

Cours de Métrologie



Dr . Chihoub Rima

Université de Jijel

Faculté des sciences et de la technologie

Département de génie civil et hydraulique



Table des matières

I - Chapitre IV-Méthodes de mesures et contrôles	3
1. Mesures directes des dimensions	3
2. Mesures indirectes ou par comparaison	19
3. Machines de mesures et instruments de contrôle	21

Chapitre IV-Méthodes de mesures et contrôles

I

Dans le cadre de la mesure des longueurs et des angles, plusieurs instruments peuvent être utilisés, chacun ayant des caractéristiques spécifiques pour des applications particulières.

La mesure directe permet de lire directement la valeur de la dimension à l'aide d'instrument portant une graduation (règle graduée, pied-à-coulisse, micromètre, ...).

1. Mesures directes des dimensions

1-1- Règle (ou réglet)

La règle est un instrument de mesure simple utilisé pour mesurer des longueurs linéaires. Elle peut être graduée en millimètres ou en centimètres, et parfois en pouces dans certains systèmes impériaux. Elle est particulièrement utile pour des mesures approximatives ou des mesures rapides.

Principes d'utilisation :

- Placer la règle le long de l'objet à mesurer.
- Lire la valeur directement sur la graduation, en veillant à bien aligner la règle avec le point de départ et d'arrivée de la longueur à mesurer.
- La précision de la règle dépend de la résolution des graduations et de la lisibilité.

1-2- Pied à Coulisse

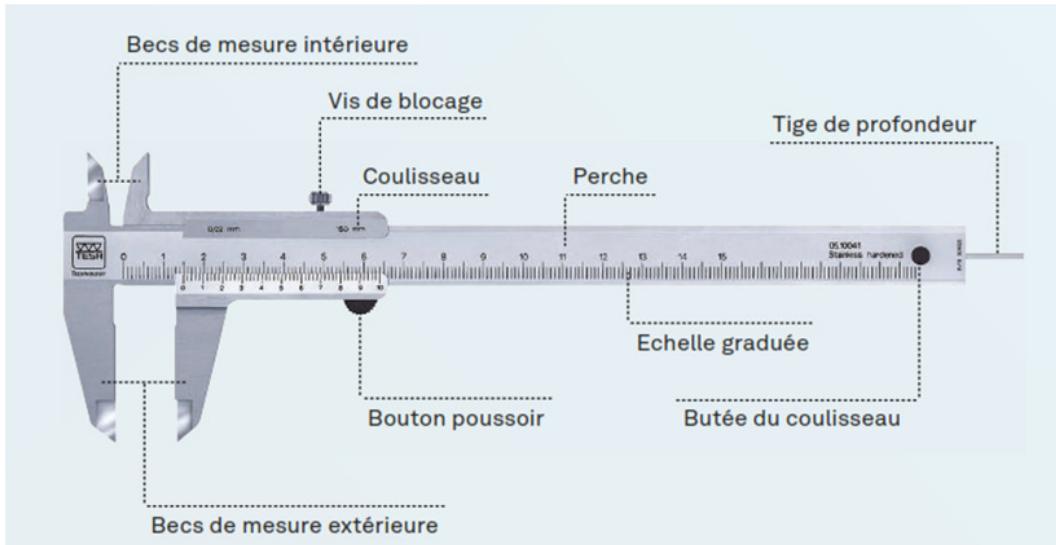
Le pied à coulisse est un instrument de mesure plus précis, capable de mesurer des dimensions intérieures, extérieures et de profondeur. Il est constitué de deux parties : une règle fixe et une partie mobile (le coulissoir) qui glisse le long de cette règle.

1-2-1-Type de pied à coulisse :

Il existe plusieurs types de pieds à coulisse, qui se distinguent principalement par leur mode de lecture et la précision qu'ils offrent.

a-Pied à coulisse à vernier

Le pied à coulisse à vernier, est l'un des types les plus anciens et les plus répandus. Il combine une règle graduée fixe avec un coulissoir mobile, sur lequel se trouve un vernier. Le vernier est une petite échelle glissée le long de la règle principale, permettant d'obtenir une lecture plus précise que celle offerte par la règle seule.



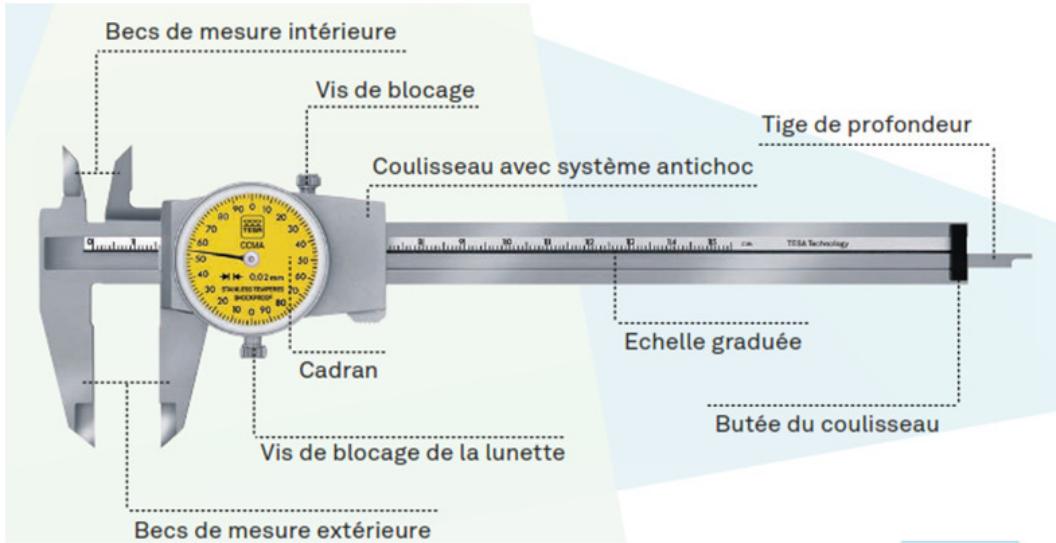
Pied à coulisse à vernier

b- Pied à coulisse à cadran

Le pied à coulisse à cadran possède un cadran analogique qui affiche directement la mesure. Le cadran montre une échelle circulaire graduée, et la lecture est plus rapide, car la mesure est directement visible.

Méthode de lecture :

- Lire la mesure sur la règle principale : Comme pour le pied à coulisse à vernier, la règle principale donne une lecture approximative.
 - Lire la mesure sur le cadran : L'indicateur du cadran montre la fraction de millimètre ou la fraction d'unité (selon la précision de l'instrument).



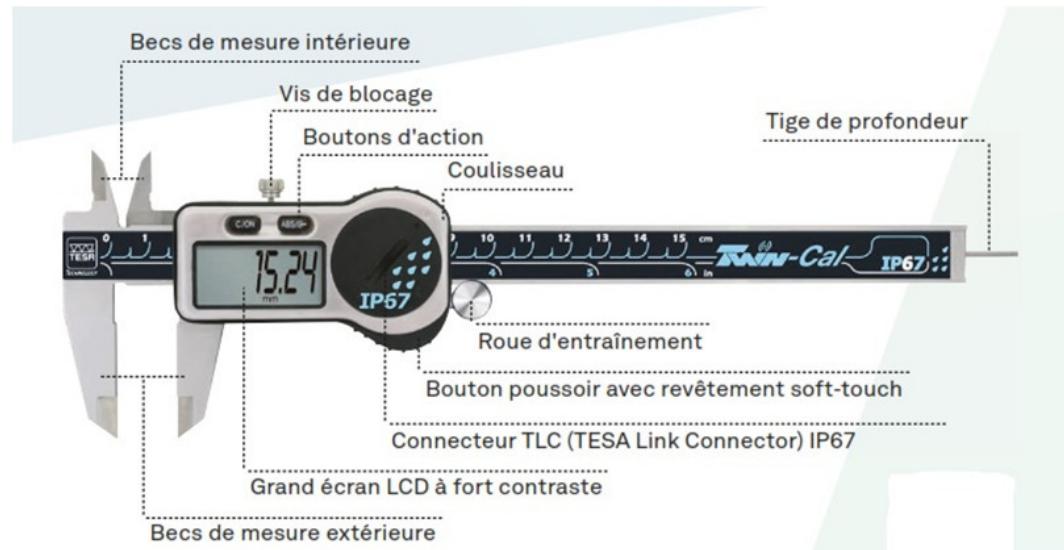
Pied à coulisse à cadran

c-Pied à coulisse digitale

Le pied à coulisse numérique affiche directement la mesure sur un écran numérique, ce qui élimine la nécessité de lire manuellement les graduations.

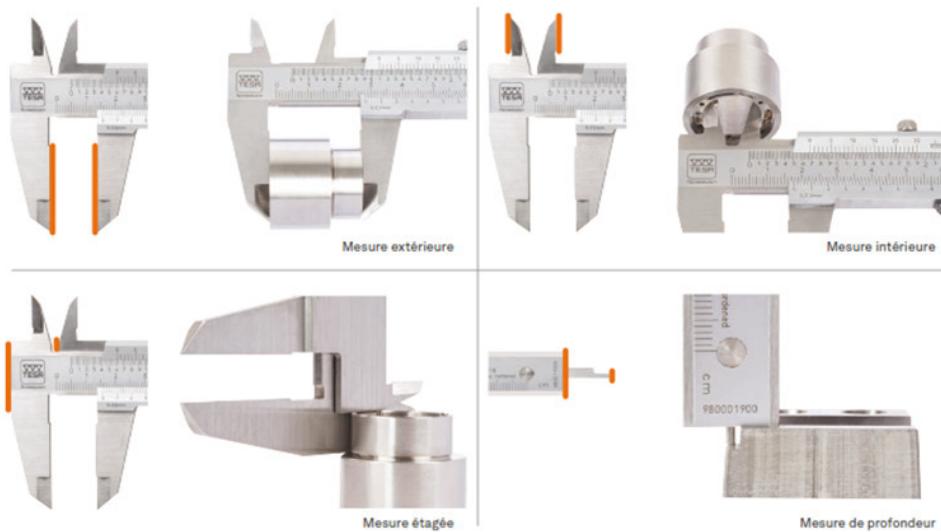
Méthode de lecture :

- Lire directement l'affichage numérique : L'écran affiche la mesure complète avec la précision choisie (par exemple, millimètres ou pouces).
- Ajuster l'unité : Certains modèles permettent de basculer entre différentes unités de mesure (millimètres, pouces, etc.) en appuyant sur un bouton.

*Pied à coulisse digital*

1-2-2-Utilisation des pieds à coulisse

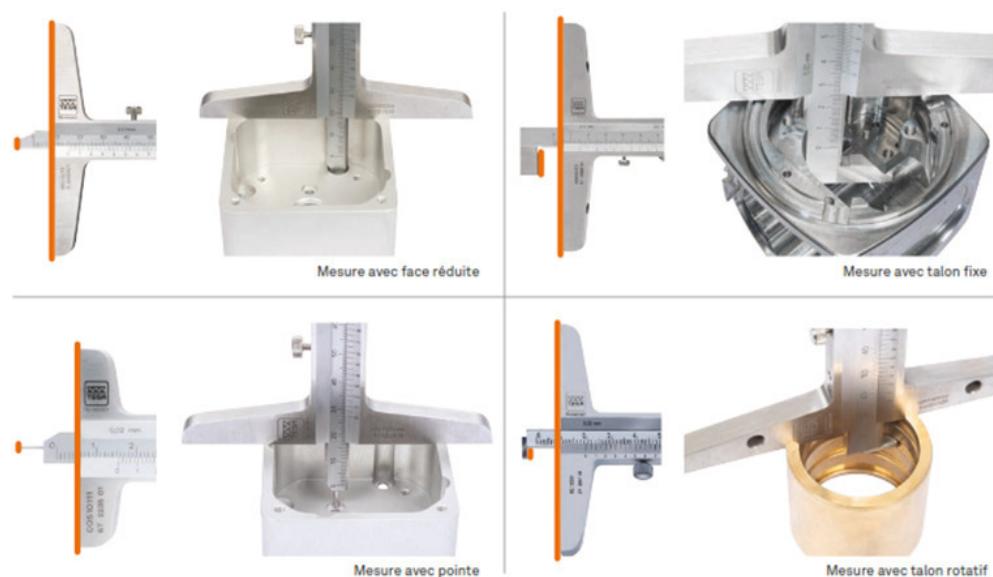
Pieds à coulisse universels



Pieds à coulisse d'atelier



Pieds à coulisse de profondeur



Pieds à coulisse spéciaux



a- Mesure des dimensions externes (diamètre extérieur, longueur, largeur)

Étapes :

- Positionner l'objet à mesurer : Placez l'objet entre les deux mâchoires externes du pied à coulisse.
- Fermer les mâchoires : Déplacez doucement la coulisse mobile pour que les mâchoires entrent en contact avec les bords extérieurs de l'objet.
- Faites la lecture de la première ligne sur l'échelle mobile. Elle pointera à un endroit de l'échelle fixe. Cette position détermine les premiers chiffres de la lecture.
- Trouvez le dernier chiffre de la lecture en examinant la ligne de l'échelle mobile qui s'aligne le mieux avec une ligne de l'échelle fixe. La ligne de l'échelle mobile détermine le dernier chiffre.

Exemple : Pour mesurer la longueur d'une pièce métallique, vous placez la pièce entre les mâchoires externes et ajustez la coulisse. Si la règle principale indique 50 mm et le vernier indique 0,2 mm, la mesure totale est de 50,2 mm.

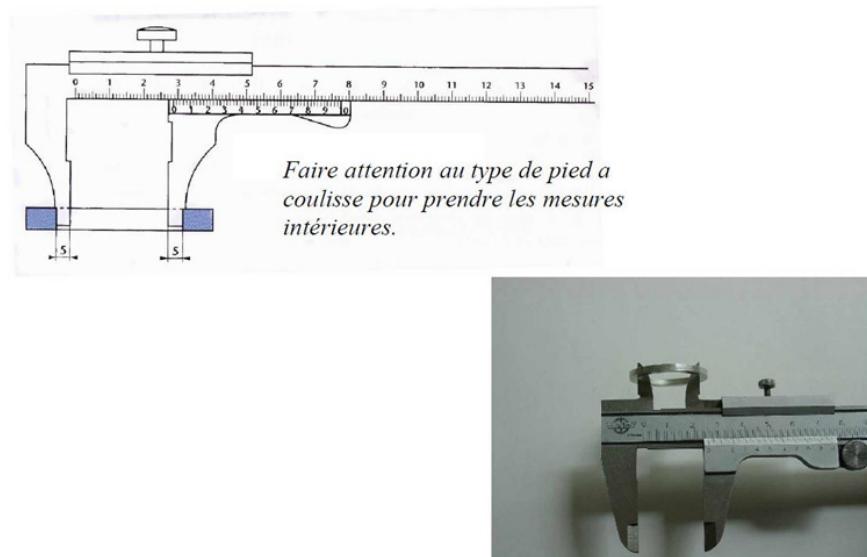


Figure 1 : Exemple de mesure externe

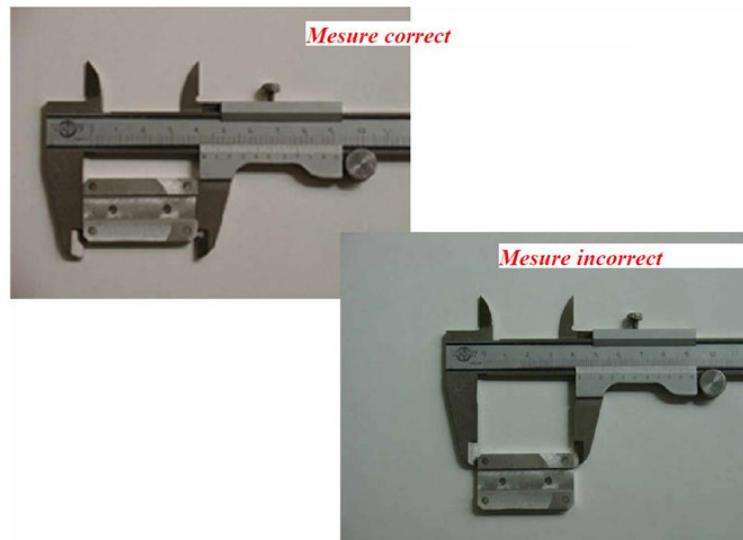
b- Mesure des dimensions internes (diamètre intérieur, écart entre les bords internes)

Étapes :

- Positionner l'objet à mesurer : Insérez les mâchoires internes du pied à coulisse à l'intérieur de l'objet (par exemple, dans un tube ou un trou).
- Écarter les mâchoires internes : Déplacez la coulisse mobile pour que les mâchoires internes touchent les bords intérieurs de l'objet.
- Lire la mesure : Comme pour la mesure externe, lisez la mesure sur la règle principale et le vernier ou l'écran numérique.

Exemple :

Pour mesurer le diamètre intérieur d'un tube, insérez les mâchoires internes du pied à coulisse à l'intérieur du tube et ajustez jusqu'à ce que les mâchoires touchent les bords internes. Si la règle principale indique 30 mm et le vernier indique 0,1 mm, la mesure totale est de 30,1 mm.



c- Mesure de la profondeur (profondeur d'un trou, d'une cavité)

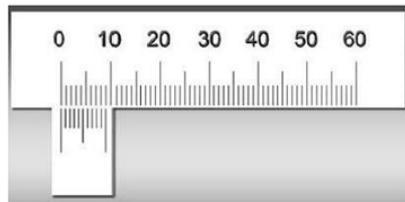
Étapes :

- Positionner la jauge de profondeur : Placez la base de la règle principale dans le fond du trou ou de la cavité à mesurer.
- Ajuster la coulisse : Déplacez la coulisse mobile jusqu'à ce qu'elle touche le fond du trou ou de la cavité.
- Lire la mesure : Lisez la mesure sur la règle principale et le vernier ou l'écran numérique pour obtenir la profondeur exacte.

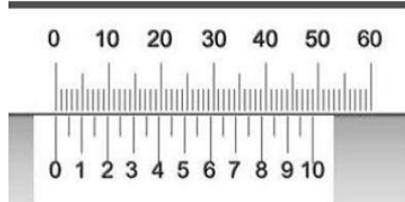
Exemple :

Pour mesurer la profondeur d'un trou dans une pièce métallique, placez la jauge de profondeur à l'intérieur du trou et ajustez la coulisse. Si la règle principale indique 40 mm et le vernier indique 0,3 mm, la mesure totale est de 40,3 mm.

Précisions de mesure

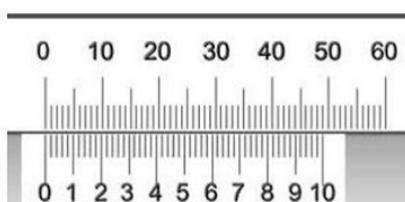


A) Le vernier au 1/10 possède 10 graduations, et mesure 0,9mm.
1 graduation = 0.1mm
5 graduations = 0.5mm



B) Le vernier au 1/20 possède 20 graduations, et mesure 1,9mm.

1 graduation = 0.05mm
8 graduations = 0.40mm
15 graduations = 0.75mm



C) Le vernier au 1/50 possède 50 graduations, et mesure 4,9mm.

1 graduation = 0.02mm
4 graduations = 0.08mm
18 graduations = 0.36mm
24 graduations = 0.48mm

Méthode de lecture :

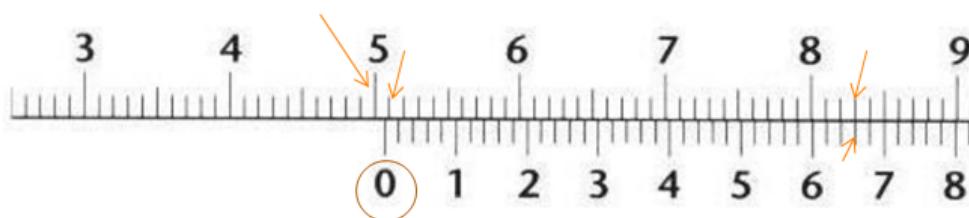
Repérer le nombre de millimètres : ici **50**

On remarque que la dimension est comprise entre **50** et **51 mm**

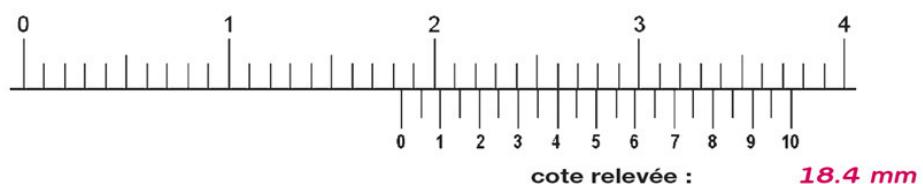
Repérer sur la vernier les 1/10 de mm, pour cela repérer où se trouvent les graduations les mieux alignées : ici entre 6 et 7, on sait donc que la dimension est comprise entre **50,6** et **50,7 mm**.

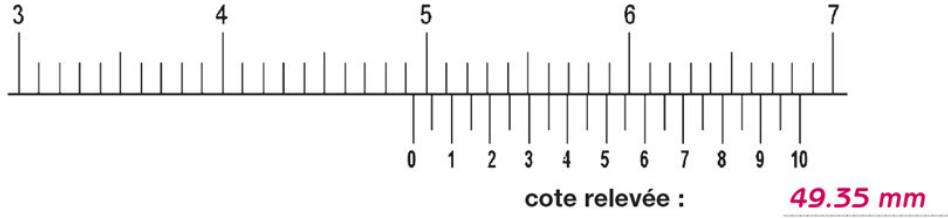
Repérer la graduation la mieux alignée, chaque graduation du vernier vaut 2/100 de mm, c'est la troisième graduation après le 6 du vernier.

La dimension est donc : **50,66 mm**.

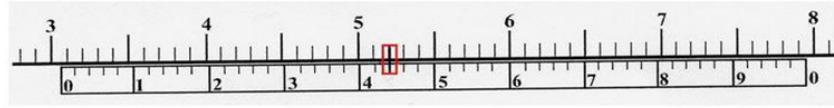


Exemple de lecture





Exemple à résoudre : quelle est la bonne lecture ?



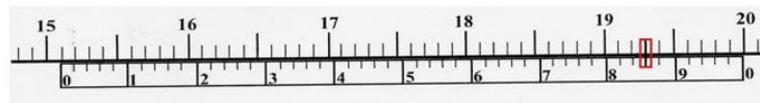
3.42

34.54

3.45

30.44

3.45



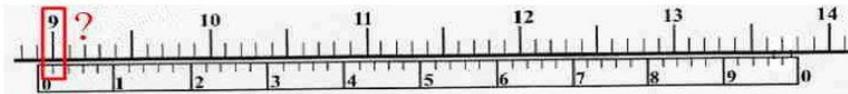
198.3

15.198

151.86

150.86

15.86



8.02

90.02

99.2

89.02

9.132

1-3-Le micromètre :

Le micromètre, aussi appelé palmer en référence à son inventeur J.L. Palmer qui l'a développé en 1848, est un instrument de mesure de haute précision. Il est constitué d'une vis de précision, la lecture étant effectuée à l'aide d'un tambour gradué pour les instruments au 1/100 mm et parfois à l'aide d'un vernier pour les instruments au 1/1 000 mm.

Le micromètre est utilisé dans des contextes industriels et de haute précision, principalement pour mesurer les dimensions de pièces de petite taille, telles que des composants mécaniques, des pièces d'assemblage ou des objets nécessitant une tolérance très fine. Il est particulièrement utile dans les secteurs de la mécanique, de l'horlogerie, de l'aéronautique et de la métallurgie, où la précision est primordiale.



Figure 2 : Ancien micromètre: 1 tour de tambour = 1 mm (tambour gradué de 0 à 99)



Figure 3 :Nouveau micromètre: 1 tour de tambour = 0.5 mm (Tambour graduer de 0 à 49)

Composition d'un micromètre

- La partie en U ou demi-circulaire possédant une touche fixe et une touche mobile actionné par un tambour.
- La partie cylindrique (fourreau) dont la génératrice est graduée en millimètre, voire en $\frac{1}{2}$ mm
- D'un tambour composé d'une vis micrométrique en acier traitée et rectifiée ;
- La douille de lecture comportant 50 divisions sur sa circonference (lecture au 1/100^e)
- Le bouton de friction qui permet de manœuvrer le micromètre sans le détériorer.
- Le système d'étalonnage (vis de réglage).

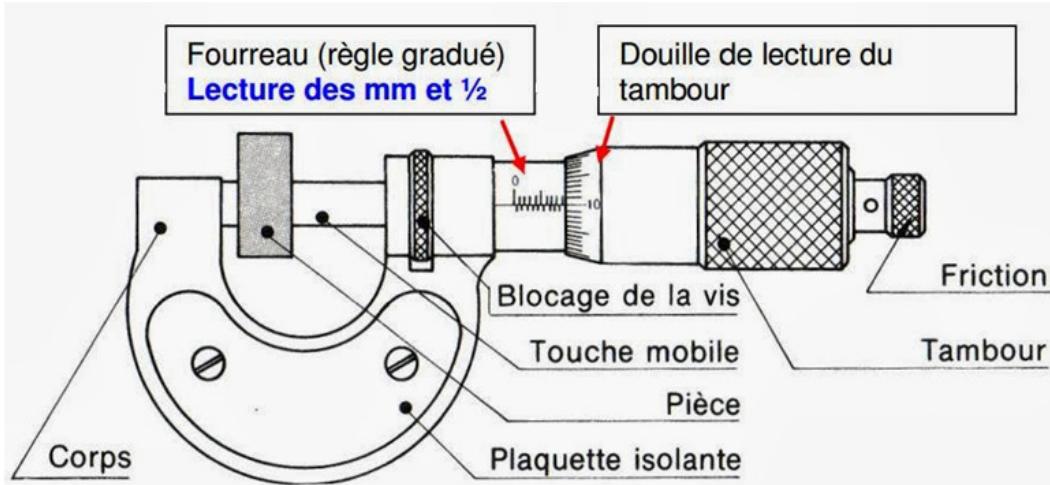
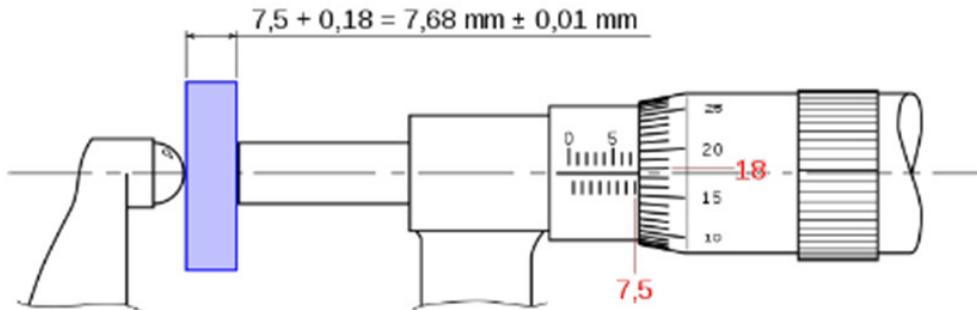


Figure 4: Constitution d'un micromètre

Un micromètre est caractérisé par :

- l'étendue de l'échelle (25 mm par exemple),
- la précision (généralement 0,01 mm),
- le pas de la vis micrométrique (0.5 ou 1 mm).

a- Méthode de lecture



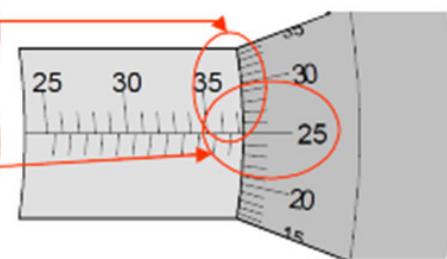
Principe de la lecture sur un micromètre d'extérieur

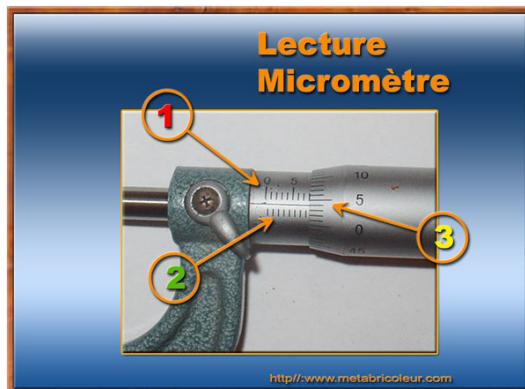
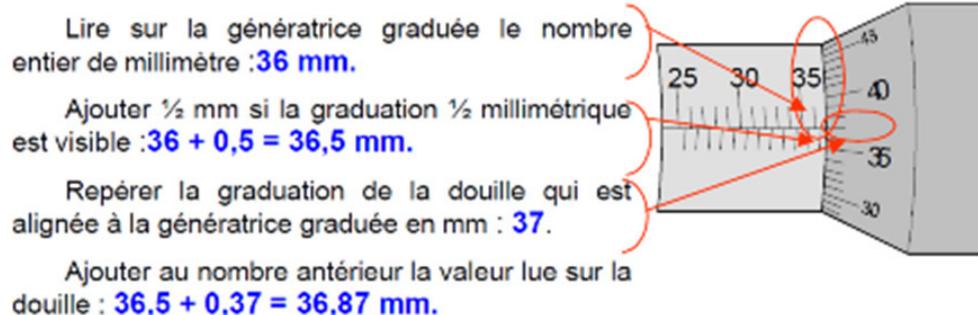
Exemples :

Lire sur la génératrice graduée le nombre entier de millimètre : **37 mm.**

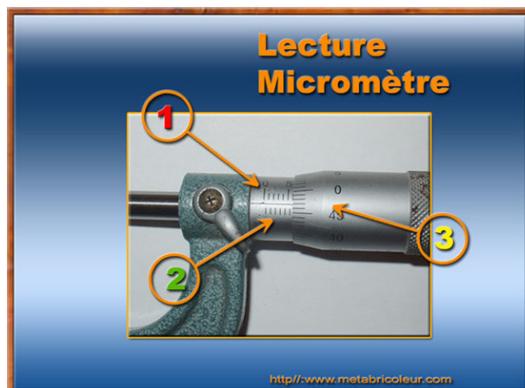
Repérer la graduation de la douille qui est alignée à la génératrice graduée en mm : **25.**

Ajouter au nombre entier de millimètre la valeur lue sur la douille : **$37 + 0,25 = 37,25 \text{ mm.}$**



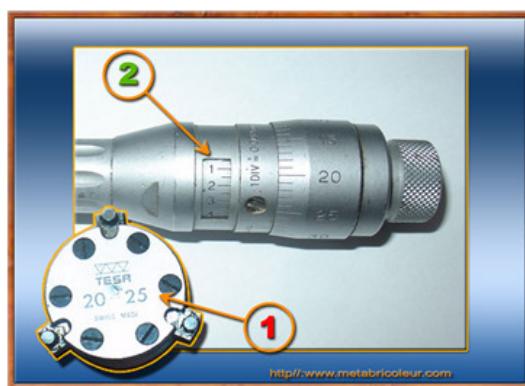


Lecture au micromètre de type standard Ici on lit en **1** : 8 mm;
en **2**: pas de demi graduation; et en **3**: 4 (1/100ème) Ce qui nous fait **8.04mm**



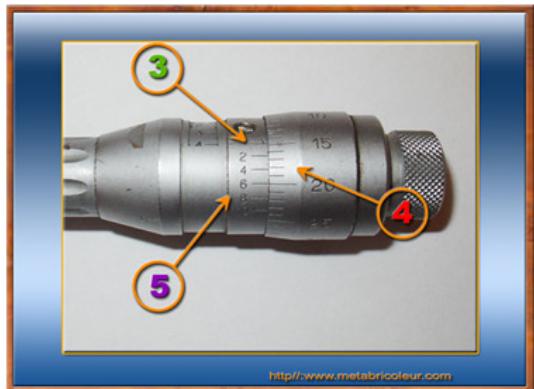
on lit en **1**: 5 mm; en **2**: +1 demi graduation de 0.5 mm ; et en **3**: 47 (1/100ème) Ce qui nous fait **5.97mm**

b- Lecture au micromètre intérieur à vernier (résolution 2μ) Composition du cadran



1: Plage de mesure (ici de 20 à 25 mm)

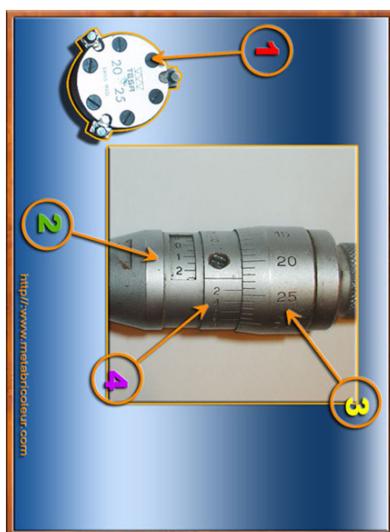
2: Cadran de lecture des mm de 0 à 5 mm avec une résolution de 0.5mm



3: Ligne de foie

4: lecture des 1/100ème

5: vernier (permettant la lecture à 2μ)



1: on sait que le micromètre a une plage de lecture de **20 à 25 mm** (ce qui nous fait 2*.***mm)

2: on voie apparaitre le 2 + une 1/2 graduation (ce qui nous fait 22.5
**mm)

3: on lit les 1/100ème mais aussi les 1/10 dans une fourchette de 0.5mm (ce qui nous fait $22.72 \times \text{mm}$), on ajoute la valeur de 24 du tambour à celle de 0.5 du cadran N°2 ($0.5 + 0.22 = 0.72$)

4: sur le vernier, on voit que le 4 est aligné avec une graduation du tambour (ce qui nous fait 22.724 mm)

1-3-1-Types de micromètre

a-Le micromètre intérieur :

permet de mesurer le diamètre intérieur des trous cylindriques, par exemple, le trou intérieur d'un écrou. Il existe également des micromètres intérieurs trois touches couramment utilisés pour vérifier et contrôler le diamètre d'un alésage afin d'usiner avec un soin particulier la surface d'une pièce creuse.



Micromètres intérieur trois touches



micromètres intérieurs classique

b-Le micromètre extérieur : est utilisé pour mesurer les épaisseurs et les diamètres extérieurs des pièces. Il permet de mesurer les dimensions linéaires entre deux points.



c-Le micromètre de profondeur:

Le micromètre de profondeur, appelé également jauge de profondeur micrométrique, est employé pour mesurer la profondeur précise des trous et des fentes d'une pièce.



1-4-Le rapporteur d'angle :

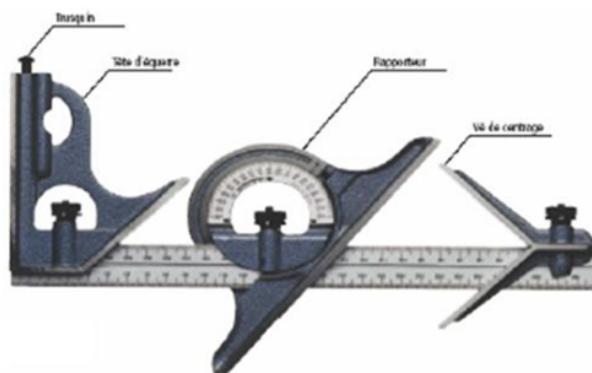
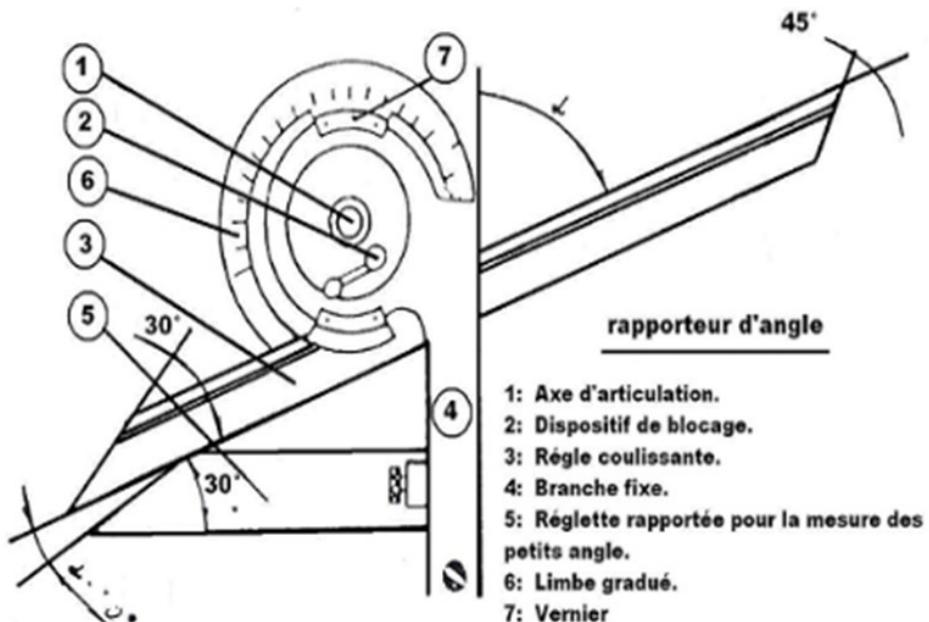
Le rapporteur d'angle est un instrument de mesure utilisé pour mesurer des angles avec précision. Il permet de déterminer l'angle entre deux lignes ou deux surfaces, ce qui est particulièrement utile dans des applications telles que l'usinage, la construction, et la fabrication de pièces mécaniques. Il est particulièrement adapté pour mesurer les angles formés par des surfaces coniques et obliques.

Pour mesurer ces angles, il est important de distinguer entre **les angles extérieurs** et **les angles intérieurs**, car la méthode choisie pour les mesurer peut varier.

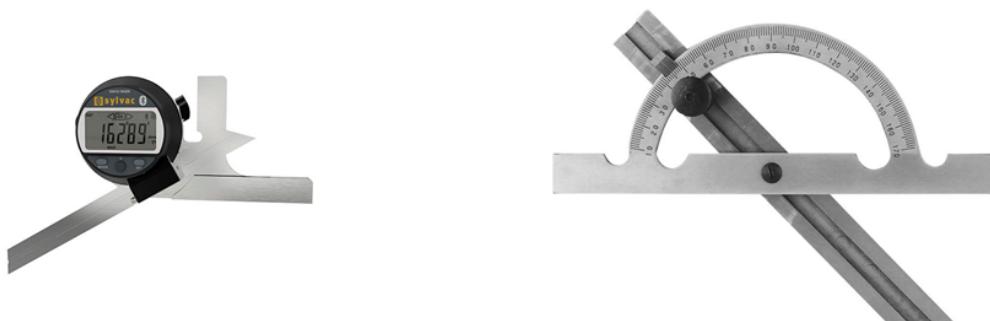
Il existe deux principales approches pour effectuer ces mesurages :

- Les méthodes directes, où l'angle est mesuré directement à l'aide d'un instrument de mesure approprié.
- Les méthodes indirectes, où l'angle est calculé à partir de mesures d'autres dimensions géométriques, en appliquant des principes trigonométriques.

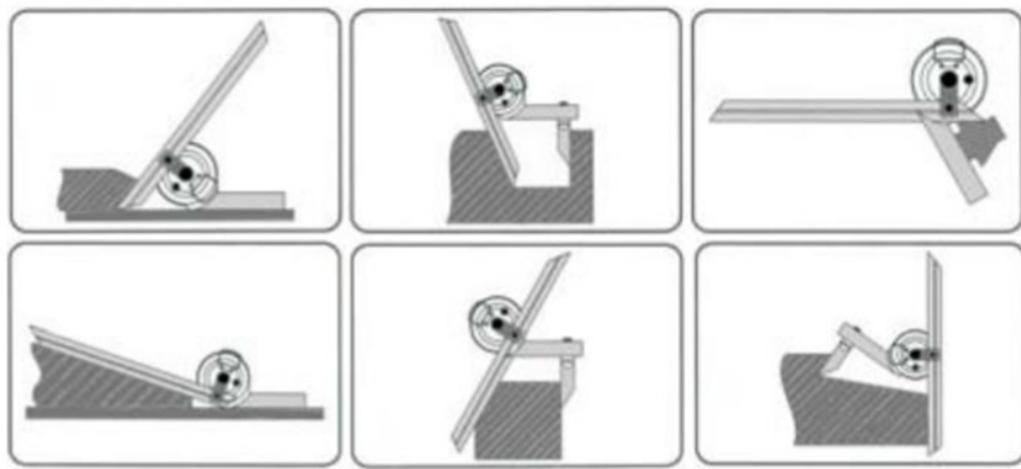
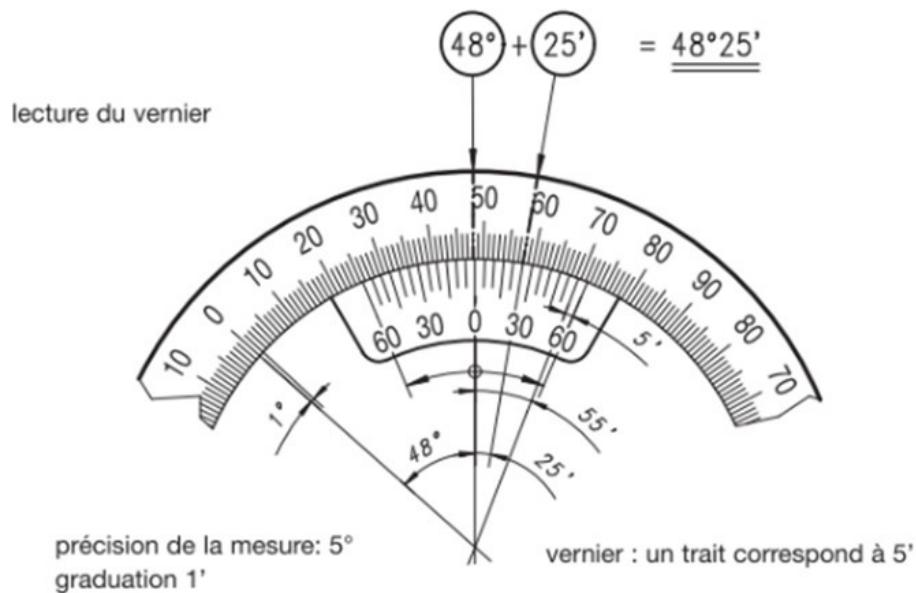
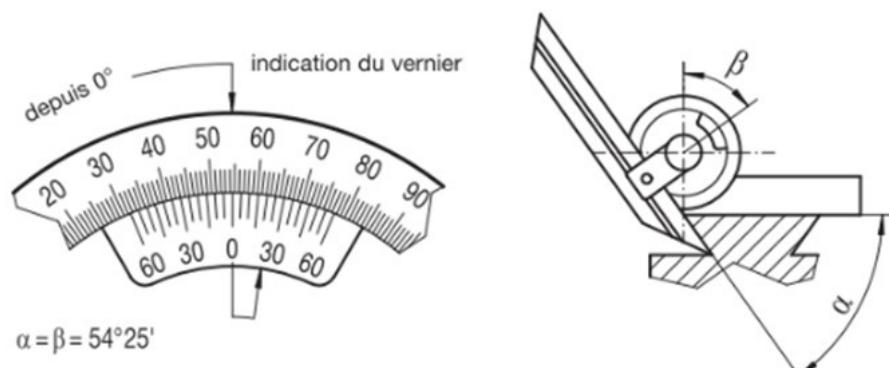


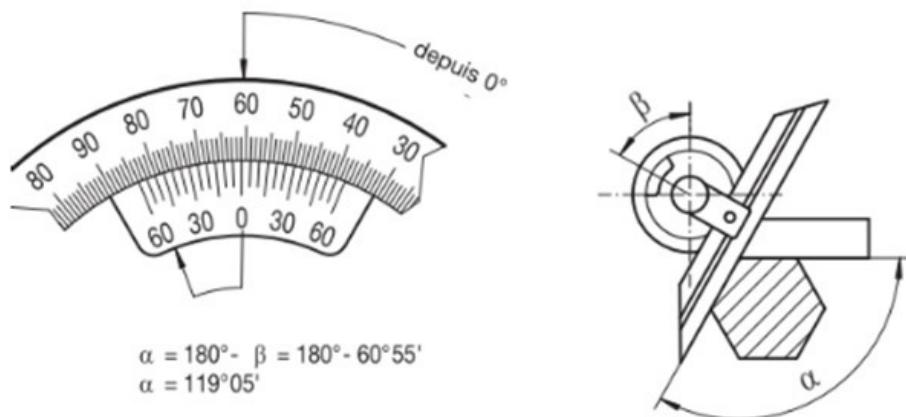


Le rapporteur d'angle universel

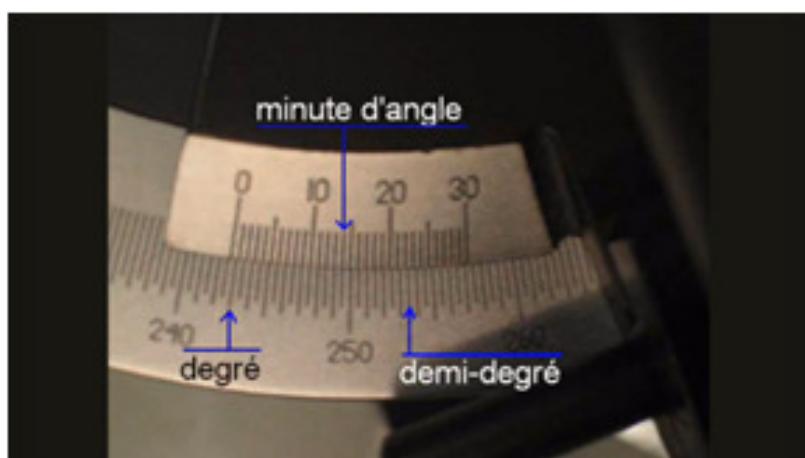


Le rapporteur d'angle numérique

*Mode de positionnement du rapporteur d'angle***a-Méthode de lecture****Angle aigu ($0^\circ < \text{angle} < 90^\circ$).****Angle obtus : ($90^\circ < \text{angle} < 180^\circ$).**



- Exemple de lecture





2. Mesures indirectes ou par comparaison

Les instruments de mesure indirecte sont des outils qui permettent de mesurer des grandeurs en calculant des valeurs basées sur d'autres mesures directes ou en comparant la pièce à mesurer à une référence. Contrairement aux instruments de mesure directe qui donnent la valeur exacte de la dimension mesurée, les instruments de mesure indirecte utilisent des principes physiques ou mathématiques pour déterminer la grandeur recherchée.



2-1-Le comparateur:

Il mesure les écarts ou variations de dimension par rapport à une référence fixe. Par exemple, il peut être utilisé pour vérifier la planéité, la concentricité ou l'ovalité d'une pièce cylindrique, mesure de rugosité de surface

Un comparateur est caractérisé par:

- Son étendue de mesure, généralement faible 3.5 ou 10 mm;
 - Sa résolution, couramment 0.01 ou 0.001 mm;
 - La forme du palpeur, sa touche est changeable en vu d'adapter la forme convenable à la pièce envisagée;
 - L'effort de mesurage est de l'ordre de 1.5 N.

Le comparateur à cadran est constitué de :

1. La grande aiguille, commandée par le palpeur fait un tour pour une différence de cote de 1 mm.
 2. Le grand cadran est divisé en 100 parties égales, il est donc possible d'apprécier le 1/100^e de mm.
 3. Le petit cadran (totaliseur) indique le nombre de tours de la grande aiguille.
 4. L'ensemble de la grande graduation (lunette) peut tourner autour de l'axe de la montre, afin que la division "zéro" puisse être mise à volonté devant l'aiguille centrale.
 5. Il existe également des comparateurs à cadran permettant d'apprécier le 1/1000^e de mm.



Conditions normales d'utilisation :

1. Étalonnage avant chaque utilisation.
 2. Utiliser sur une table de travail stable et de niveau.
 3. Utiliser dans une plage de température contrôlée (18°C à 22°C).
 4. Assurer que l'instrument est propre et exempt de poussière.
 5. Vérifier que la tige de mesure est perpendiculaire à la pièce et éviter la pression excessive.
 6. Effectuer des contrôles périodiques pour garantir la précision.
 7. Choisir un comparateur adapté à la plage de mesure et aux spécifications des pièces.

2-2-Types de comparateurs :



Comparateurs analogiques (avec cadran gradué)



Comparateur numériques (avec écran LCD)

3. Machines de mesures et instruments de contrôle

En atelier mécanique, plusieurs machines et instruments de contrôle sont utilisés pour garantir la qualité des pièces et leur conformité aux spécifications. Parmi ces instruments, on trouve

3-1-Comparateur pneumatique :

est un appareil de mesure qui utilise la pression de l'air pour mesurer les écarts dimensionnels d'une pièce par rapport à une référence.

Utilisation en atelier :

- Mesure de tolérances très fines (microns) comme des alésages, des diamètres internes ou des surfaces planes.
- Mesure sans contact direct pour des pièces fragiles ou de formes irrégulières, réduisant ainsi le risque d'endommager la pièce.
- Mesures en série dans les lignes de production, où une grande rapidité de mesure est requise.



Comparateur pneumatique

3-2-Projecteur de profil :

est un instrument optique qui projette une image agrandie du profil d'une pièce sur un écran. Cette image permet de comparer visuellement les dimensions réelles de la pièce avec les cotes nominales (spécifications) de la pièce. L'instrument est équipé d'un éclairage spécifique et d'un objectif qui permet d'obtenir une image nette et précise du profil de la pièce.



Projecteur de profil

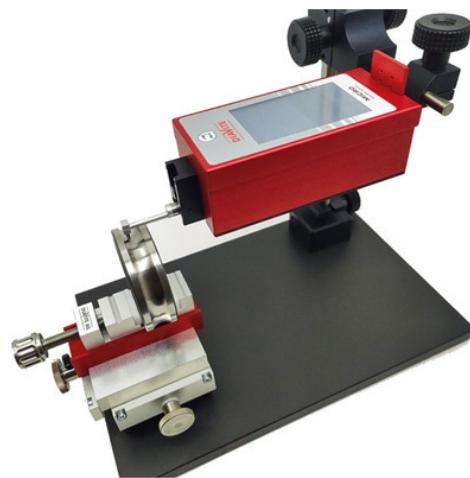
Utilisation en atelier :

- **Contrôle de formes complexes** et inspecter des pièces de formes complexes, comme des contours de pièces usinées, des profils de coupe, des engrenages, etc.
- **Comparaison** de l'image projetée superposée à un gabarit ou un calque de référence pour vérifier la conformité de la pièce par rapport aux spécifications.
- **Mesures précises** des dimensions difficiles à obtenir par d'autres instruments, notamment pour des petites pièces ou des zones difficilement accessibles.

3-3-Rugosimètre (contrôle de surface)

est un instrument de mesure utilisé pour évaluer la rugosité de la surface d'une pièce. Il mesure les irrégularités microscopiques de la surface, qui sont importante pour la performance fonctionnelle de la pièce, notamment dans les assemblages mécaniques où la friction ou l'étanchéité est importante.

Le rugosimètre fonctionne généralement en déplaçant une sonde le long de la surface de la pièce et en enregistrant les variations de hauteur.



Exemple d'un rugosimètre

Le rugosimètre est principalement utilisé pour contrôler la qualité de la finition des surfaces des pièces, comme les surfaces usinées ou traitées (rectifiées, polies, etc.).

Applications industrielles :

Il est essentiel pour des pièces nécessitant une précision de surface pour assurer un bon fonctionnement (engrenages, cylindres, pistons, etc.).

Mesures de la rugosité aussi bien sur des petites pièces qu'en série ou sur des grandes surfaces.

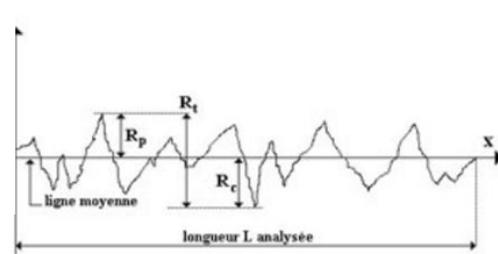
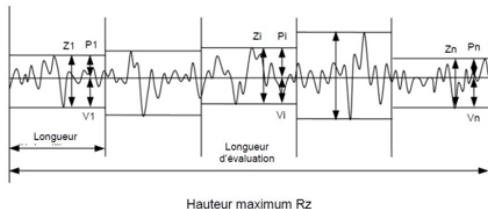
Fonctionnement :

Le Rugotest fonctionne généralement selon un principe de mesure tactile. Il peut utiliser une sonde ou une pointe de contact très fine (souvent en diamant) qui se déplace sur la surface de la pièce à mesurer. Cette sonde capte les irrégularités de la surface, et ces données sont ensuite analysées pour en déduire les paramètres de rugosité tels que Ra, Rq, Rt, etc. En fonction du modèle, l'appareil peut donner des résultats en temps réel sur un écran ou enregistrer les données pour une analyse plus détaillée.

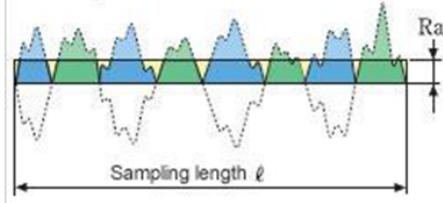
Paramètre	Description	Unité
Ra	Rugosité moyenne arithmétique (moyenne des déviations absolues)	µm
Rq	Rugosité quadratique moyenne (écart quadratique moyen)	µm
Rt	Hauteur totale de la rugosité (distance max entre pic et creux)	µm
Rz	Hauteur moyenne des profils (moyenne des 5 pics et creux les plus élevés)	µm
Rp	Hauteur du pic le plus élevé	µm
Rc	Hauteur du creux le plus profond	µm
Sk	Symétrie de la surface	N/A
Sp	Hauteur du pic le plus élevé par rapport à la ligne moyenne positive	µm
Sv	Profondeur du creux le plus profond par rapport à la ligne moyenne négative	µm
Pq	Rugosité quadratique moyenne des profils	µm



$$Rz = \frac{Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5}{5} \quad (\text{Lorsque } n=5, \text{ où } n \text{ est le nombre de composantes})$$



$$Ra = \frac{1}{\ell} \int_0^\ell |Z(x)| dx$$



Paramètres de mesure de rugosité