la figure ci-contre et détecte la limite qui sépare les zones claire et sombre.

- (1) Position de début du balayage
- (2) Position de détection d'arête
- (3) Position de fin de balayage

> Exemple de valeurs numériques assignées aux pixels sélectionnés par l'outil

244	241	220	193	97	76	67	52	53	53
243	242	220	195	94	73	66	54	53	55
244	246	220	195	94	75	64	56	51	50

Mesure à haute-résolution

Après grossissement

Échelle de gris

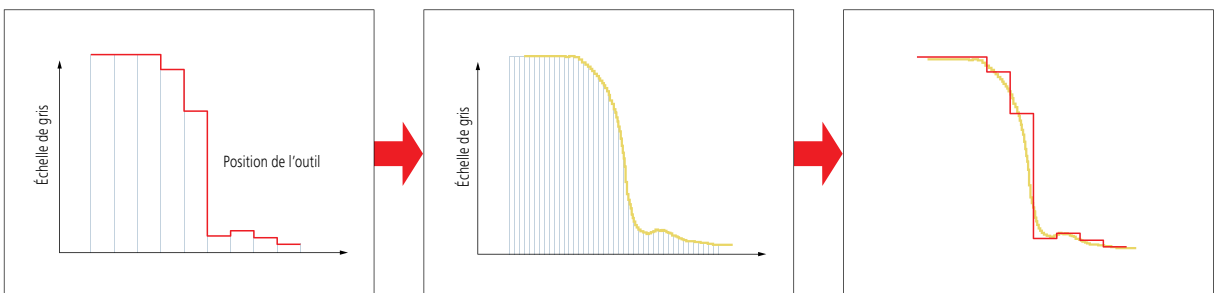
Position de l'outil

Échelle de gris

Position de l'outil

Une position reconnue par le système comme une arête peut être erronée d'un pixel maximum en utilisant le traitement d'image normal. Ceci permet d'éviter l'exécution d'une mesure à haute résolution.

Pour augmenter la précision de la détection d'arête, une sous-pixellisation de l'image est réalisée. L'arête est détectée en interpolant la courbe à partir des points adjacents, comme l'illustre la figure ci-dessous. Ce procédé permet de réaliser des mesures d'une résolution supérieure à 1 pixel.



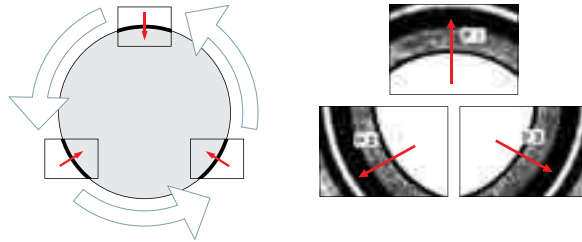
Signal de l'image sans sous-pixellisation

Signal de l'image avec sous-pixellisation

La courbe du signal de l'image se rapproche d'une forme d'onde analogique comme celle-ci.

Mesure d'un élément en plusieurs positions d'image

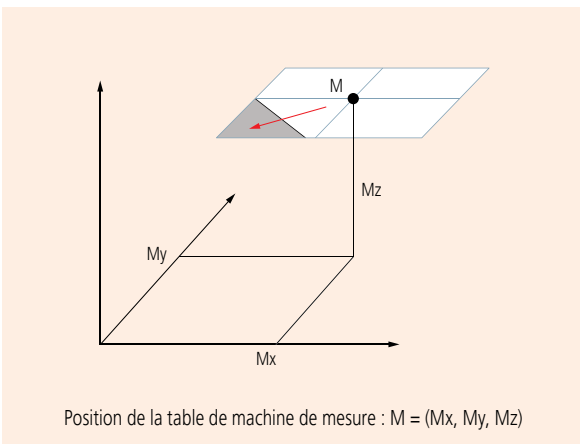
Les grandes surfaces, qui ne peuvent être affichées dans un écran, doivent être mesurées en contrôlant précisément la position du capteur CCD et de la table. A chaque déplacement, le point de mesure détecté sur chaque image, est localisé dans l'image et dans le référentiel global. De cette manière, le système permet par exemple de mesurer de grands cercles, comme l'illustrent les figures ci-dessous, en effectuant une détection d'arête et en déplaçant la table sur différentes zones de la circonférence.



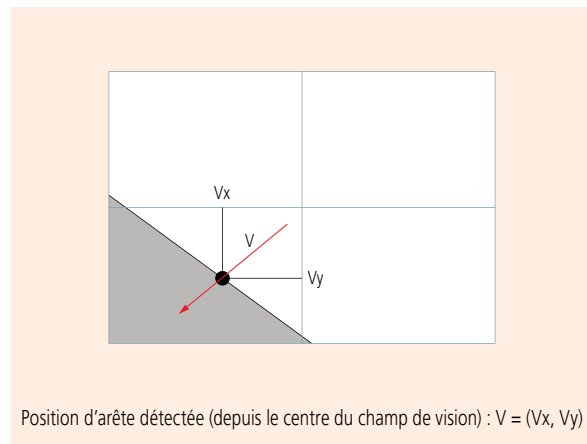
Coordonnées d'un point détecté

Le système mémorise automatiquement les positions pendant la mesure, il peut mesurer sans problème des dimensions qui dépassent la taille du champ de vision.

> Référentiel machine



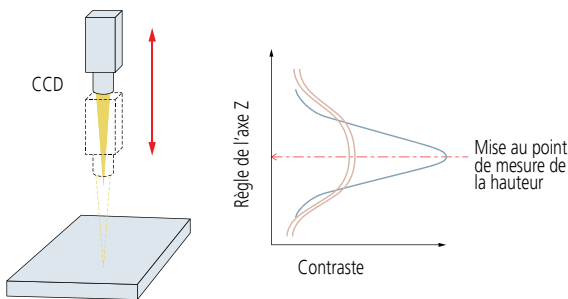
> Référentiel du système vidéo



Les coordonnées réelles sont données par la formule $X = (M_x + V_x)$, $Y = (M_y + V_y)$, et $Z = M_z$.

Principe de mise au point automatique (Autofocus)

Le système peut effectuer des mesures dans le plan XY, mais il ne peut pas mesurer la hauteur à partir d'une seule image issue de la caméra CCD. Il est donc généralement équipé du dispositif de mise au point automatique (Autofocus) destiné à effectuer des mesures dans le sens de la hauteur. La figure ci-dessous décrit le fonctionnement de l'autofocus. Certains systèmes utilisent aussi un Laser AutoFocus (LAF).



> Le dispositif d'AF analyse chaque image en déplaçant le CCD verticalement sur l'axe Z. Au cours de l'analyse du contraste de l'image, les points nets indiquent un contraste culminant, les points flous un contraste faible. Par conséquent, la hauteur des points culminants est la hauteur où l'image est la plus nette.

Variation du contraste en fonction des conditions de mise au point

Contraste d'arête faible dû à des bords flous.

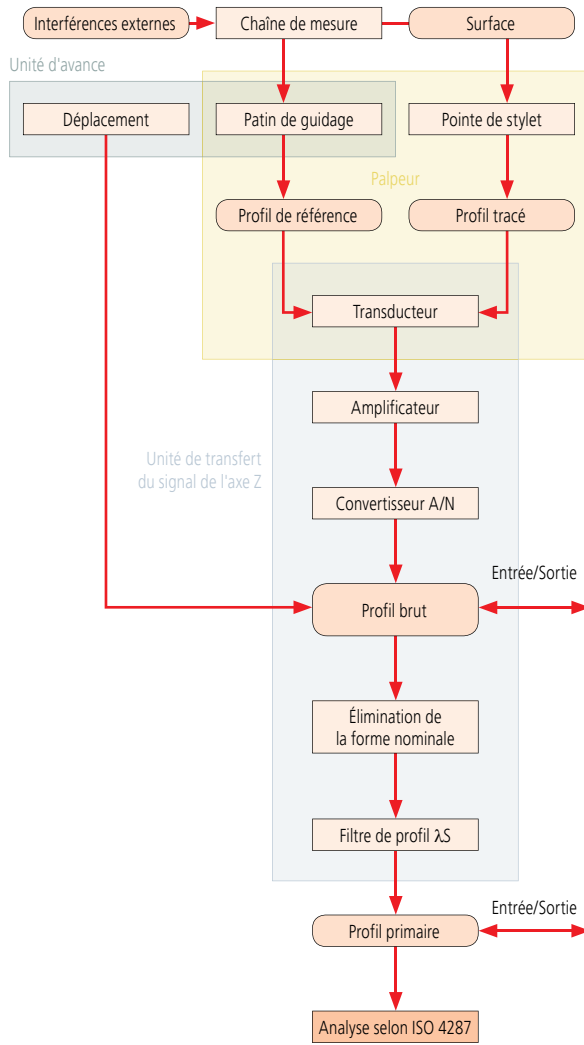


Contraste d'arête élevé dû à des bords nets.



Surftest (Mesure des états de surface)

Caractéristiques nominales des appareils à contact (Stylet)



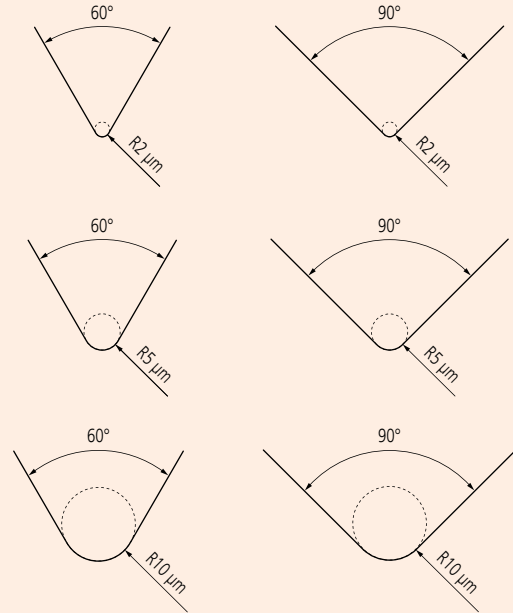
Géométrie du stylet

La forme typique de l'extrémité d'un stylet est un cône muni d'une pointe sphérique.

Rayon de la pointe = 2 μm, 5 μm ou 10 μm

Angle du cône : 60°, 90°

Sauf indications contraires, l'angle du cône du stylet des instruments de mesure est généralement de 60°.

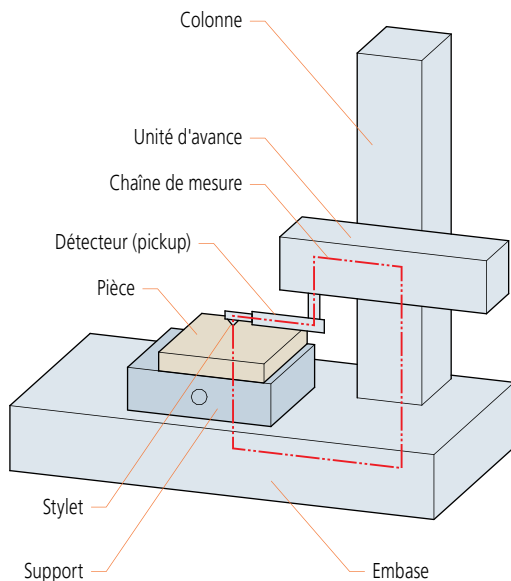


Force de mesure statique

Rayon nominal de la courbure de la pointe du stylet (μm)	Force de mesure du stylet en position intermédiaire (mN)	Tolérance de variation de la force de mesure statique (mN/μm)
2	0,75	0,035
5	0,75 (4,0)*	0,2
10		

* La valeur maximum de la force de mesure statique du stylet en position intermédiaire est de 4 mN pour un détecteur spécial avec un stylet remplaçable..

Détails d'un rugosimètre



Relations entre valeur de cut-off et rayon de la pointe du stylet

Le tableau ci-dessous récapitule les relations entre la valeur de cut-off du profil de rugosité λ_c , le rayon de la pointe du stylet (r_{tip}), et le taux de cut-off λ_c/λ_s .

λ_c (mm)	λ_s (μm)	λ_c/λ_s	Rayon maximum r_{tip} (μm)	Longueur d'échantillonnage maximum (μm)
0,08	2,5	30	2	0,5
0,25	2,5	100	2	0,5
0,8	2,5	300	2 * ¹	0,5
2,5	8,0	300	5 * ²	1,5
8,0	25,0	300	10 * ²	5,0

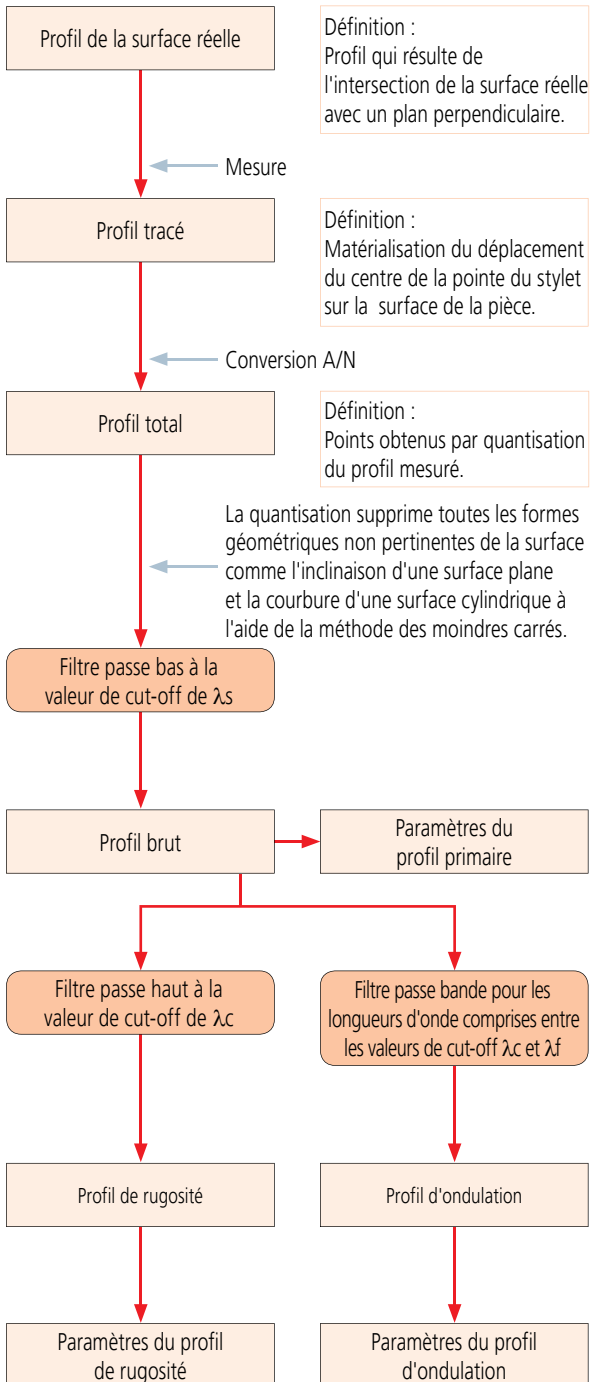
*¹ Pour les surfaces avec $Ra > 0,5 \mu m$ ou $Rz > 3 \mu m$, aucune erreur de mesure significative n'est généralement constatée même avec un rayon de pointe de 5 μm

*² Pour les valeurs de cut-off λ_s de 2,5 μm ou 8 μm, l'atténuation du signal due au filtrage mécanique du stylet avec le rayon de pointe préconisé se situe en dehors de l'intervalle du filtre passe bande du profil de rugosité. C'est pourquoi une petite variation du rayon ou de la forme de la pointe du stylet ne risque pas d'altérer les valeurs du paramètre calculées à partir du profil mesuré. Si un certain rapport de cut-off est exigé, il doit être spécifié.

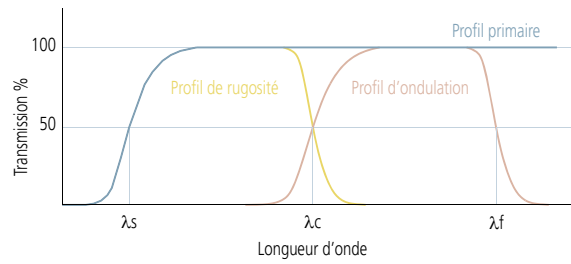
Caractéristiques métrologiques des filtres à phase correcte, ISO 16610-21

Un filtre de profil à phase correcte est un filtre sans retard (cause de déformation du profil en fonction de la longueur d'onde). La pondération d'un filtre à phase correcte a une distribution normale (Gaussienne) où la transmission de l'amplitude a lieu à 50% de la longueur d'onde de cutoff.

Flux de traitement des données

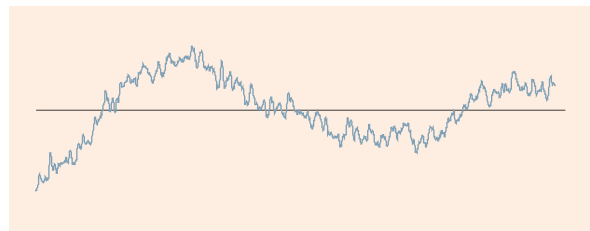


Types de profils, ISO 4287



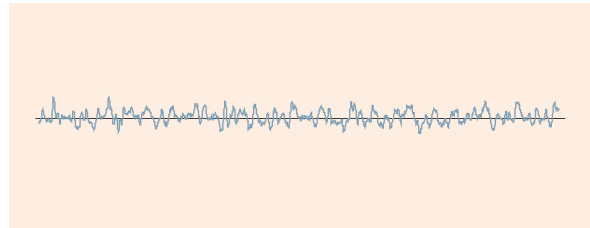
Profil primaire

Profil obtenu à partir du profil mesuré après application d'un filtre passe bas avec la valeur de cut-off λ_s .



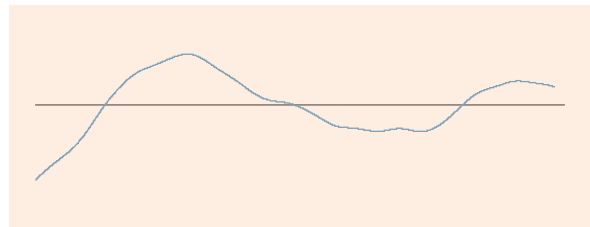
Profil de rugosité

Profil obtenu à partir du profil primaire après suppression des composantes à grande longueur d'onde avec un filtre passe haut avec la valeur de cut-off λ_c



Profil d'ondulation

Profil obtenu en appliquant un filtre passe bande au profil primaire pour éliminer les grandes longueurs d'onde supérieures à λ_f et les longueurs d'onde courtes inférieures à λ_c .

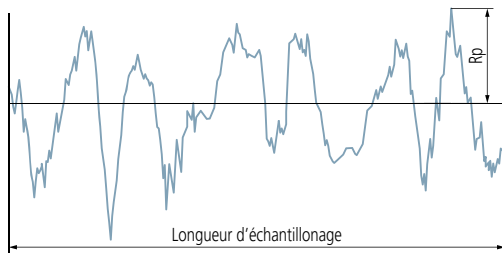


Surftest (Mesure des états de surface)

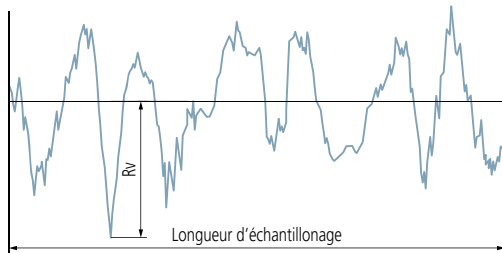
Définition des paramètres, ISO 4287

Paramètres d'amplitude (creux et saillies)

Hauteur maximale de saillie du profil primaire P_p , de saillie du profil de rugosité R_p , de saillie du profil d'ondulation W_p
Plus grande hauteur de saillie Z_p sur une longueur d'échantillonnage.

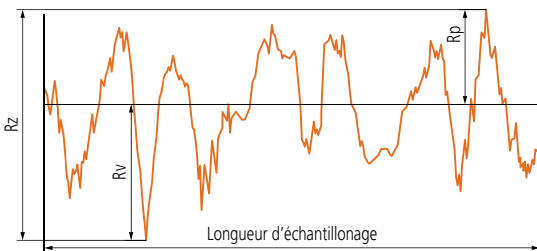


Profondeur maximale de creux du profil primaire P_v , de creux du profil de rugosité R_v , de creux du profil d'ondulation W_v
Plus grande profondeur de creux du profil Z_v sur une longueur d'échantillonnage



Hauteur maximale du profil primaire P_z , du profil de rugosité R_z , du profil d'ondulation W_z

Somme de la plus grande hauteur de saillie Z_p et la plus grande profondeur de creux Z_v du profil sur une longueur d'échantillonnage.

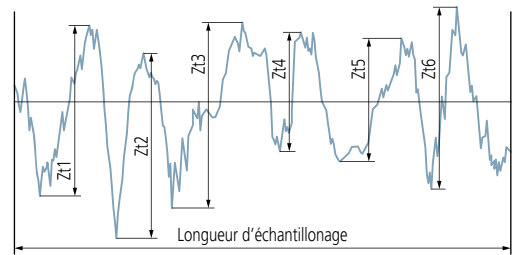


Dans l'ancienne norme JIS et la norme ISO 4287-1: 1984, R_z était utilisé pour indiquer la "hauteur des irrégularités sur 10 points". On accordera une attention particulière à cette valeur car les différences entre les résultats obtenus avec les nouvelles normes et les anciennes ne sont pas toujours négligeables. (Vérifiez si les consignes du dessin relèvent des anciennes ou des nouvelles normes.)

Hauteur moyenne des éléments du profil primaire P_c , des éléments du profil de rugosité R_c , des éléments du profil d'ondulation W_c

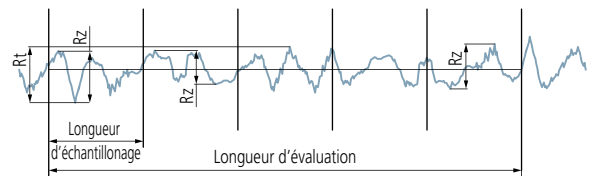
Valeur moyenne des hauteurs des éléments du profil Z_t sur une longueur d'échantillonnage

$$P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{t_i}$$



Hauteur totale du profil primaire P_t , du profil de rugosité R_t , du profil d'ondulation W_t

Somme de la plus grande hauteur de saillie du profil, Z_p , et la plus grande profondeur de creux du profil, Z_v , sur une longueur d'échantillonnage.



Paramètres d'amplitude (moyenne des ordonnées)

Écart moyen arithmétique du profil primaire P_a , du profil de rugosité R_a , du profil d'ondulation W_a

Moyenne arithmétique des valeurs absolues des ordonnées $Z(x)$ sur une longueur d'échantillonnage

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

avec l , l_p , l_r , ou l_w selon le cas.

Écart moyen quadratique du profil primaire P_q , du profil de rugosité R_q , du profil d'ondulation W_q

Moyenne quadratique des valeurs des ordonnées $Z(x)$ sur une longueur d'échantillonnage

$$P_q, R_q, W_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx}$$

avec l , l_p , l_r , ou l_w selon le cas.

Facteur d'asymétrie du profil primaire Psk , du profil de rugosité Rsk , du profil d'ondulation Wsk

Rapport entre le moyenne cubique des valeurs des ordonnées $Z(x)$ et la valeur cubique des paramètres Pq , Rq ou Wq sur une longueur d'échantillonnage.

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^3(x) dx \right]$$

L'équation ci-dessus permet de calculer la valeur de Rsk . Psk et Wsk sont calculés de la même manière. Psk , Rsk et Wsk sont des mesures de l'asymétrie de la courbe de densité de probabilité des valeurs des ordonnées.

Facteur d'aplatissement du profil primaire Pku , du profil de rugosité Rku , du profil d'ondulation Wku

Rapport entre la moyenne puissance 4 des valeurs des ordonnées $Z(x)$ et la valeur puissance 4 des paramètres Pq , Rq ou Wq sur une longueur d'échantillonnage

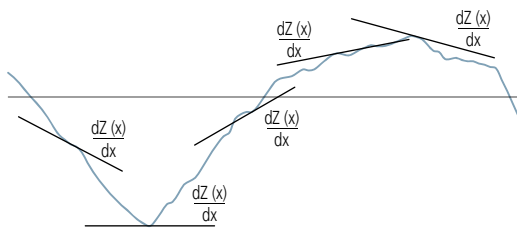
$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^4(x) dx \right]$$

L'équation ci-dessus permet de calculer Rku . Pku et Wku sont calculés de la même manière. Pku , Rku , et Wku sont des mesures de l'aplatissement de la courbe de densité de probabilité des valeurs des ordonnées.

Paramètres hybrides

Pente quadratique moyenne du profil primaire $P\Delta q$, du profil de rugosité $R\Delta q$, du profil d'ondulation $W\Delta q$

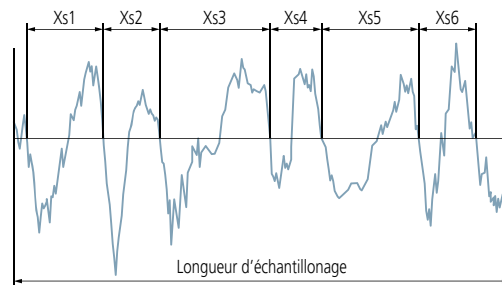
Valeur quadratique moyenne des pentes des ordonnées dZ/dX sur une longueur d'échantillonnage



Paramètres d'espacement

Largeur moyenne des éléments du profil primaire PSm , des éléments du profil de rugosité RSm , des éléments du profil d'ondulation WSm . Largeur moyenne des éléments du profil Xs sur une longueur d'échantillonnage.

$$PSm, RSm, WSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{Si}$$

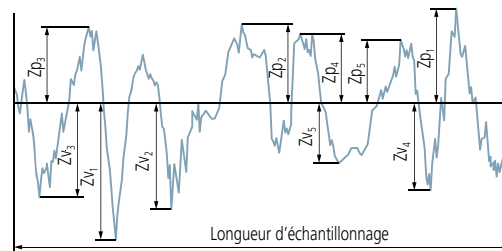


Paramètres spécifiques à la norme JIS

Hauteur de dix points d'irrégularité, Rz_{JIS} .

Somme de la valeur absolue de la hauteur moyenne des cinq plus hautes saillies du profil et de la valeur absolue de la profondeur moyenne des cinq creux les plus profonds du profil, mesurées depuis la ligne moyenne sur une longueur d'échantillonnage du profil de rugosité. Ce profil est obtenu à partir du profil primaire en appliquant un filtre passe bande à phase correcte avec des valeurs de cut-off de l_c et l_s .

$$Rz_{JIS} = \frac{(Zp_1 + Zp_2 + Zp_3 + Zp_4 + Zp_5) + (Zv_1 + Zv_2 + Zv_3 + Zv_4 + Zv_5)}{5}$$



Symbole	Profil utilisé
Rz_{JIS82}	Profil mesuré
Rz_{JIS94}	Profil de rugosité obtenu à partir du profil primaire en appliquant un filtre passe haut à phase correcte

Écart moyen arithmétique du profil Ra_{75} .

Moyenne arithmétique des valeurs absolues des écarts par rapport à la ligne moyenne sur une longueur d'échantillonnage du profil de rugosité (75%). Ce profil est obtenu à partir d'un profil mesuré en appliquant un filtre passe haut analogique avec un facteur d'atténuation de 12dB/octave et une valeur de cutoff de λ_c .

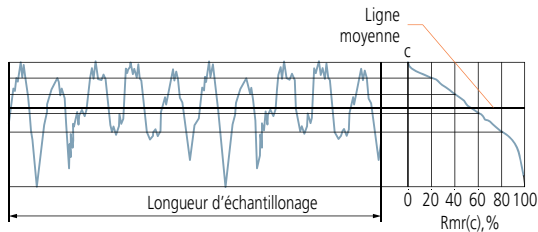
$$Ra_{75} = \frac{1}{l_n} \int_0^{l_n} |Z(x)| dx$$

Surftest (Mesure des états de surface)

Définition des paramètres (cont.)

Courbes, courbe de densité de probabilité et paramètres associés

Courbe du taux de longueur portante du profil (courbe Abbott Firestone).
 Courbe représentant le taux de longueur portante du profil en fonction du niveau c .

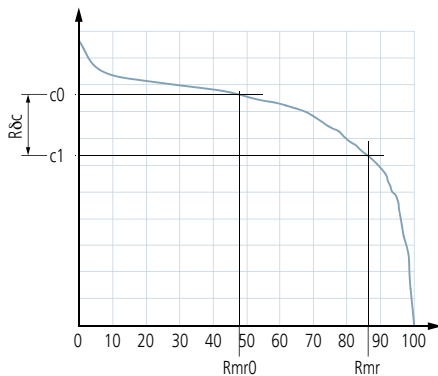


Taux de longueur portante du profil primaire $Pmr(c)$, du profil de rugosité $Rmr(c)$, du profil d'ondulation $Wmr(c)$.
 Rapport entre la longueur portante du profil $Ml(c)$ à un niveau donné c et la longueur d'évaluation.

$$Pmr(c), Rmr(c), Wmr(c) = \frac{Ml(c)}{ln}$$

Différence de hauteur de coupe du profil primaire $P\delta c$, du profil de rugosité $R\delta c$, du profil d'ondulation $W\delta c$
 Distance verticale entre deux niveaux de coupe de la courbe du taux de longueur portante.

$$P\delta c = c(Rmr1) - c(Rmr2); Rmr1 < Rmr2$$



Taux de longueur portante relatif du profil primaire Pmr , du profil de rugosité Rmr , du profil d'ondulation Wmr .
 Taux de longueur portante déterminé pour un niveau de coupe donné $R\delta c$ (ou $P\delta c$ et $W\delta c$) par rapport au niveau de coupe de référence $c0$.

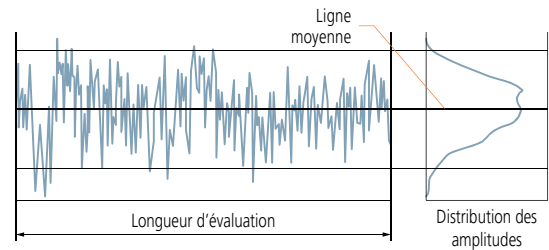
$$Pmr, Rmr, Wmr = Pmr(c1), Rmr(c1), Wmr(c1)$$

where $c1 = c0 - R\delta c$ ($P\delta c, W\delta c$)
 $c0 = c(Pmr0, Rmr0, Wmr0)$

Courbe de densité de probabilité

(courbe de distribution des amplitudes de hauteur du profil).

Exemple de courbe de distribution des amplitudes des ordonnées $Z(x)$ sur une longueur d'échantillonnage.



Longueur d'échantillonnage Paramètres de rugosité, ISO 4288

Tableau 1 : Longueur d'échantillonnage pour le calcul des paramètres de rugosité ($Ra, Rq, Rsk, Rku, R\Delta q$), la courbe de taux de portance, la courbe de distribution des amplitudes et les paramètres associés de profils non périodiques.

Ra (μm)	Longueur d'échantillonnage lr (mm)	Longueur d'évaluation ln (mm)
$(0,006) < Ra \leq 0,02$	0,08	0,4
$0,02 < Ra \leq 0,1$	0,25	1,25
$0,1 < Ra \leq 2$	0,8	4,0
$2 < Ra \leq 10$	2,5	12,5
$10 < Ra \leq 80$	8,0	40,0

Tableau 2 : Longueur d'échantillonnage pour le calcul des paramètres de rugosité (Rz, Rv, Rp, Rc, Rt) de profils non périodiques.

$Rz, Rz1max.$ (μm)	Longueur d'échantillonnage lr (mm)	Longueur d'évaluation ln (mm)
$(0,025) < Rz, Rz1max. \leq 0,1$	0,08	0,4
$0,1 < Rz, Rz1max. \leq 0,5$	0,25	1,25
$0,5 < Rz, Rz1max. \leq 10$	0,8	4,0
$10 < Rz, Rz1max. \leq 50$	2,5	12,5
$50 < Rz, Rz1max. \leq 200$	8,0	40,0

1) Rz est utilisé pour la mesure de Rz, Rv, Rp, Rc , et Rt .

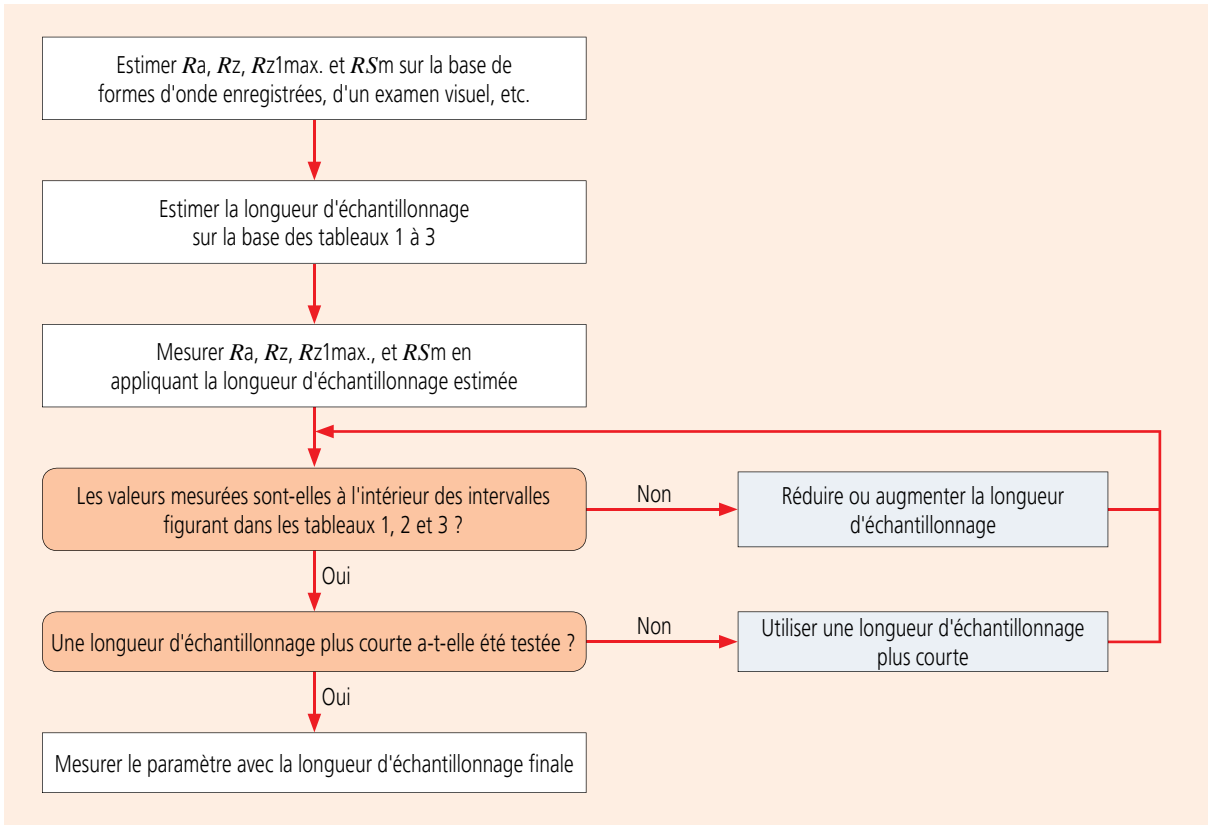
2) $Rz1max.$ est utilisé uniquement pour le calcul de $Rz1max., Rv1max., Rp1max.,$ et $Rc1max.$

Tableau 3 : Longueur d'échantillonnage pour le calcul des paramètres de rugosité de profils périodiques et du paramètre de rugosité de profils périodiques et non périodiques Rsm .

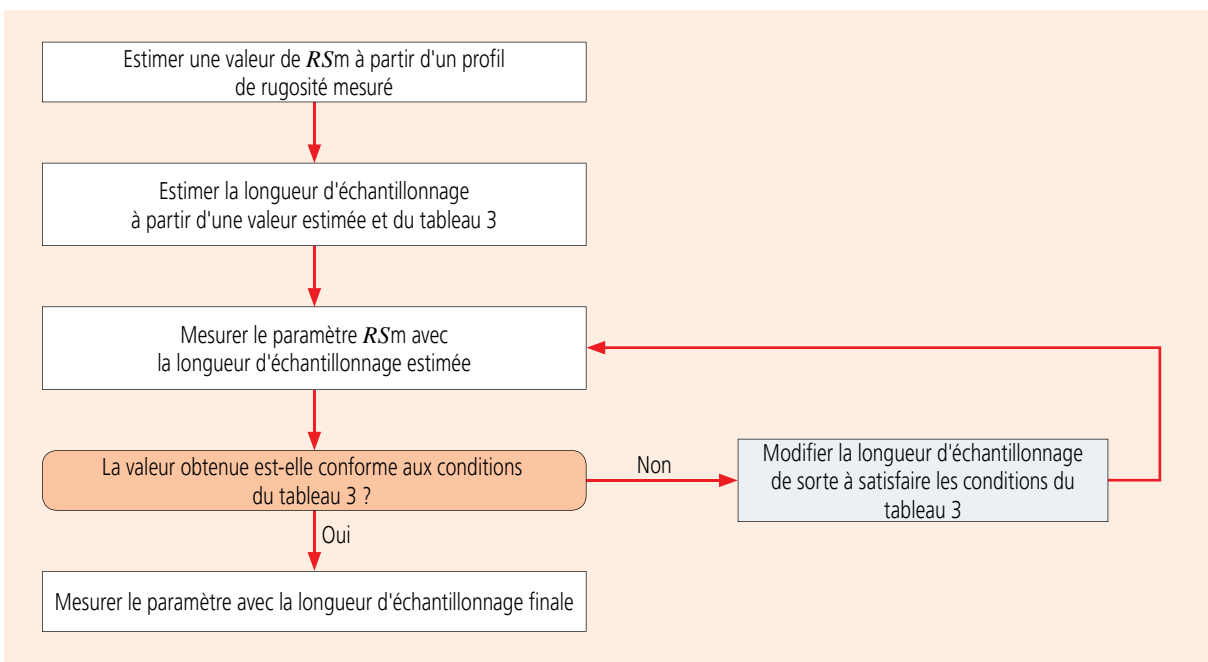
Rsm (mm)	Longueur d'échantillonnage lr (mm)	Longueur d'évaluation ln (mm)
$0,013 < Rsm \leq 0,04$	0,08	0,4
$0,04 < Rsm \leq 0,13$	0,25	1,25
$0,13 < Rsm \leq 0,4$	0,8	4,0
$0,4 < Rsm \leq 1,3$	2,5	12,5
$1,3 < Rsm \leq 4$	8,0	40,0

Procédure de détermination de la longueur d'échantillonnage si celle-ci n'est pas spécifiée

> Fig 1: Procédure de détermination de la longueur d'échantillonnage d'un profil non périodique si celle-ci n'est pas spécifiée.



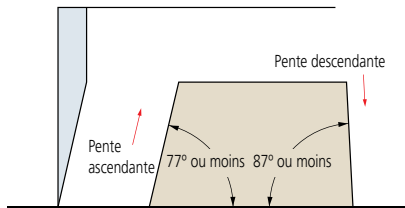
> Fig 2: Procédure de détermination de la longueur d'échantillonnage d'un profil périodique si celle-ci n'est pas spécifiée.



Contracer (Mesureurs de profils)

Angle traçable

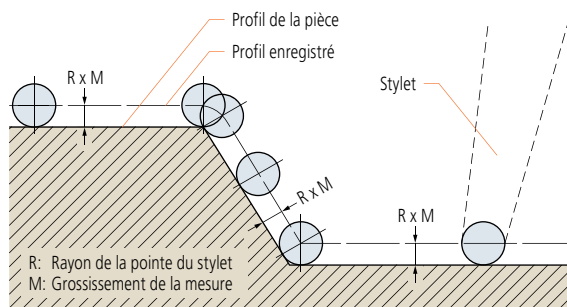
L'angle traçable est l'angle maximum selon lequel le stylet peut mesurer vers le haut ou vers le bas le profil d'une pièce, dans le sens de déplacement du stylet. Un stylet muni d'une pointe chanfreinée d'un côté et orientée selon un angle de 12° (comme sur la figure ci-dessus) peut mesurer une pente ascendante maximum de 77° et une pente descendante maximum de 87° . Avec un stylet conique (cône de 30°), l'angle traçable est plus petit. Une pente ascendante formant un angle total de 77° ou moins peut en fait comprendre un angle de plus de 77° en raison de la rugosité de la surface. La rugosité affecte également la force de mesure.



Pour le modèle CV-3200/4500, le même type de stylet (SPH-71 : stylet à pointe chanfreinée d'un côté avec un angle de pointe de 12°) peut mesurer une pente ascendante maximum de 77° et une pente descendante maximum de 83° .

Compensation du rayon de la pointe du stylet

Le profil enregistré représente le « lieu géométrique » du centre de la pointe sur la surface de la pièce. (Le rayon-type de la pointe est de 0,025 mm). Bien entendu, ce profil est différent du profil réel de la surface de la pièce et c'est pour cette raison qu'afin d'obtenir un enregistrement précis, il est nécessaire de compenser l'effet induit par le rayon de la pointe en effectuant un traitement numérique des données.



Si le profil est lu par le système à travers un modèle ou une échelle, il est nécessaire de compenser le rayon de la pointe du stylet avant la lecture en fonction du coefficient de grossissement de mesure appliqué.

Précision

Les unités de détection des axes X et Z sont dotées de codeurs linéaires, la valeur de grossissement n'est pas affichée sous la forme d'un pourcentage mais exprimée par la valeur de déplacement linéaire sur chaque axe.

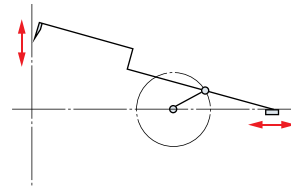
Bras à guidage simple ou complexe

Dans le cas d'un simple bras rotatif, le « lieu géométrique » que la pointe du stylet trace pendant le déplacement vertical (direction Z) est un arc de cercle involontairement décalé d'une certaine distance dans le sens de l'axe X. Ce décalage implique l'application d'une compensation. Plus l'arc de cercle est grand, plus le décalage (δ) à compenser est grand. (Voir figure, en bas à gauche.) La solution alternative consiste à utiliser un système de liaison mécanique complexe pour obtenir un lieu géométrique linéaire selon l'axe Z et ne plus avoir à compenser dans le sens de X.

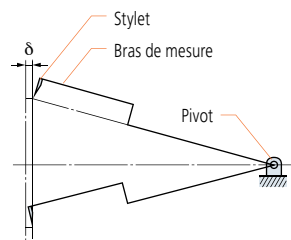
Compensation de la rotation du bras

Le stylet est monté sur un bras rotatif qui lui permet de pivoter pendant la mesure de la surface pour que la pointe ne se déplace pas uniquement dans la direction de l'axe Z. Il est alors nécessaire d'appliquer une compensation dans la direction de l'axe X pour garantir la précision de la mesure. Il existe trois méthodes de compensation de la rotation du bras.

1: Compensation mécanique



2: Compensation électrique ou traitement numérique



δ : Déplacement indésirable selon X à compenser

Pour mesurer le profil d'une pièce qui comporte un déplacement vertical important avec une précision optimale, il est indispensable d'utiliser une de ces méthodes de compensation.

Méthodes de mesure sur l'axe Z

Bien que la méthode de mesure la plus couramment utilisée sur l'axe X soit l'utilisation d'une règle numérique, les mesures sur l'axe Z s'effectuent soit selon une méthode analogique (avec un transformateur différentiel, etc.) soit avec un codeur numérique. La méthode analogique offre une résolution variable en fonction de l'amplification et de la plage de mesure. Les codeurs numériques ont une résolution constante. Les codeurs numériques offrent généralement une plus grande précision que la méthode analogique.

Coupure de sécurité en cas de surcharge

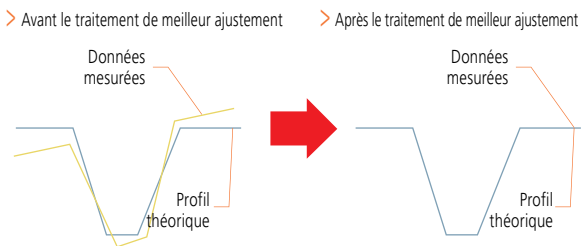
Si une force excessive (surcharge) est exercée sur la pointe du stylet, suite au contact avec un épaulement trop important de la surface de la pièce, ou avec une bavure, etc., un dispositif de sécurité interrompt automatiquement le fonctionnement et un signal acoustique retentit. Ce type d'instrument est fréquemment équipé de dispositifs de sécurité séparés pour les charges dans la direction de mesure (axe X) et les charges verticales (axe Y). Sur le modèle CV-3200/4500, le dispositif de sécurité intervient si le bras se désolidarise du bras de support.

Méthodes d'analyse des profils

Le profil mesuré est transféré vers le bloc de traitement numérique des données en temps réel et un programme dédié permet d'effectuer une analyse en utilisant la souris ou le clavier. Les valeurs des angles, des rayons, des épaulements, des pas et tout autre type d'information sont affichés directement sous la forme de valeurs numériques. Des analyses mettant en jeu plusieurs systèmes de coordonnées peuvent être facilement réalisées. Le graphique obtenu est transmis à l'imprimante en tant que profil enregistré avant l'étape de correction du rayon de la pointe du stylet.

Meilleur ajustement

Lorsqu'une norme existe pour les valeurs du profil de la surface, le tolérancement avec les valeurs théoriques est réalisé conformément à cette norme. Si aucune norme n'est spécifiée ou si seul un tolérancement de forme est souhaité, un traitement appelé « meilleur ajustement » (best-fitting) est réalisé entre les valeurs théoriques et les valeurs relevées.



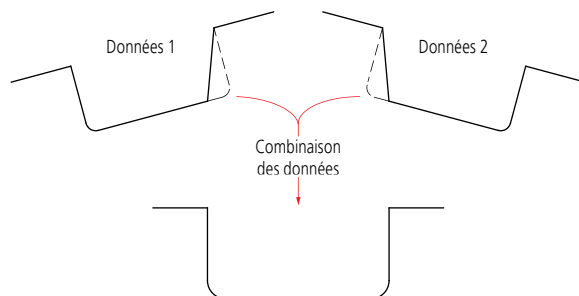
L'algorithme du traitement de meilleur ajustement recherche les écarts entre les deux séries de points et dérive un système de coordonnées où la somme des carrés des écarts est la plus petite quand les points mesurés sont superposés aux points théoriques.

Tolérancement des valeurs théoriques

Les valeurs du profil mesuré peuvent également être comparées à des valeurs théoriques, en termes de formes réelles et théoriques, pour aller au-delà d'une analyse séparée de chaque dimension. Avec cette fonction, chaque différence entre le profil mesuré et le profil théorique est affichée et enregistrée. De même, les valeurs obtenues après la mesure d'une pièce peuvent être traitées de sorte à constituer un modèle théorique auquel les autres pièces seront comparées. Cette fonction est particulièrement utile lorsque la forme d'une section altère la performance du produit ou quand sa forme a une influence sur la relation entre des pièces d'un assemblage.

Combinaison des données

Par convention, si le tracé complet d'un profil est impossible en raison de la limite d'angle traçable du stylet, le profil est divisé en plusieurs parties mesurées et évaluées séparément. Cette fonction résout le problème en combinant les différentes parties pour former un unique profil et en superposant les éléments communs (lignes, points). Avec cette fonction, la totalité du profil peut être affichée et les différentes analyses peuvent être réalisées normalement.



Exemples de mesures



> Profil de lentille asphérique.



> Profil intérieur/extérieur d'un roulement.



> Denture intérieure d'engrenage.



> Mesure d'un taraudage.



> Mesure d'un filetage.



> Profil d'un gabarit.

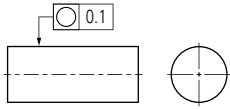
Roundtest (Contrôleurs de cylindricité)

Basé sur normes ISO 1101 : 2012 et ISO 4291 : 1985. Voir les normes pour approfondissement si nécessaire.

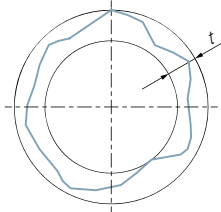
○ Circularité

Toute ligne circonférentielle doit être contenue à l'intérieur d'une zone de tolérance formée par deux cercles coplanaires présentant une différence de rayon de t

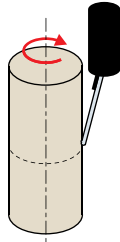
> Exemple de cotation



> Zone de tolérance.



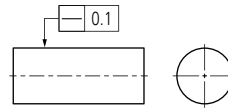
> Exemple de vérification à l'aide d'un instrument de mesure de la circularité



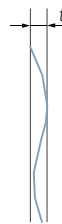
— Rectitude

Toute ligne de la surface doit se situer à l'intérieur d'une zone de tolérance formée par deux droites parallèles distantes de t dans la direction spécifiée.

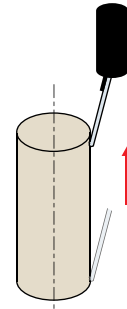
> Exemple de cotation



> Zone de tolérance



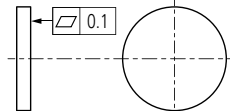
> Exemple de vérification à l'aide d'un instrument de mesure de la circularité



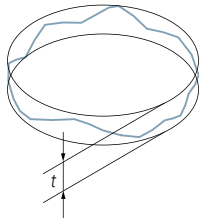
▯ Planéité

La surface doit être contenue dans la zone de tolérance formée par deux plans parallèles distants de t .

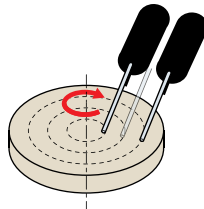
> Exemple de cotation



> Zone de tolérance



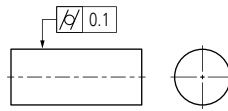
> Exemple de vérification à l'aide d'un instrument de mesure de la circularité



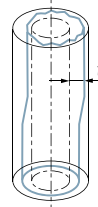
∩ Cylindricité

La surface doit être contenue à l'intérieur de la zone de tolérance formée par deux cylindres coaxiaux présentant une différence de rayon de t .

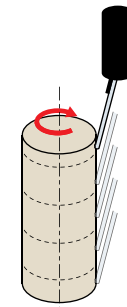
> Exemple de cotation



> Zone de tolérance



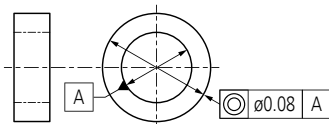
> Exemple de vérification à l'aide d'un instrument de mesure de la circularité



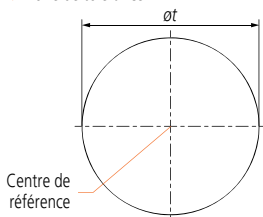
◎ Concentricité

Le centre doit se situer dans la zone de tolérance formée par un cercle concentrique au cercle de référence et d'un diamètre de t .

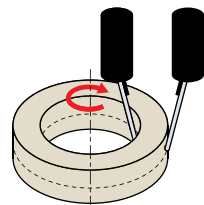
> Exemple de cotation



> Zone de tolérance



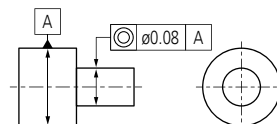
> Exemple de vérification à l'aide d'un instrument de mesure de la circularité



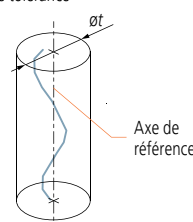
◎ Coaxialité

L'axe doit être contenu dans la zone de tolérance formée par un cylindre concentrique au cylindre de référence et d'un diamètre de t .

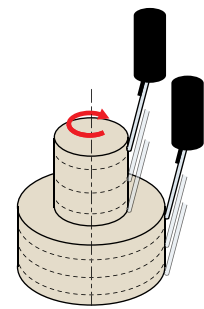
> Exemple de cotation



> Zone de tolérance



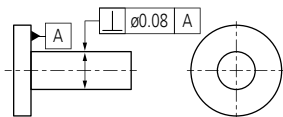
> Exemple de vérification à l'aide d'un instrument de mesure de la circularité



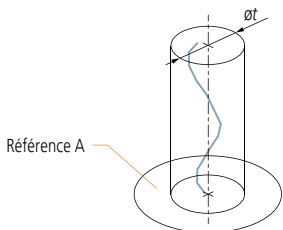
⊥ Perpendicularité

La ligne ou surface doit être contenue à l'intérieur de la zone de tolérance formée par deux plans distants de t et perpendiculaires à la référence.

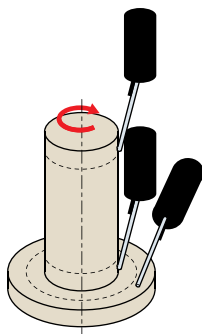
> Exemple de cotation : Axe/Plan



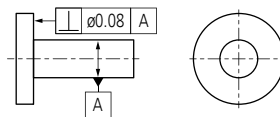
> Zone de tolérance.



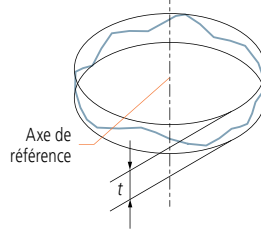
> Exemple de vérification à l'aide d'un instrument de mesure de la circularité



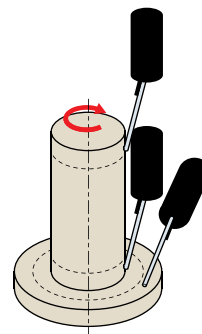
> Exemple de cotation : Plan/Axe



> Zone de tolérance.



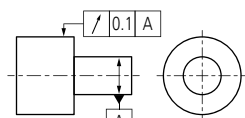
> Exemple de vérification à l'aide d'un instrument de mesure de la circularité



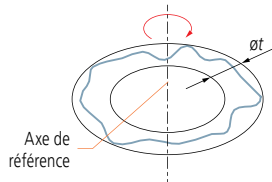
/ Battement circulaire

La ligne doit être contenue à l'intérieur de la zone de tolérance formée par deux cercles coplanaires et/ou concentriques distants de t et concentriques ou perpendiculaires par rapport à la référence.

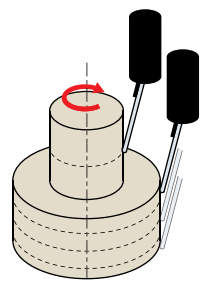
> Exemple de cotation : Radial.



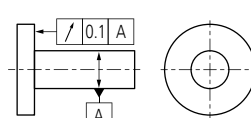
> Zone de tolérance.



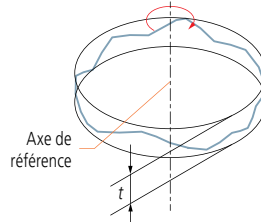
> Exemple de vérification à l'aide d'un instrument de mesure de la circularité



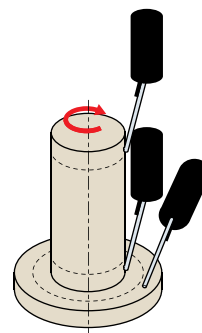
> Exemple de cotation : Axial.



> Zone de tolérance.



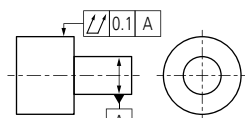
> Exemple de vérification à l'aide d'un instrument de mesure de la circularité



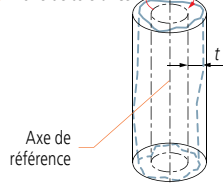
// Battement total

La surface doit être contenue à l'intérieur de la zone de tolérance formée par deux cylindres coaxiaux présentant une différence de rayon de t ou des plans distants de t , concentriques ou perpendiculaires par rapport à la référence.

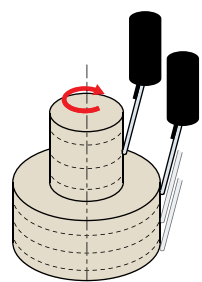
> Exemple de cotation : Radial.



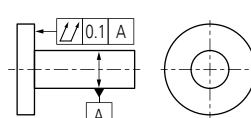
> Zone de tolérance



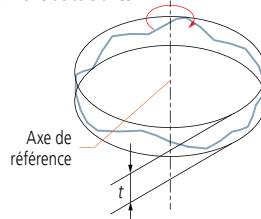
> Exemple de vérification à l'aide d'un instrument de mesure de la circularité



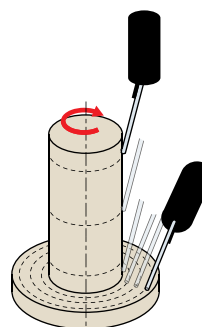
> Exemple de cotation : Axial.



> Zone de tolérance



> Exemple de vérification à l'aide d'un instrument de mesure de la circularité

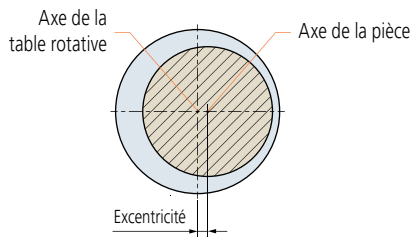


Roundtest (Contrôleurs de cylindricité)

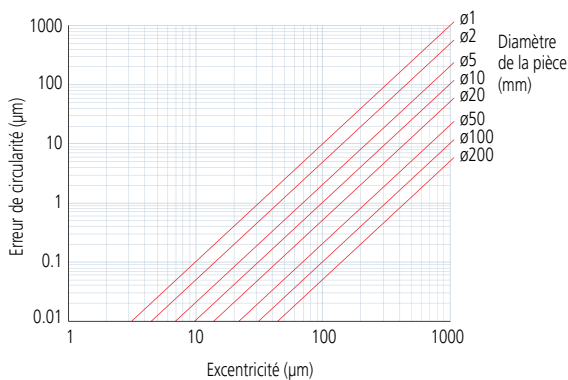
Ajustements avant la mesure

Centrage

Tout décalage (excentricité) entre l'axe de la table rotative du Roundtest et celui de la pièce entraîne une déformation de la forme mesurée (erreur de limaçon) et une erreur de calcul de la valeur de circularité. Plus l'excentricité est grande, plus l'erreur de circularité calculée est grande. La pièce doit donc être parfaitement centrée (coïncidence des axes) avant la mesure. Certains mesureurs de circularité effectuent des mesures précises grâce à une fonction de correction de l'erreur de limaçon. L'efficacité de cette fonction est illustrée sur la figure ci-dessous.

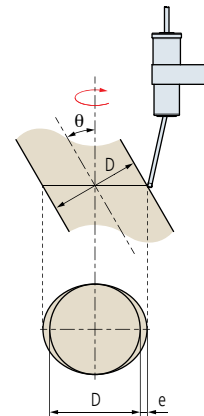


> Effet de la fonction de compensation de l'excentricité

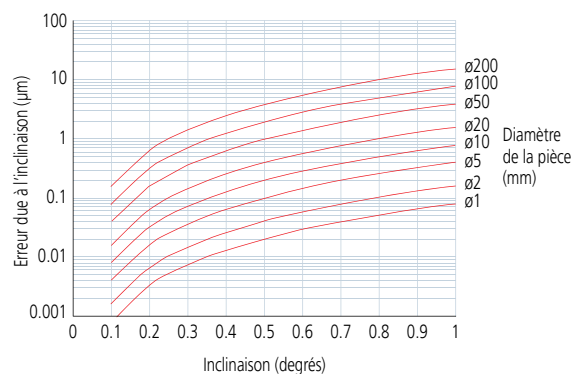


Nivellement

Toute inclinaison de l'axe de la pièce par rapport à l'axe de rotation de l'instrument de mesure entraîne une erreur elliptique. Un nivellement doit être effectué pour s'assurer que les axes sont effectivement parallèles.



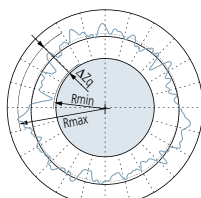
> Erreur elliptique induite par l'inclinaison



Évaluation de la circularité du profil mesuré

Les contrôleurs de circularité utilisent les données mesurées pour générer des cercles de référence dont les dimensions permettent de définir la valeur de circularité. Il existe quatre méthodes de génération des cercles de référence, comme l'illustrent les figures ci-dessous. Chaque méthode ayant ses propres caractéristiques, il est important de choisir celle qui correspond le mieux à la fonction de la pièce.

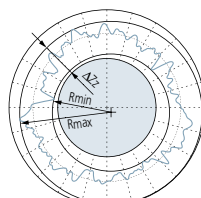
> Méthode du cercle des moindres carrés (LSC)



$$RONt = R_{max} - R_{min}$$

Cercle circonscrivant le profil mesuré de sorte que la somme des carrés des écarts entre le profil et le cercle soit la plus petite possible. La valeur de circularité est égale à la différence maximum entre le profil et le cercle (de la plus haute saillie au creux le plus profond).

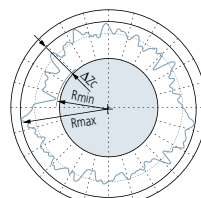
> Méthode des cercles de zone minimale (MZC)



$$RONt = R_{max} - R_{min}$$

Deux cercles concentriques sont positionnés de manière à circonscrire le profil mesuré à une distance radiale minimale. La valeur de circularité est égale à la distance radiale séparant les deux cercles.

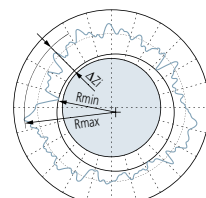
> Méthode du cercle minimal circonscrit (MCC)



$$RONt = R_{max} - R_{min}$$

Soit le plus petit cercle circonscrivant le profil mesuré. La valeur de circularité est égale à la distance maximum entre le profil et le cercle. Ce cercle est parfois qualifié de "bague étalon".

> Méthode du cercle maximal inscrit (MIC)



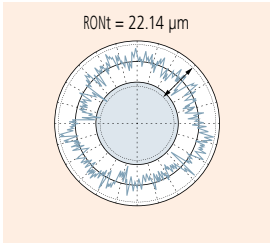
$$RONt = R_{max} - R_{min}$$

Soit le plus grand cercle inscrit dans le profil mesuré. La valeur de circularité est égale à la distance maximale entre le profil et ce cercle. Ce cercle est parfois qualifié de "pige étalon".

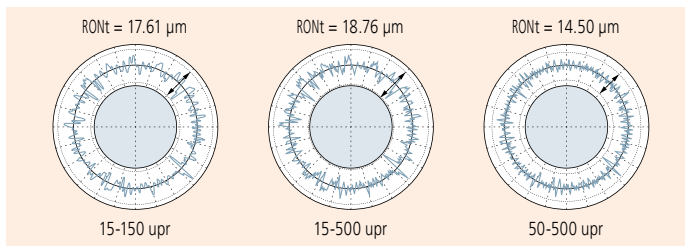
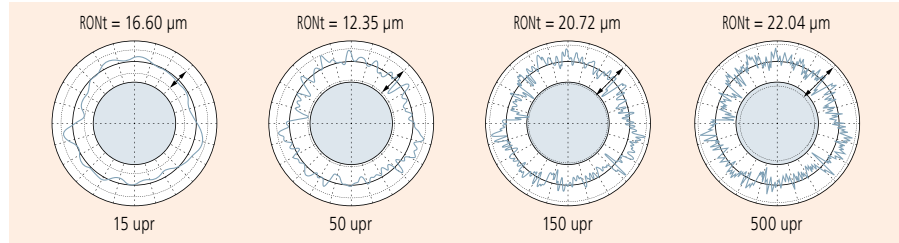
Effet des différents filtres sur le profil mesuré

Les valeurs de circularité mesurées sont considérablement modifiées par la valeur de cut-off du filtre. Il est indispensable de choisir le filtre correspondant au type d'évaluation à réaliser.

> Aucun filtre



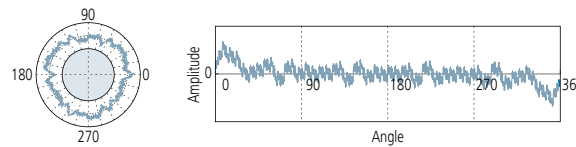
> Filtre passe-bas



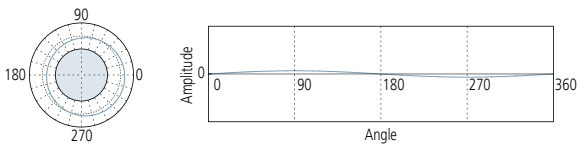
> Filtre passe-bande

Ondulations par tour (UPR) dans les graphiques de circularité

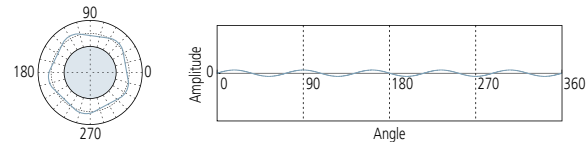
> Représentation graphique des résultats



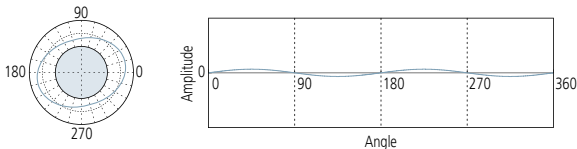
Une seule UPR indique une excentricité de la pièce par rapport à l'axe de rotation de l'instrument de mesure. L'amplitude des composantes d'ondulation dépend de l'ampleur du défaut de nivellement.



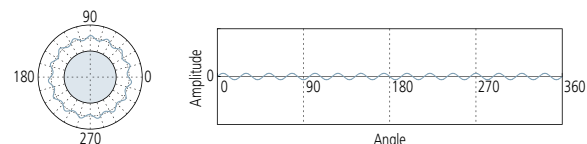
La présence de 5 à 15 UPR indique souvent des facteurs de déséquilibre dans la méthode de ou les processus de fabrication de la pièce.



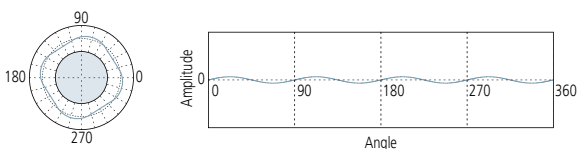
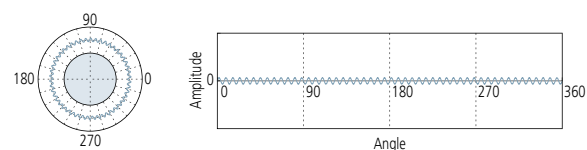
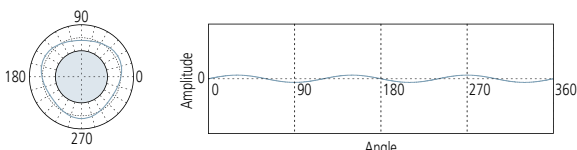
La présence de deux UPR peut indiquer : (1) un nivellement insuffisant de l'instrument de mesure ; (2) un battement circulaire dû à un mauvais montage de la pièce sur la machine-outil qui lui a donné sa forme ; (3) la forme elliptique de la pièce est conforme au dessin comme dans le cas des pistons de moteur à combustion.



La présence de 15 (ou plus) UPR est généralement due à des chocs d'outils, des vibrations de la machine, des effets du circuit de refroidissement, un défaut d'homogénéité des matériaux, etc. et dérive généralement davantage du fonctionnement que du montage de la pièce.



La présence de 3 à 5 UPR peut indiquer : (1) Une déformation due à un serrage excessif du mandrin de l'instrument de mesure ; (2) Déformation consécutive au relâchement de la contrainte de serrage du mandrin de la machine-outil qui a créé la forme de la pièce.



Testeurs de dureté

Méthodes d'essai et aide à la sélection d'un testeur de dureté

	Méthode d'essai								
	Micro-dureté (Micro-Vickers)	Caractéristiques matérielles des micro surfaces	Vickers	Rockwell	Rockwell Superficielle	Brinell	Shore	Pour éponge, caoutchouc, matière plastique	Portatif par rebondissement
Matériau	Circuit intégré	●	●						
	Carbure, céramique (outil de coupe)		▲	●	●				
	Carbure, céramique (outil de coupe)	●	▲	●	●	●		●	●
	Alliage non ferreux	●	▲	●	●	●			●
	Matière plastique		▲		●			●	
	Pierre abrasive				●				
	Pièces moulées						●		
	Éponge, caoutchouc							●	
	Feuille de métal fine (lame de rasoir, film métallique)	●	●	●		●			
	Film, plaquage, peinture, revêtement de surface (couche de nitrure)	●	●						
Forme	Petites pièces, pièces en forme d'aiguille (aiguilles de montres, aiguilles à coudre)	●	▲						
	Pièces de grande dimension (charpente)					●	●		●
	Matériaux métalliques composites (dureté à chaque phase d'alliage multicouche)	●	●						
	Plaque de plastique	▲	▲		●			●	
	Éponge, caoutchouc							●	
	Application	Résistance ou propriétés physiques des matériaux	●	●	●	●	●	●	●
Procédé de trempe	●		●	●	●		▲		▲
Épaisseur de la cémentation au carbure	●		●						
Épaisseur de la couche de décarburation	●		●		●				
Profondeur de la trempe à la flamme ou par haute fréquence	●		●	●					
Essai de durcissabilité			●	●					
Dureté maximale d'un point soudé			●						
Dureté de soudure			●	●					
Dureté à haute température (propriétés à haute température, malléabilité à chaud)			●						
Résistance à la rupture (céramique)	●		●						

Légende : ● = Adapté, ▲ = Raisonnablement approprié

Méthodes de mesure de la dureté

1) Vickers

La méthode de mesure de la dureté Vickers est la méthode la plus polyvalente car elle permet de contrôler la dureté avec n'importe quelle force d'essai. Elle est utilisée dans de très nombreux domaines en particulier lors de mesures avec une force d'essai inférieure à 9,807 N (1kgf). Comme le montre la formule ci-dessous, la dureté Vickers est égale à la force d'essai F (N) divisée par la surface de contact S (mm²) entre la pièce et le pénétrateur, qui est calculée à partir de la longueur de la diagonale d (mm, moyenne des deux diagonales) de l'empreinte créée par le pénétrateur (un diamant de forme pyramidale, angle des faces opposées $\theta = 136^\circ$) sur la pièce avec une force d'essai F (N). k est une constante (1/g=1/9.80665).

$$HV = k \frac{F}{S} = 0.102 \frac{F}{S} = 0.102 \frac{2F \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad \begin{matrix} F : N \\ d : mm \end{matrix}$$

La précision d'un essai de dureté Vickers est obtenue par la formule ci-dessous. $\Delta d1$, $\Delta d2$ et 'a' représente respectivement l'erreur due au microscope, l'erreur de lecture de l'empreinte et la longueur de l'arête séparant les deux faces opposées de la pointe du pénétrateur. $\Delta \theta$ est exprimé en degrés.

$$\frac{\Delta HV}{HV} \cong \frac{\Delta F}{F} - 2 \left(\frac{\Delta d1 + \Delta d2}{d} \right) - \frac{a^2}{d^2} \cdot 3.5 \times 10^{-3} \Delta \theta$$

2) Knoop

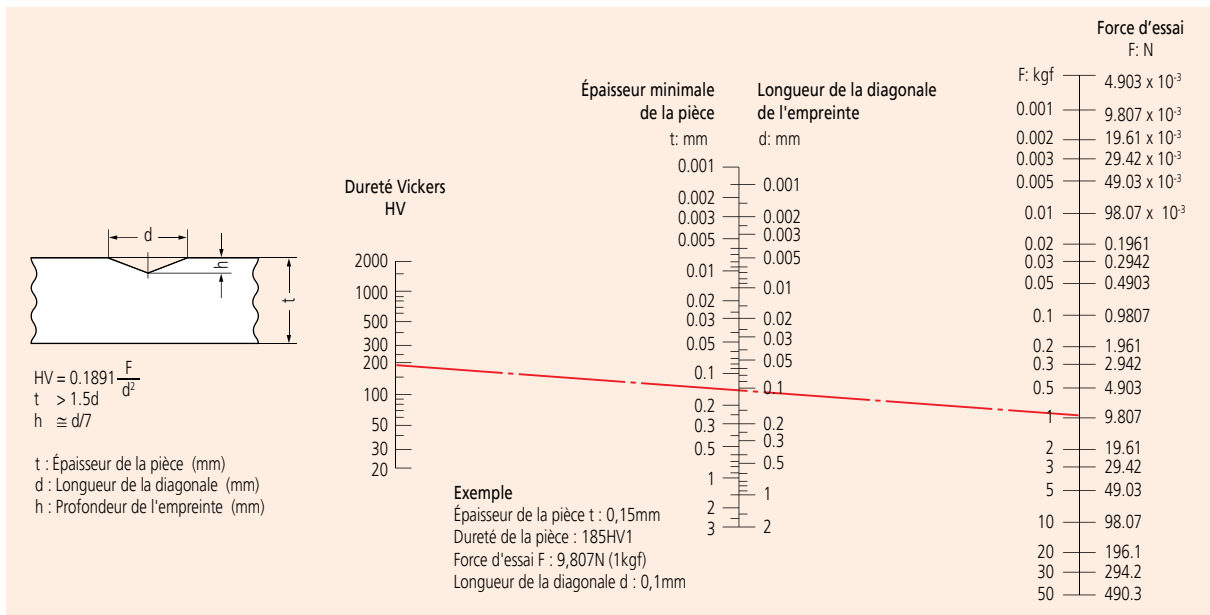
Comme le montre la formule ci-dessous, la dureté Knoop est égale à la force d'essai divisée par la surface projetée A (mm²) d'une empreinte, calculée à partir de la longueur de la diagonale d (mm) de l'empreinte créée par un pénétrateur en diamant en forme de losange (angles des faces opposées de $172^\circ 30'$ et 130°) sur une pièce avec une force d'essai F. La dureté Knoop peut également être mesurée en remplaçant le pénétrateur Vickers du testeur de micro dureté par un pénétrateur Knoop.

$$HK = k \frac{F}{A} = 0.102 \frac{F}{A} = 0.102 \frac{F}{cd^2} = 1.451 \frac{F}{d^2} \quad \begin{matrix} F : N \\ d : mm \\ c : constante \end{matrix}$$

3) Dureté Rockwell et dureté Rockwell superficielle

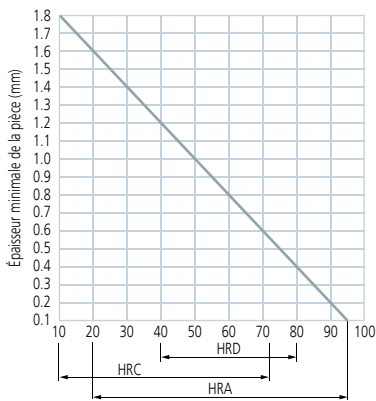
Pour mesurer la dureté Rockwell ou la dureté Rockwell superficielle, on applique d'abord une précharge d'essai puis la force d'essai sur une pièce, puis de nouveau la précharge d'essai avec un pénétrateur en diamant (angle du cône de la pointe : 120° , rayon de la pointe : 0,2 mm) ou un pénétrateur sphérique (bille d'acier ou bille en carbure). Cette valeur de dureté est obtenue à l'aide de la formule de calcul de dureté sur la base de la différence de profondeur des empreintes h (µm) créées avec la précharge d'essai et la force d'essai. La précharge d'essai de dureté Rockwell est de 98,07 N et de dureté Rockwell superficielle de 29,42 N. Les symboles représentant différentes combinaisons de pénétrateur, de force d'essai et de formule de dureté sont regroupés sous la forme d'échelle. Les normes industrielles japonaises (JIS) définissent les différentes échelles et les valeurs de dureté correspondantes.

Relation entre dureté Vickers et épaisseur minimale de la pièce

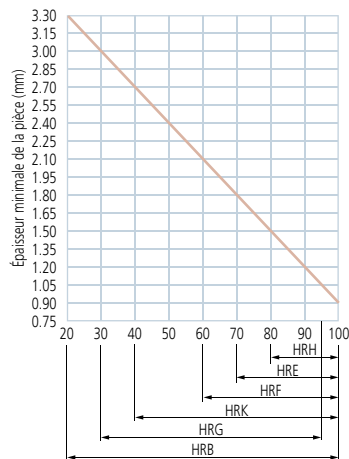


Relation entre dureté Rockwell/Rockwell superficielle et épaisseur minimale de la pièce

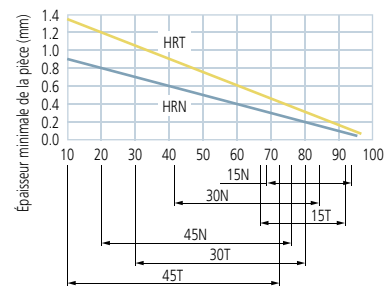
> Dureté Rockwell



> Dureté Rockwell



> Dureté Rockwell superficielle



Échelle de dureté de Rockwell

Échelle	Pénétrateur	Charge d'essai (N)	A utiliser avec
A	Diamant	588.4	Carbure, feuille d'acier
D		980.7	Acier cimenté
C		1471	Acier (supérieur à 100HRB ou inférieur à 70HRC)
F	Bille d'un diamètre de 1,5875 mm	588.4	Métal antifriction, cuivre recuit
B	Bille d'un diamètre de 3,175 mm	980.7	Laiton.
G		1471	Alliage d'aluminium durci, cuivre au béryllium, bronze phosphoreux
H		588.4	Métal antifriction, pierre abrasive
E	Bille d'un diamètre de 3,175 mm	980.7	Métal antifriction
K		1471	
L		588.4	
M	Bille d'un diamètre de 6,35 mm	980.7	Plastiques, plomb
P		1471	
R	Bille d'un diamètre de 12,7 mm	588.4	Matière plastique
S		980.7	
V		1471	

Échelle de dureté de Rockwell superficielle

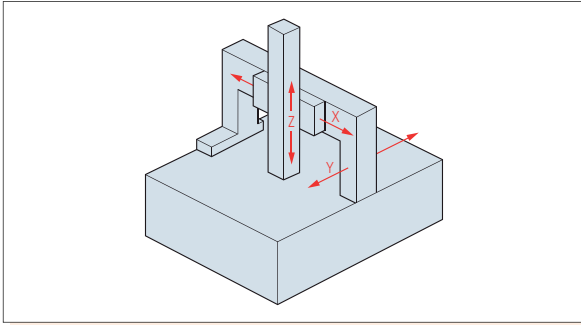
Échelle	Pénétrateur	Charge d'essai (N)	A utiliser avec
15N	Diamant	147.1	Couche fine et dure sur acier comme une couche carburée ou nitrurée
30N		294.2	
45N		441.3	
15T	Bille d'un diamètre de 1,5875 mm	147.1	Feuille de métal fine en acier tendre, laiton, bronze, etc.
30T		294.2	
45T		441.3	
15W	Bille d'un diamètre de 3,175 mm	147.1	Plastiques, zinc, alliage à roulement
30W		294.2	
45W		441.3	
15X	Bille d'un diamètre de 6,35 mm	147.1	Plastiques, zinc, alliage à roulement
30X		294.2	
45X		441.3	
15Y	Bille d'un diamètre de 12,7 mm	147.1	Plastiques, zinc, alliage à roulement
30Y		294.2	
45Y		441.3	

Machines de Mesure Tridimensionnelle

Les machines de mesure tridimensionnelle pour applications de mesure générale sont disponibles en de multiples configurations, mais les trois modèles décrits ci-dessous font partie des plus populaires. La comparaison porte notamment sur les points suivants : stabilité, rapport du volume de mesure sur le volume total, facilité de fixation des pièces et coût d'achat. La configuration portique fixe est privilégiée pour les machines de la classe de précision supérieure.

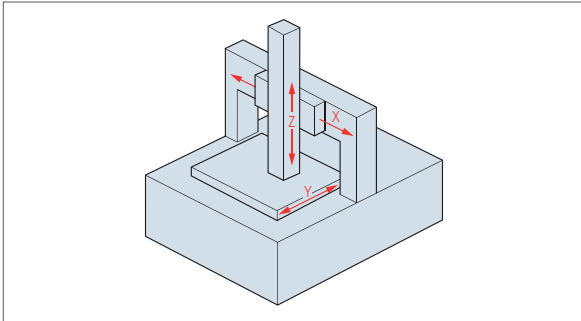
MMT à portique mobile

Ce type de machine possède un bras à déplacement vertical (axe Z) fixé sur une poutre qui se déplace horizontalement (axe X) sur un portique mobile effectuant lui-même des déplacements horizontaux (axe Y) sur la base de la machine. La pièce est installée sur cette dernière.



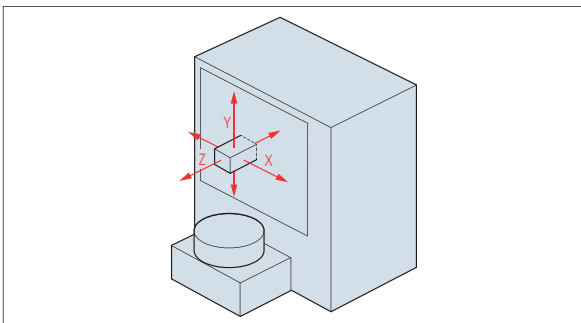
MMT à portique fixe

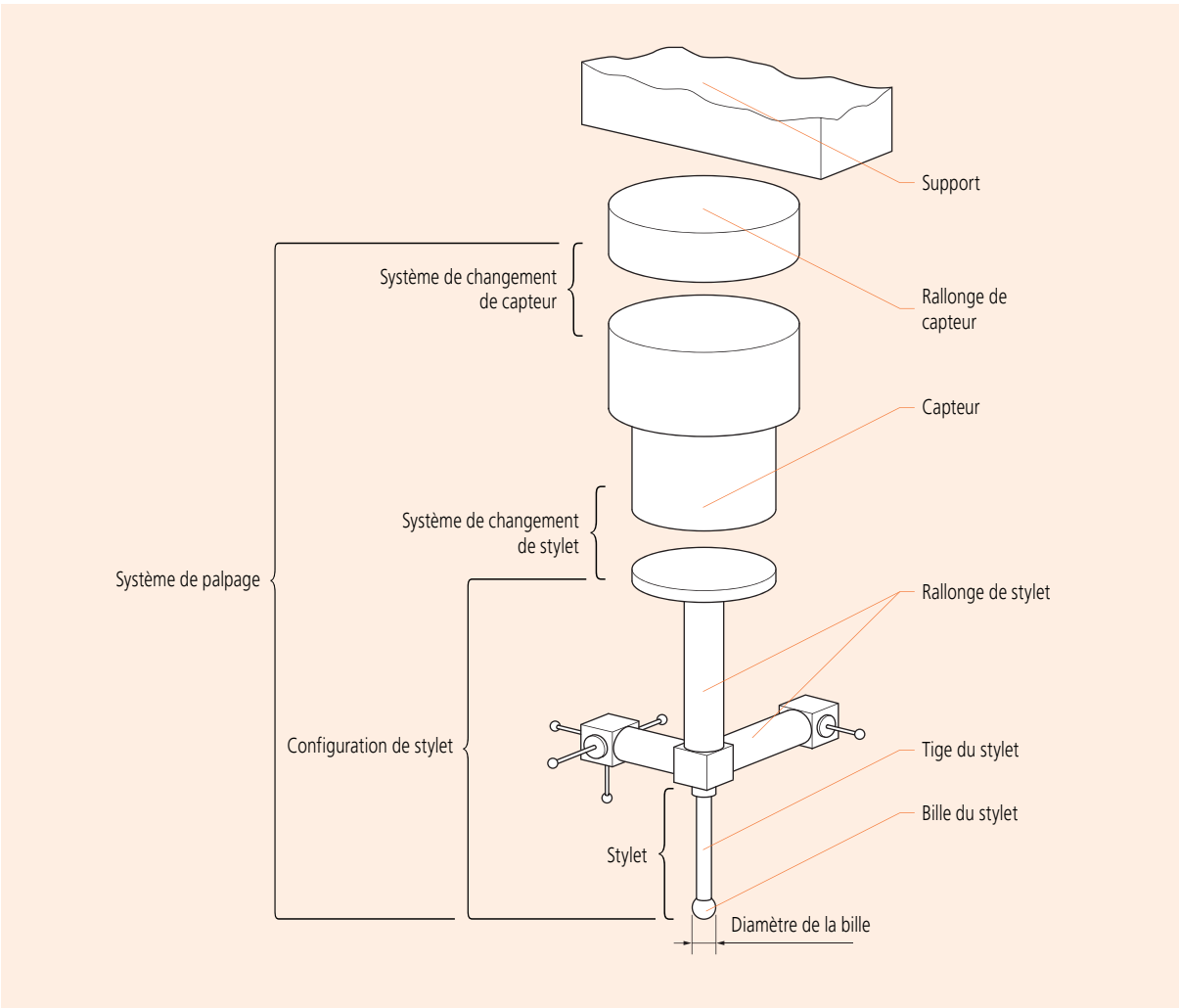
Ce type de machine se compose d'un bras à déplacement vertical (axe Z) fixé sur une poutre qui se déplace horizontalement (axe X) sur un portique fixé à la base et d'une table mobile dans le sens horizontal (axe Y). La pièce est installée sur la table mobile.



MMT à bras horizontal

Ce type de machine possède un bras à déplacement horizontal (axe Z) fixé sur une poutre qui se déplace verticalement (axe Y) le long d'une colonne elle-même en mouvement horizontal (axe X) sur une base. La pièce est installée sur la base.





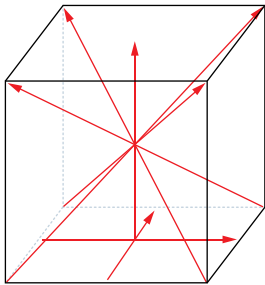
Machines de Mesure Tridimensionnelle

La méthode d'évaluation des performances des MMT fait l'objet de la norme internationale à parties multiples ISO 10360. Les paramètres spécifiques aux MMT définis dans cette norme et susceptibles d'être évoqués dans les catalogues et brochures de produits Mitutoyo sont présentés ci-après.

Erreur de mesure maximale admissible MPEE [ISO10360-2]

La procédure d'essai au sens de cette norme prévoit que la machine de mesure tridimensionnelle (MMT) doit effectuer une série de mesures sur cinq longueurs d'essai différentes dans chacune des sept directions indiquées sur la figure 1 afin d'effectuer un ensemble de 35 mesures. Cette séquence est ensuite répétée deux fois pour obtenir, au total, 105 mesures. Si les résultats obtenus, incluant les tolérances en matière d'incertitude de mesure, sont inférieurs ou égaux aux valeurs préconisées par le fabricant, les performances de la MMT sont considérées comme conformes aux spécifications.

La norme permet jusqu'à cinq mesures pour faire mieux que la valeur spécifiée (deux résultats NG sur 3 mesures à la même position ne sont pas acceptés). Dans ce cas, 10 mesures supplémentaires à la même position doivent être effectuées. Si les 10 résultats, incluant la tolérance d'incertitude de mesure, sont dans les limites spécifiées, l'essai de la MMT est considéré comme réussi. Les incertitudes à prendre en compte pour déterminer l'erreur de mesure maximale admissible sont celles relatives aux méthodes d'étalonnage et d'alignement visées par les normes dimensionnelles portant sur les matériaux concernés par l'essai. (Les valeurs obtenues en ajoutant une incertitude étendue combinant les deux incertitudes citées ci-dessus doivent être inférieures à la valeur spécifiée). Le résultat de l'essai peut être exprimé, au choix, dans une des formes suivantes (unité : mm).



> Figure 1
Directions caractéristiques des mesures d'essai dans le volume de mesure de la MMT.

$$E_{0,MPE} = A + L/K \leq B$$

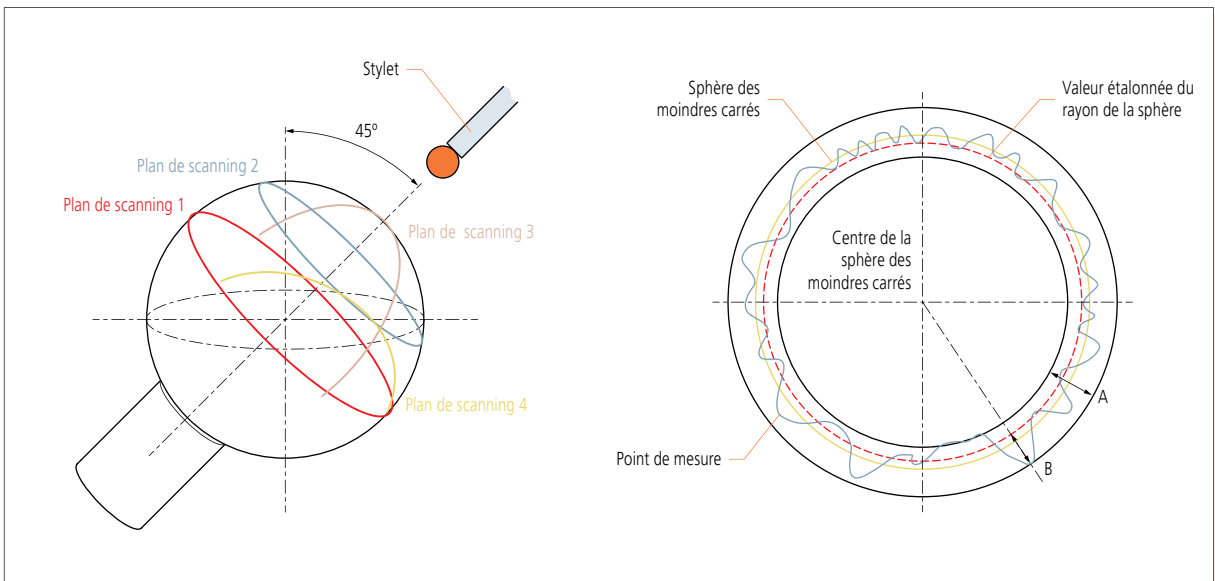
$$E_{0,MPE} = A + L/K$$

$$E_{0,MPE} = B$$

- A : Constante (µm) spécifiée par le fabricant
- K : Constante dimensionnelle spécifiée par le fabricant
- L : Longueur mesurée (mm)
- B : Limite supérieure (µm) spécifiée par le fabricant

Erreur de scanning maximale admissible MPE_{THP} [ISO10360-4]

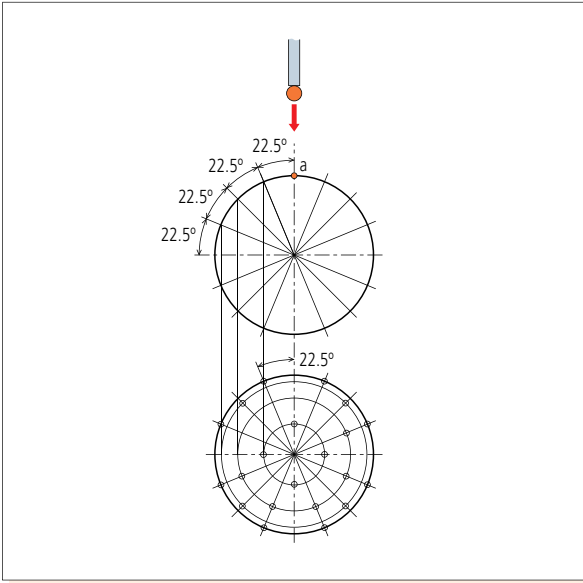
Cette norme de précision concerne les MMT équipées d'un palpeur à scanning. Les erreurs de palpéage à scanning ont été normalisées dans la JIS B 7440-2 (2003) pour la première fois. La procédure d'essai au sens de cette norme prévoit une mesure par scanning de 4 plans sur la sphère étalon puis, après avoir positionné le centre de la sphère par méthode des moindres carrés à partir de tous les points mesurés, le calcul de la plage (cote "A" sur la figure 3) regroupant tous les points mesurés. La procédure prévoit ensuite de calculer, à partir du centre de la sphère obtenu par la méthode des moindres carrés, la distance entre le rayon de la sphère étalon et le point maximum et minimum, et de conserver la plus grande des deux valeurs obtenues (cote "B" sur la figure 3). Une incertitude étendue combinant l'incertitude liée à la forme de la pointe du stylet et celle de la géométrie de la sphère d'essai est ajoutée à la valeur de A et de B. Si les deux valeurs calculées sont inférieures aux valeurs spécifiées, l'essai du palpeur à scanning est réussi.



> Figure 2
Plans cibles pour la détermination de l'erreur de scanning maximale admissible et son principe d'évaluation.

Erreur de palpage maximale admissible MPE^P [ISO10360-2]

La procédure d'essai au sens de cette norme prévoit l'utilisation d'un palpeur pour mesurer des points donnés sur une sphère étalon (25 points, comme sur la figure 2) et l'utilisation des résultats pour calculer la position du centre de la sphère par la méthode des moindres carrés. La distance R entre le centre de la sphère et chacun des 25 points mesurés, puis la différence de rayon $R_{max}-R_{min}$ sont ensuite calculées. Une incertitude étendue combinant l'incertitude de la forme de la pointe du stylet et celle de la sphère d'essai standard est ajoutée à la différence de rayon. Si la valeur ainsi obtenue est inférieure ou égale à la valeur spécifiée, l'essai du palpeur est réussi.



> Figure 2
Points cibles de la sphère étalon
pour la détermination de l'erreur
de palpage maximale admissible



Mitutoyo France

Paris Nord 2
123, rue de la Belle Etoile
B.P. 59267
ROISSY EN FRANCE
95957 ROISSY CDG Cedex
Tél.: +33 (0)1 49 38 35 00

E-mail : mitutoyo@mitutoyo.fr
www.mitutoyo.fr



0-1" .00005"
0:001mm
Mitutoyo