

CHAPITRE I :

MESURE DES EPAISEURS ET DES LONGUEURS.

I.1. Métrologie : C'est la science des mesures et ses applications. Elle englobe tous les aspects aussi bien théoriques que pratiques quel que soit la nature du domaine et de la technologie développée.

I.1.1. Mesurage : C'est l'ensemble des opérations expérimentales permettant d'attribuer une valeur à la grandeur mesurée.

I.1.2. Mesurande : Le mesurande est la grandeur que l'on veut mesurer (appelée aussi Mesure) avec un ensemble d'opérations ayant pour objet de déterminer la valeur $\{X\}$ dans des conditions expérimentales spécifiées, en la comparant directement ou indirectement à un étalon qui est la représentation matérielle de l'unité $[X]$ dans laquelle sera exprimée la valeur de X .

I.1.3. Grandeur mesurable : C'est une caractéristique d'un phénomène, d'un corps ou d'une substance, qui est susceptible d'être distingué qualitativement par un nom (en métrologie dimensionnelle : Distance, Angle...) et déterminé qualitativement par une valeur (nombre exprimé dans l'unité choisie).

I-1-4- Méthode de Mesure : C'est une succession logique d'opérations décrites d'une manière succincte permettant de la mise en œuvre de mesurage.

I-1-4- a- Méthode direct : Le procédé de mesure est direct lorsque le résultat de la mesure est obtenu par comparaison à un étalon de même nature que la grandeur mesurée (Fig. 1).

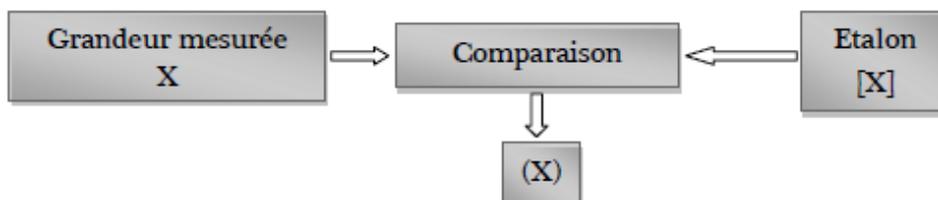


Fig I.1 – Procédé de mesure.

I-1-4- b- Méthode indirect : Le procédé de mesure est indirect quand une grandeur Y est liée à des grandeurs X_1, X_2, \dots, X_k par une relation du type :

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k)$$

Par exemple, la valeur de l'aire S d'une surface rectangulaire se calcule à partir de la mesure de la longueur L et de la largeur l et en appliquant la relation $S = Ll$. Par conséquent, la valeur $\{Y\}$ de Y est obtenue, à partir des valeurs de $\{X_1\}, \{X_2\}, \dots, \{X_k\}$ de X_1, X_2, \dots, X_k selon le procédé de mesure (Fig. 2).

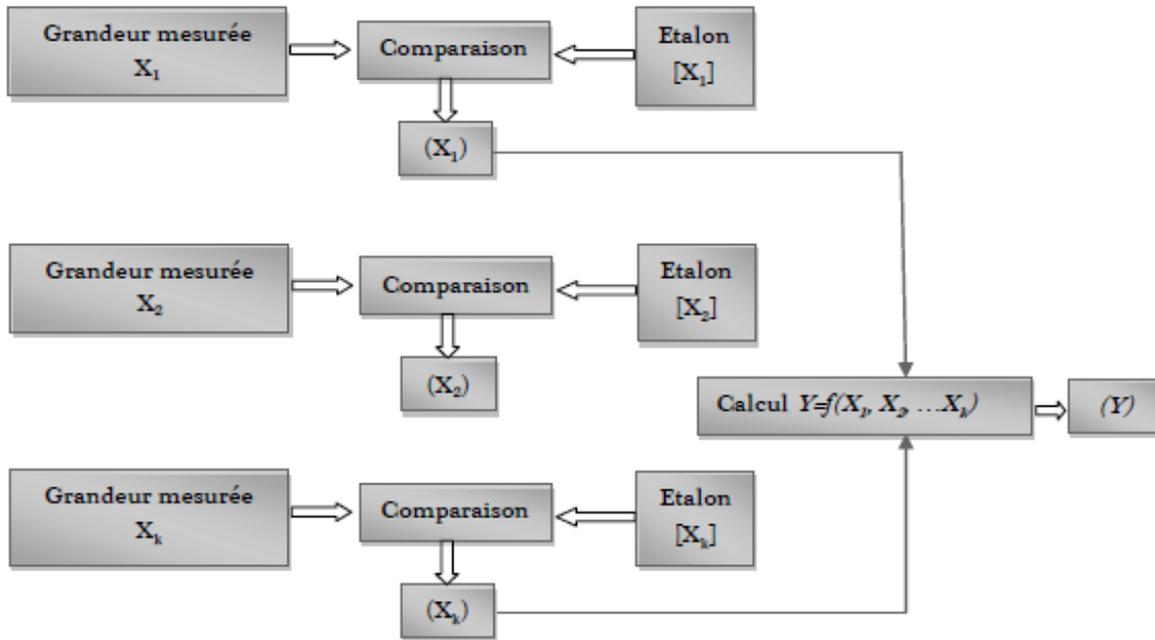


Fig I.2 – Procédé de mesure directe

I.1-5- Valeur mesurée :

Grandeur représentant un résultat de mesure ; Pour un mesurage impliquant plusieurs valeurs mesurées. Cet ensemble de valeurs mesurées individuelles peut ensuite être utilisé pour calculer une valeur mesurée résultante, telle qu'une moyenne ou une médiane, en général avec une incertitude de mesure associée.

I.1.6 Valeur vraie du mesurande : La valeur vraie (*M vraie*) du mesurande est la valeur que l'on obtiendrait si le mesurage était parfait.

I.1.7- DIMENSION : C'est la distance la plus courte entre deux points réels ou fictifs

Exp. : Un diamètre, un altvoltage, un entraxe.

I-1-8- ETALONNAGE : C'est l'ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure, ou les valeurs représentées par une mesure matérialisée et les valeurs connues correspondantes d'une grandeur mesurée.

I-1-9- Étalon : Mesure matérialisée, appareil de mesure, matériau de référence ou système de mesure destiné à définir, réaliser, conserver ou reproduire une unité ou une ou plusieurs valeurs d'une grandeur pour servir de référence.

Exemples : étalon de masse de 1 kg Résistance étalon de 100 Ω

I.1.10 Le système d'unités internationales et ses symboles :

<i>Grandeur</i>		<i>Unité</i>	
<i>Nom</i>	<i>Symbole</i>	<i>Nom</i>	<i>Symbole</i>
<i>Longueur</i>	<i>L</i>	<i>Mètre</i>	<i>m</i>
<i>Masse</i>	<i>M</i>	<i>Kilogramme</i>	<i>Kg</i>
<i>Temps</i>	<i>t</i>	<i>Seconde</i>	<i>s</i>
<i>Courant électrique</i>	<i>i</i>	<i>Ampère</i>	<i>A</i>
<i>Température</i>	<i>T</i>	<i>Kelvin</i>	<i>K</i>
<i>Quantité de matière</i>		<i>Mole</i>	<i>mol</i>
<i>Intensité lumineuse</i>	<i>I</i>	<i>Candela</i>	<i>cd</i>

Unités dérivées

Grandeur	Unité (SI)	Symbole
Aire (notée A ou S)	mètre carré	m ²
Volume (noté V)	mètre cube	m ³
Fréquence (notée f)	Hertz (Heinrich Hertz, Allemagne, 1857-1894)	Hz
Vitesse (notée v)	mètre par seconde	m/s
Force (notée F)	Newton (Issac Newton, Angleterre, 1642-1727)	N
Moment d'une force (noté \mathcal{M})	mètre - Newton	mN
Moment d'un couple (noté \mathcal{T})	mètre - Newton	mN
Viscosité dynamique (notée η)	poiseuille	Pi
Tension électrique (notée U)	Volt (Alexandro Volta, Italie, 1745-1827)	V
Force électromotrice (notée E)	Volt	V
Résistance électrique (notée R)	Ohm (Georges Ohm, Allemagne, 1789-1854)	Ω

Multiples		
Multiple	Préfixe	Symbole
10^{24}	yotta	Y
10^{21}	zetta	Z
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	téra	T
10^9	giga	G
10^6	méga	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10	déca	da
Sous-multiples		
Multiple	Préfixe	Symbole
10^{-1}	déci	d
10^{-2}	centi	e
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a
10^{-21}	zepto	z
10^{-24}	yocto	y

Tableau 1 – Unités de base.

I.2 Les Instruments Mécaniques :

En mécanique, il est important de savoir prendre les mesures. La qualité de celles-ci dépend de la précision de l'instrument de mesure utilisé. Dans les cas de mesures exceptionnellement précises, il faut avoir tous les instruments nécessaires.

I.2.1 Règle :

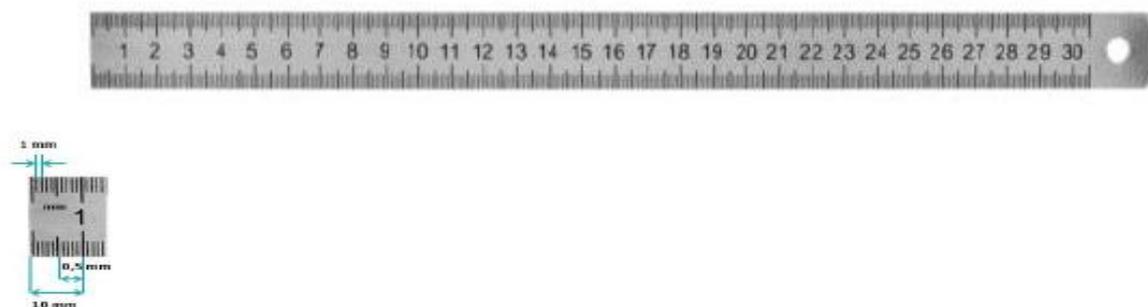


Fig I.3 – Règle.

Une règle est un instrument de géométrie, utilisé aussi pour le dessin industriel et la mesure de distances. À proprement parler, une règle sert à tracer des lignes droites.

Une règle est généralement en bois, en métal, en plexiglas ou en matériel composite souple. Les règles modernes comprennent généralement une échelle, avec laquelle des longueurs peuvent être mesurées par comparaison, généralement au millimètre près.

I.2.2 Le Pied à Coulisse :

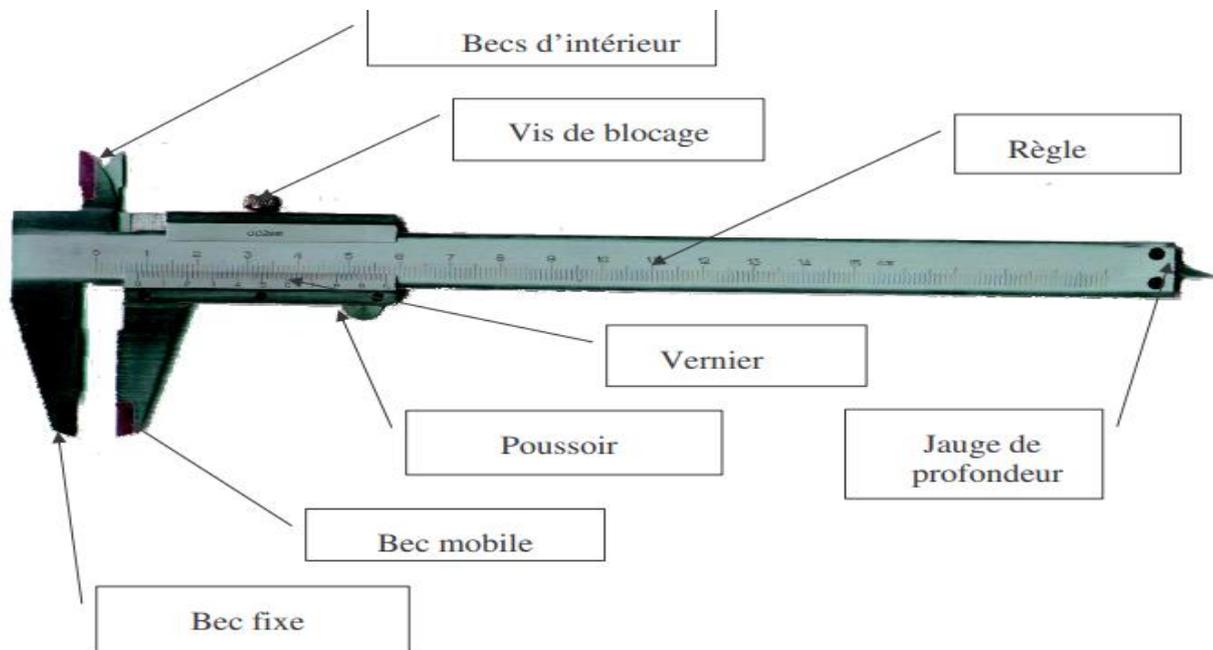


Fig I.4 – Pied à coulisse.

Un pied à coulisse (vernier caliper) est un outil de mesure utilisé pour les prises de mesure internes, externes et de profondeur. Les pieds à coulisse sont disponibles en échelons métrique et impérial que l'on appelle «vernier».

Un vernier comporte deux règles graduées, l'une fixe et l'autre mobile, se déplaçant sur la première pour la prise de mesure. Le relevé de la longueur est indiqué sur le vernier.

L'échelle principale du pied à coulisse est divisée en pouces et en centimètres (entre 15 cm ou 6 po).

L'échelle principale métrique du pied à coulisse est divisée en centimètres et chaque centimètre est divisé en 10 mm.

L'échelle principale en mesures impériales est divisée en pouces où chaque pouce est divisé en 10 parties de 0,10 po. La section entre les marques de 0,100 est divisée en quatre. Chacun de ces divisions est égale à 0,025 po.

L'échelle du vernier à mesure métrique comporte 50 divisions, chacune représentant 0,02 mm. L'échelle principale du vernier à mesure impériale comporte 25 divisions, chacune représentant 0,001 po.

Les lectures des mesures sont prises en associant l'échelle du vernier à l'échelle principale. Un pied à coulisse est caractérisé par :

- *Son type de vernier ;*
- *Sa capacité maxi ;*

- Ses types des becs.

I.2.2.1 Méthode de mesure avec pied à coulisse :

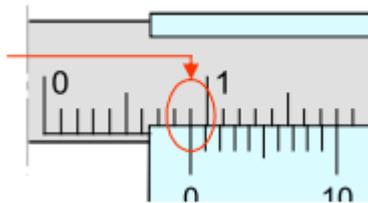
Après insertion de l'objet à mesuré entre les becs du pied à coulisse on ferme ces mâchoires sur l'objet et on fixe par la vis de blocage.

Lire le nombre entier de *mm*, à gauche du zéro du vernier. On localise la graduation du vernier (un seul possible) qui coïncide avec une graduation quelconque de règle. Et on ajoute aux millimètres, les 1/10ème, 1/20ème ou 1/50ème, selon les cas, pour obtenir la mesure exacte.

Exemples de mesures :

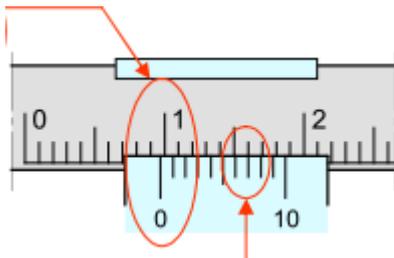
➤ Vernier au 1/10

- LE ZERO DU VERNIER EST EN FACE D'UNE GRADUATION DE LA REGLE :



Lire sur la règle le nombre de mm correspondant cette graduation. Sur l'exemple : 9 mm.

- LE ZERO DU VERNIER N'EST PAS EN FACE D'UNE GRADUATION DE LA REGLE

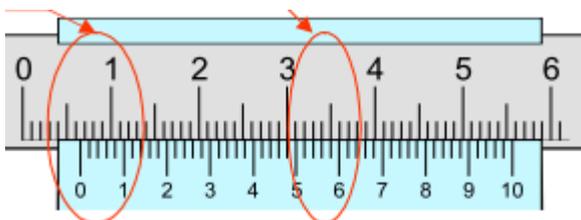


Lire sur la règle le nombre entier de mm avant le zéro du vernier.

Repérer la graduation du vernier qui est le mieux aligne , une graduation quelconque de la règle.

La graduation du vernier indique les dixièmes de mm. Sur l'exemple : $9 + 0,7 = 9,7$ mm.

➤ VERNIER AU 1/50



Lire sur la règle le nombre entier de mm avant le zéro du vernier.

Repérer la graduation du vernier qui est la mieux alignée sur une graduation quelconque de la règle.

Lire sur le vernier, le chiffre situé avant les graduations alignées. Ce chiffre indique le nombre de 1/10 de millimètres.

Compter le nombre de divisions après le chiffre et le multiplier par 2. L'on obtient les

1/100 de mm correspondant

Sur l'exemple : Nombre de graduation avant le 0 du vernier ► 6 = 6mm ► pour la lecture du mm.

- Chiffre sur le vernier avant la graduation alignée 5 = 0,5 mm ► pour la lecture du 1/10 mm

- 4eme graduation alignée après le chiffre 5 multiplier par 2 ► $4 \times 2 = 0,08$ ► pour la lecture du 1/50 mm

$6 + 0,5 + 0,08 = 6,58$ mm.

Mesure du diamètre



Mesure de la longueur



Mesure de la longueur



Mesure de la largeur

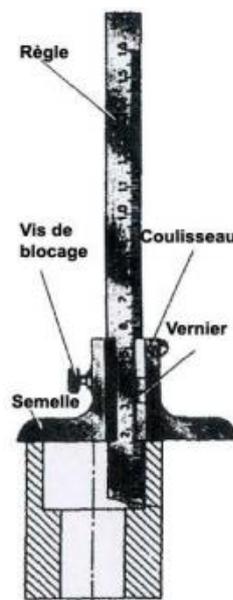


Mesure de l'épaisseur



I.2.2.2 La jauge de profondeur ou pied à coulisse de profondeur

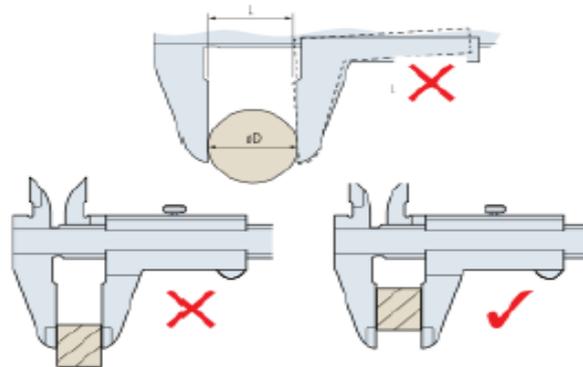
De conception un peu différente de par sa fonction, c'est une règle sans bec et coulisseau à deux becs appelés semelles ; le pied de profondeur fonctionne et se lit de la même manière qu'un pied à coulisse.



I-2-2-3-Remarques générales concernant l'utilisation d'un pied à coulisse

a. Causes d'erreurs potentielles

Les principaux facteurs sont les erreurs de parallaxes, 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.



b. 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.

c. Mesure de profondeur :

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

d. 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.

e. 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.

I-2-3- Le Micromètre d'extérieur

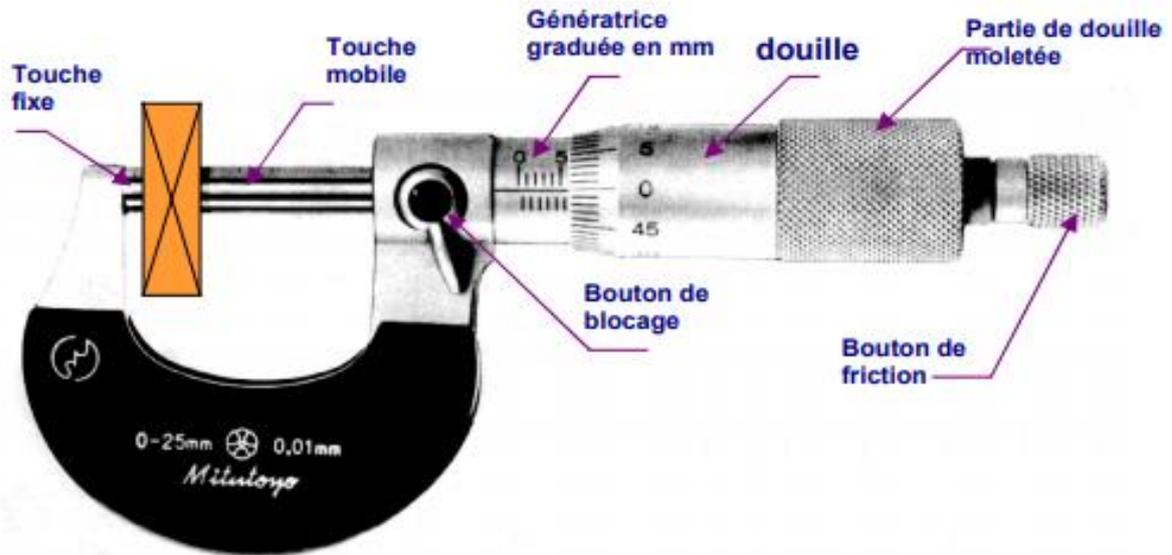
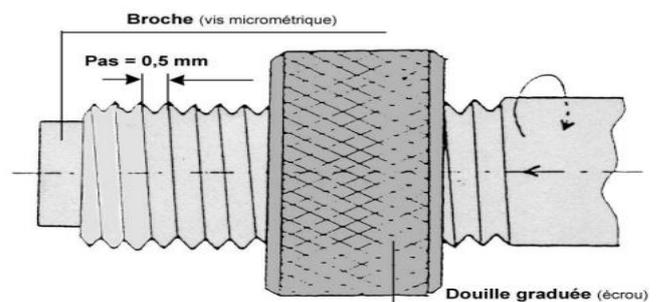
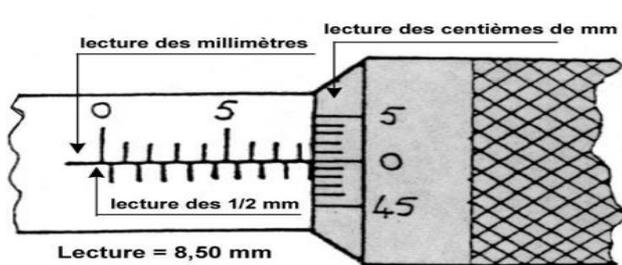


Fig I.5 – Micromètre d'extérieur analogique standard.

Le micromètre ou "palmer" est un instrument de précision. Il est constitué d'un corps en U possédant une touche fixe et une touche mobile actionnée par un tambour (douille) qui tourne autour d'une règle graduée. Le déplacement de la touche mobile est assuré par une vis à pas fin dite micrométrique. Chaque rotation complète de la vis micrométrique modifie l'écartement des touches de mesure de la valeur du pas de la vis, soit de 0,5mm (c.à.d. le pas de la vis micrométrique est égale à 0.5 mm et le nombre de division du tambour (douille) est égale à 50 divisions, donc une division du tambour, correspond à un déplacement de la touche mobile de 0.01 mm.. Le micromètre permet l'évaluation des mesures avec une précision de 1/100 mm,(beaucoup plus précis que le pied à coulisse), il est constitué en acier dur.

Les micromètres sont étalonnés en graduations métriques ou impériales (0,001 po, voire même 0,0001 po).



I-2-3-1-Utilisation et méthode de lecture

- **Précautions à prendre :**
 - Ne jamais utiliser le tambour vernier pour mettre en contact les touches de mesure avec la pièce à mesurer. (risque de détérioration du micromètre et d'erreur de lecture)
 - Utiliser obligatoirement et exclusivement la friction pour mettre en contact les touches de mesure avec la pièce à mesurer.

- **Etalonnage**

Le tambour est gradué en 50 parties égales. Chaque partie représente une lecture de 1/100^e de mm. Il faut donc tourner le tambour de 2 tours pour que la touche mobile se déplace de 1 mm. De 1 à 49 centièmes, la lecture est directe. de 51 à 99 centièmes, il aura fallu ajouter 1 demi millimètre visible sur le manchon pour obtenir la valeur exacte. Si le zéro « 0 » du vernier ne coïncide pas avec le trait de la douille graduée, utiliser l'outil de réglage pour tourner cette douille graduée de manière à amener son trait horizontal en face du « 0 » du vernier

- **Utilisation :**

- placer la pièce à mesurer entre la touche fixe et mobile
- Serrer modérément le bouton de friction en vérifiant que les touches sont bien en appui. La douille est, elle aussi, moletée pour faciliter seulement le desserrage.
- Immobiliser la touche mobile à l'aide du bouton de blocage
- Lire sur la génératrice graduée : le nombre de mm **ENTIERS** situés à **GAUCHE** du zéro de la douille
- Repérer la graduation de la douille qui est alignée à la génératrice graduée en mm
- Ajouter au nombre entier de millimètre la valeur lue sur la douille

Précision des mesures

- Les erreurs résultant de l'inégalité de pression de l'appareil sur les pièces à mesurer se trouvent éliminées par le système de friction.
- Les déformations de l'appareil sont négligeables, le corps pouvant avoir une section suffisante pour rendre toute flexion impossible.
- Les incertitudes de lecture sont très faibles, puisqu'une variation de cote de 1/100^e de mm nécessite la rotation de la douille de la valeur d'une division, équivalent environ à 1 mm en longueur développée.

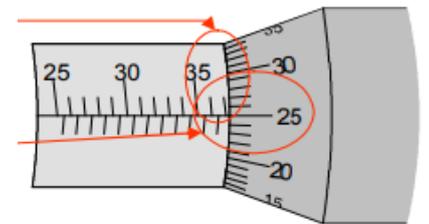
EXEMPLE-1

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

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

Ajouter au nombre entier de millimètre la valeur lue sur la douille :

$$37 + 0,25 = 37,25 \text{ mm}$$



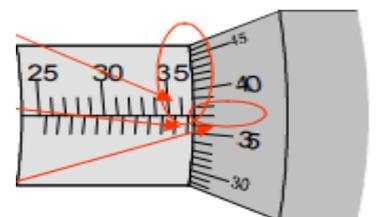
EXEMPLE-2

Lire sur la génératrice graduée le nombre entier de millimètre : 36 mm.

Ajouter 0.5 mm si la graduation 0.5 millimétrique est visible : $36 + 0,5 = 36,5$ mm.

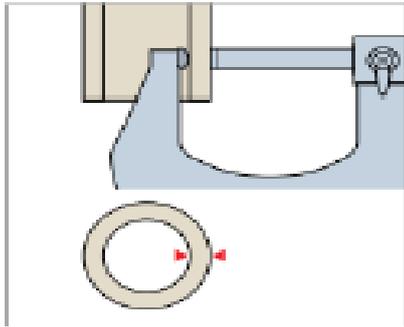
Repérer la graduation de la douille qui est alignée à la génératrice graduée en mm : 37.

Ajouter au nombre antérieur la valeur lue sur la douille : $36,5 + 0,37 = 36,87$ mm.



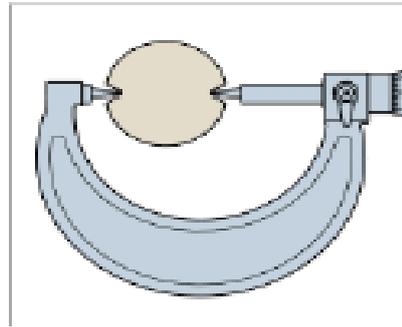
I-2-3-2- Utilisations particulières des micromètres

Micromètre à touches
Pour surfaces incurvées



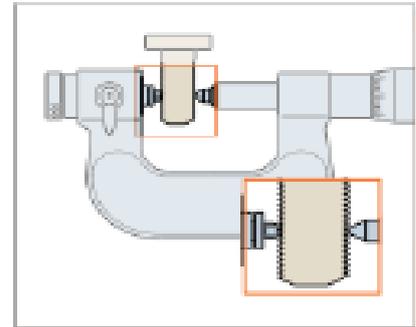
> Pour la mesure de l'épaisseur des
Parois des tubes

Micromètre à touches pointues
sphériques



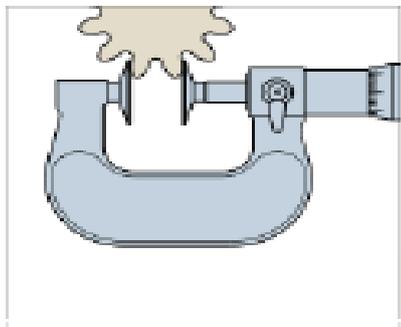
> Pour la mesure du diamètre à
Fond de filet

Micromètre pour la mesure de
filetage



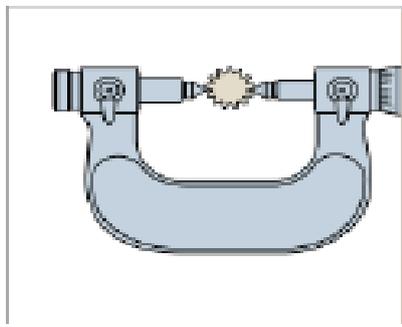
> Pour la mesure efficace du diamètre
Du filetage

Micromètre d'extérieur à
disque



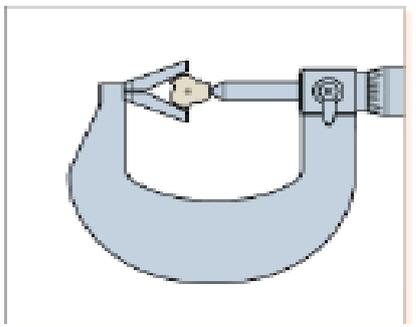
> Pour la mesure de la longueur
de la tangente au cercle de base
sur des engrenages cylindrique
Et hélicoïdaux

Micromètre à touche à
billes



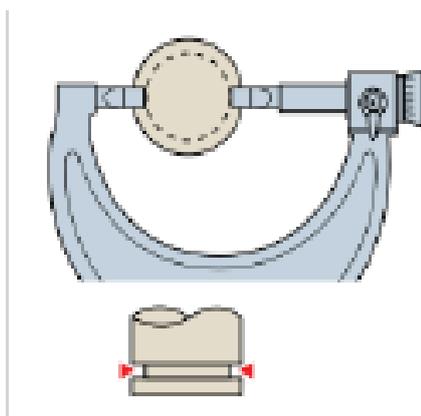
> Mesure du diamètre d'engrenage
sur pige

Micromètre à touche
prismatique



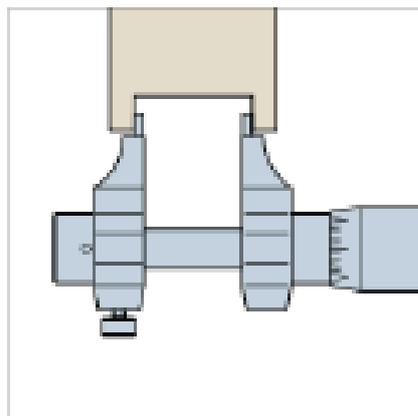
> Pour la mesure des outils
de coupe

Micromètre à touches coteaux



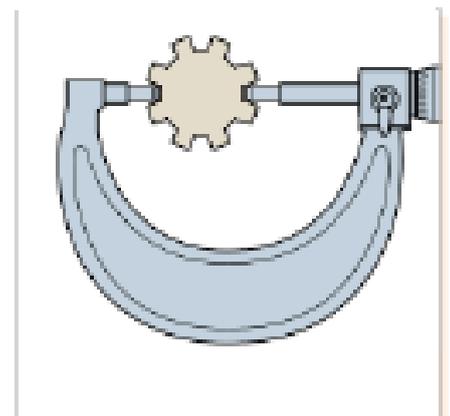
> Pour la mesure du diamètre
Sphériques dans gorges étroites

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

1-2-4- Le comparateur (Contrôle par mesure indirect)

La grandeur à mesurer est comparée à une grandeur de même nature, de valeur connue, peu différente de celle de la grandeur à mesurer (on mesure la différence entre les deux grandeurs).

Les comparateurs ou amplificateurs enregistrent les différences de cotes entre les différents points d'une pièce ou entre les pièces à mesurer et les étalons (pièces types ou combinaison de cales).

La précision et la sensibilité de ces appareils dépend pour beaucoup de la constance et du peu d'intensité de la pression qu'exerce leur touche mobile sur la pièce à mesurer. Pour ce type de mesurage on utilise le comparateur à cadran

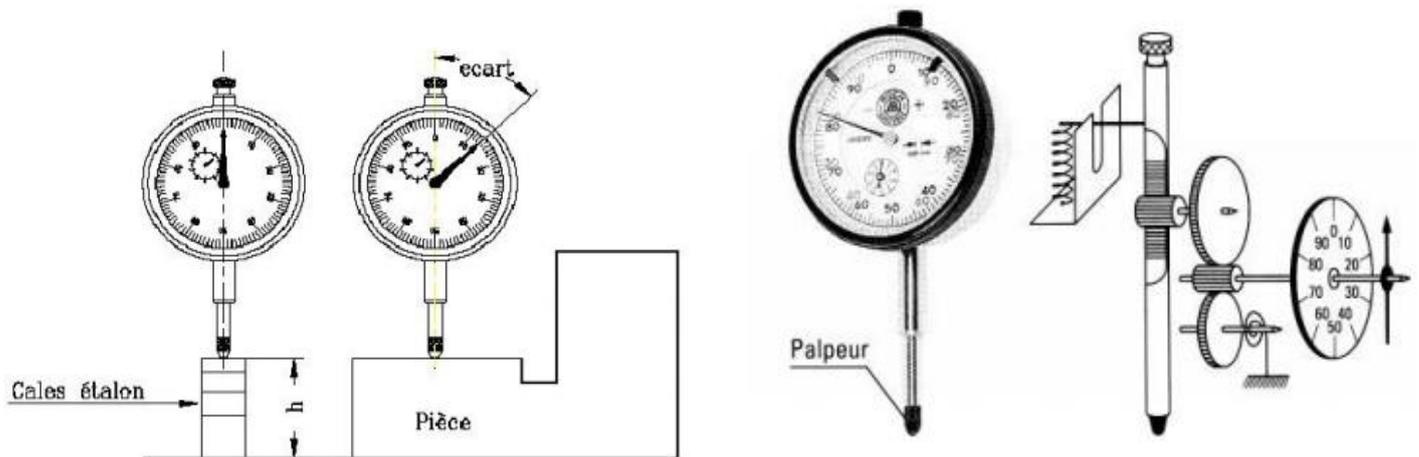


Figure I-6 Mesurage indirect par un Comparateur à cadran

$L_{\text{pièce}} = L_{\text{étalon}} + \text{écart}$ avec ($L_{\text{pièce}}$: Longueur pièce, $L_{\text{étalon}}$: Longueur étalon, écart : Ecart mesuré)

Le comparateur à cadran utilise un système d'amplification mécanique par pignon crémaillère et train d'engrenages. (C'est le relevé à l'aide d'un capteur de l'écart entre une pièce à mesurer et un étalon (pièce de référence).

Le comparateur à cadran a la forme d'une grosse montre. La grande aiguille, commandée par le palpeur fait un tour pour une différence de cote de 1 mm.

Le grand cadran est divisé en 100 graduations, chaque graduation est égale à 0.01. Le petit cadran indique le nombre de tours de la grande aiguille.

L'ensemble de la grande graduation peut tourner autour de l'axe de la montre, afin que la division "zéro" puisse être mise à volonté devant l'aiguille centrale.

Il existe également des comparateurs à cadran permettant d'apprécier le 1/1000^e de mm.

I-3-3- Types de comparateurs

On trouve différents types de comparateurs



**Comparteur à cadran
à tige rentrante radiale**



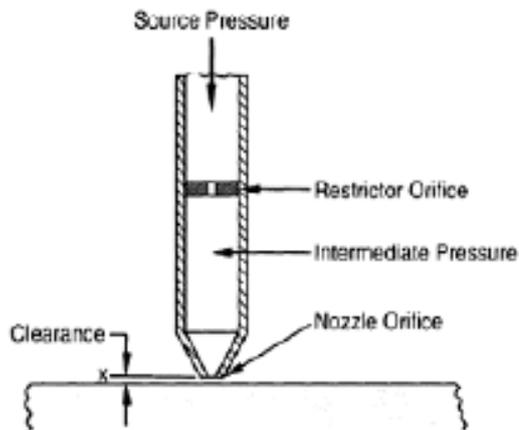
**Comparteur à cadran
numérique à tige rentrante
radiale**



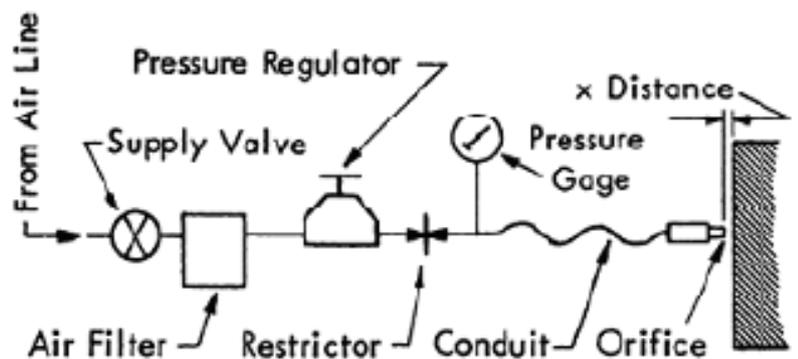
**Comparteur à levier
mécanique**

I-3- Les instruments pneumatiques (Tampons de mesure à soufflage direct)

Les systèmes pneumatiques de mesure sont très utilisés dans l'industrie mécanique pour le contrôle dimensionnel des pièces mécaniques en raison de leurs avantages (mesure sans contact, autonettoyage des pièces à contrôler, entretien facile, possibilité d'obtenir des amplifications élevées appareils robustes et fiables, etc.). Parmi ces systèmes les tampons de mesure à soufflage direct contrôlent les alésages débouchant ou non.



Principe de mesure



jauge d'air à contre-pression

Avant de commencer le contrôle dimensionnel, on doit régler la pression à une côte de référence qui indique une valeur de zéro dans le manomètre, si la côte a mesuré est supérieur la pression doit être inférieur, et si la côte a mesuré est inférieur la pression doit être supérieur à la pression de référence

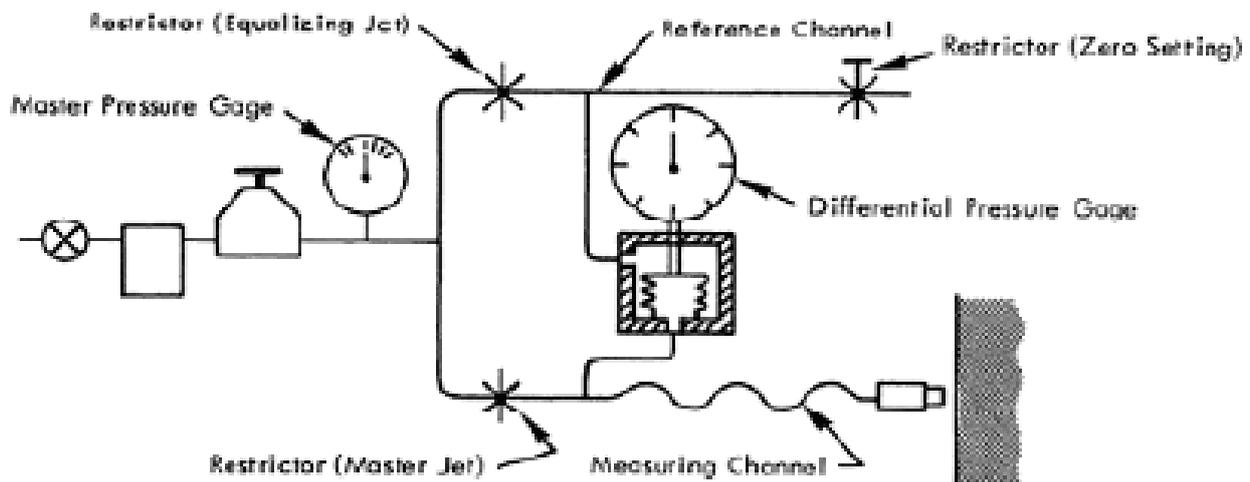
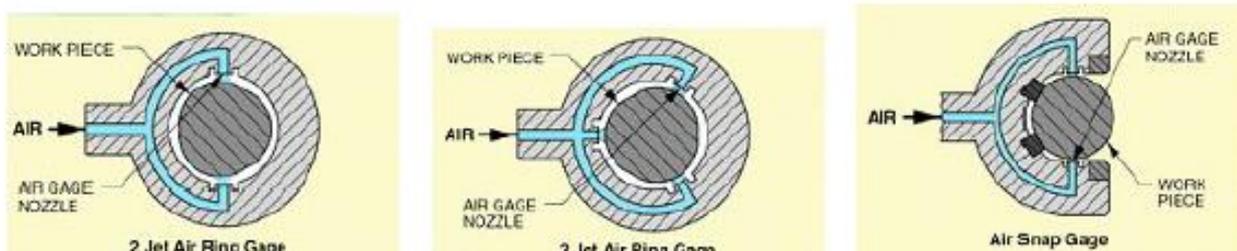


Figure I-7- Méthode de mesure

Pour les alésages La mesure est effectuée sans contact par deux buses de mesure diamétralement opposées, situées en retrait par rapport au cylindre extérieur du tampon pneumatique

Cette mesure peut être statique ou dynamique. Par rotation du tampon dans la pièce, on obtient l'ovalisation et par translation la conicité, le tampon de mesure peut être fabriqué avec trois buses pour la mesure de la triangulation. La gamme de mesure est de 3 mm à 150 mm. L'étendue de mesure va de 0,010 mm à 0,160 mm.



I.4 Les instruments optiques :

I.4.1 Introduction :

Les instruments d'optique ont pour but d'améliorer l'observation des objets en leur substituant des images. On classe ces appareils dans deux catégories principales :

- Ceux qui fournissent des images réelles (téléobjectif, appareils de projection, appareil photographique,... permettant la visualisation ou l'impression de l'image sur un écran ou un film photosensible) ;
- Ceux qui fournissent des images virtuelles observables uniquement à l'oeil (miroir, télescope, lunette, périscope, endoscope, loupe, microscope).

I.4.2 BASES THEORIQUES :

I.4.2.1 Optique géométrique.

L'optique géométrique se préoccupe de la propagation de la lumière sans se soucier de sa nature ondulatoire. Elle introduit le modèle du rayon lumineux et s'appuie sur les postulats suivants :

1. Propagation rectiligne de la lumière dans un milieu homogène et isotrope ;
2. Réversibilité des trajectoires lumineuses. Un rayon peut parcourir la même trajectoire indifféremment dans les deux sens.
3. Indépendance des rayons lumineux. Chaque rayon lumineux se propage indépendamment des rayons voisins qui n'exercent aucune influence sur lui.

Lorsqu'un rayon arrive sur la surface de séparation de deux milieux optiques différents (dioptré), il se scinde généralement en deux: un rayon réfléchi qui retourne dans le premier milieu, un autre réfracté qui pénètre dans le second milieu après changement de direction (Fig. I.8).

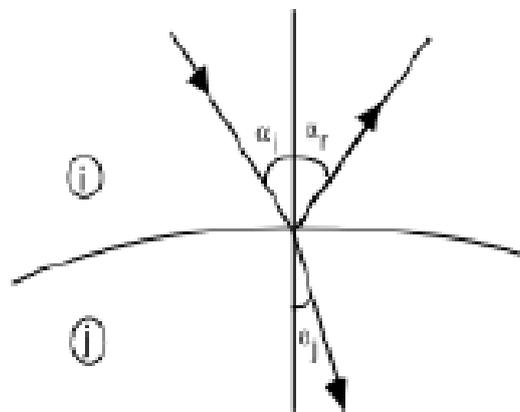


Fig. I.8 – Réflexion et réfraction de la lumière.

➤ SYSTEME OPTIQUE :

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.

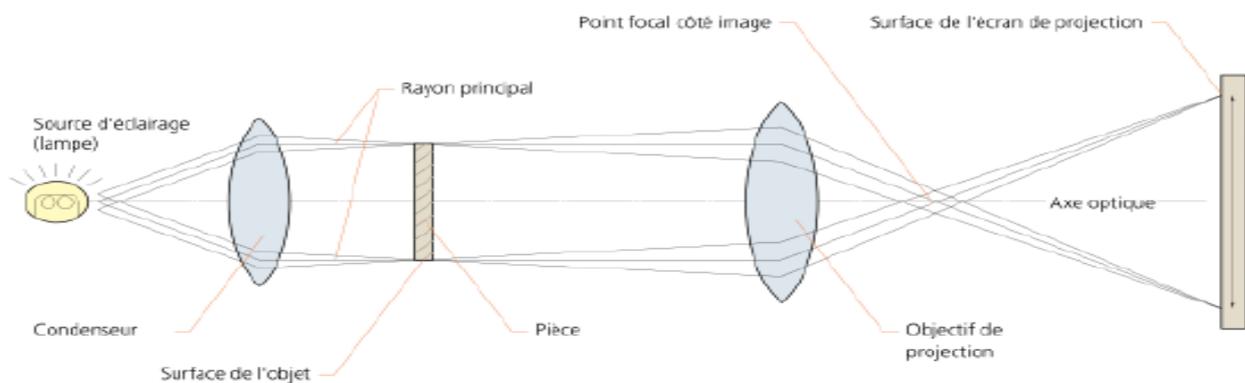


Fig. I.9 – Éclairage diascopique télécentrique.

I.4.3 Propriétés des instruments d'optique :

Les instruments d'optiques peuvent être classés en deux catégories :

- les systèmes optiques donnant une image réelle, tels que les objectifs des appareils photos, les systèmes de projection, les caméras ;
- les systèmes optiques donnant une image virtuelle ayant un diamètre apparent plus grand que l'objet observé à l'œil nu, comme les loupes, les microscopes, ou les systèmes astronomiques.

a. Grandissement :

Le grandissement caractérise un instrument de projection pour lequel l'image est réelle donc caractérisée par sa taille $A'B'$.

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB}$$

b. Puissance P :

Ce paramètre caractérise les instruments d'optique servant à observer un objet rapproché.

$$P = \frac{\theta'}{AB}$$

Unité : dioptrie δ ou encore m^{-1}

Ou :

θ' : L'angle sous lequel est vue par l'œil l'image formée par l'instrument.

AB : est la taille de l'objet (placé à distance rapprochée)

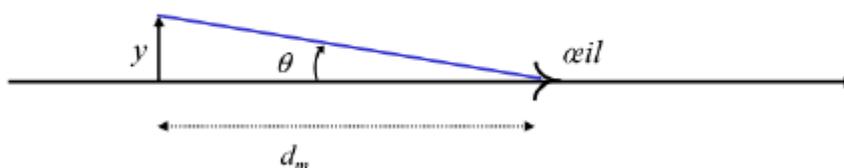
La puissance dépend de la position de l'œil et du réglage de l'instrument. Lorsque l'image est à l'infini on parle de puissance intrinsèque : P_i

c. Grossissement G :

Le grossissement est le paramètre servant à caractériser un système oculaire dont l'objet observé est à grande distance. Il est défini comme le rapport de l'angle sous lequel est vue par l'œil l'image formée par l'instrument et l'angle sous lequel est vu l'objet à l'œil nu.

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

θ : l'angle sous lequel l'œil de l'observateur voit l'objet AB directement sans l'instrument.



dm: distance minimale de vision nette : $dm=25\text{ cm}$

Bien retenir que l'oeil « voit net » un objet situé entre l'infini et dm . On le voit à l'oeil sous un angle maximum

$$\theta = \frac{AB}{dm}$$

Or

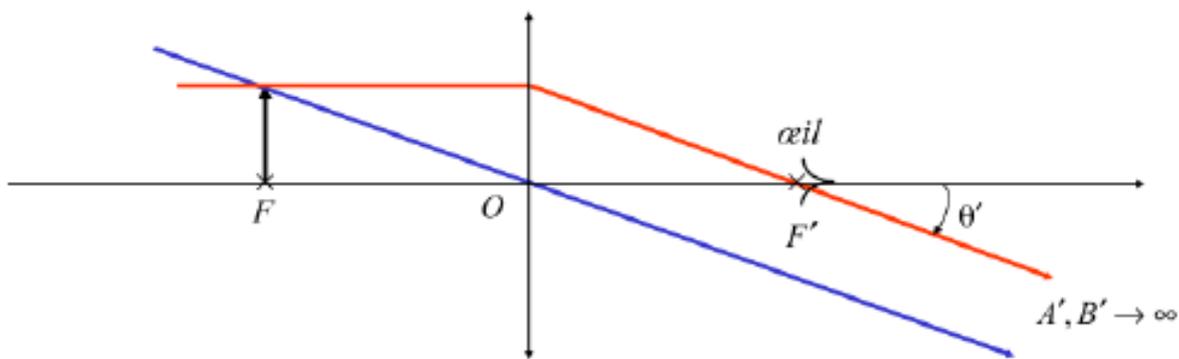
$$\theta' = P * AB$$

Donc

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{P * AB}{\frac{AB}{dm}} = P * dm = \frac{P}{4}$$

I.4.4 La Loupe :

La loupe est une lentille convergente de focale qui donne d'un objet à distance finie une image virtuelle agrandie. On la classe dans la catégorie des instruments oculaires. On va donc la caractériser par sa puissance.



❖ Puissance P :

$$P = \frac{\theta'}{AB}$$

$$\tan \theta' = \frac{AB}{f'} \rightarrow \theta' \rightarrow AB = \theta' * f'$$

$$P = \frac{\theta'}{\theta' * f'} = \frac{1}{f'}$$

❖ Grossissement G :

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

$$\tan \theta' = \frac{AB}{f'} \rightarrow \theta'$$

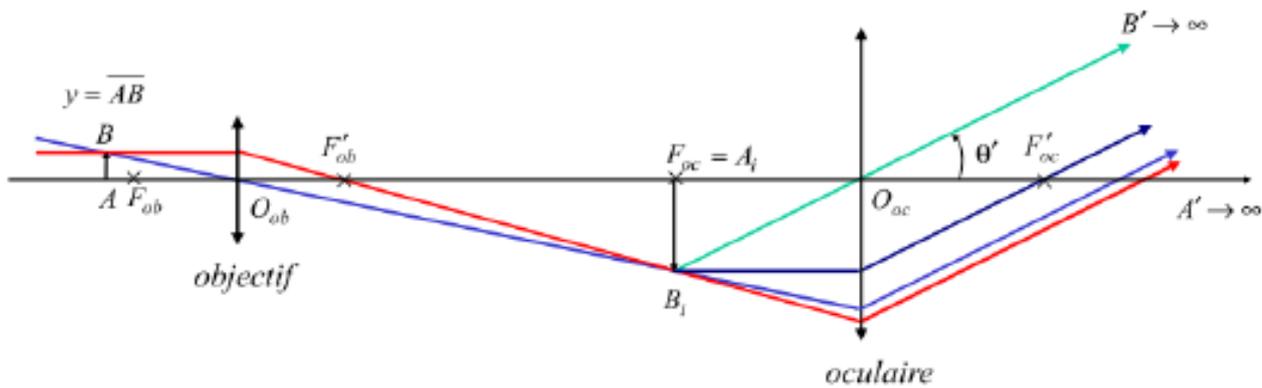
$$\theta = \frac{AB}{dm}$$

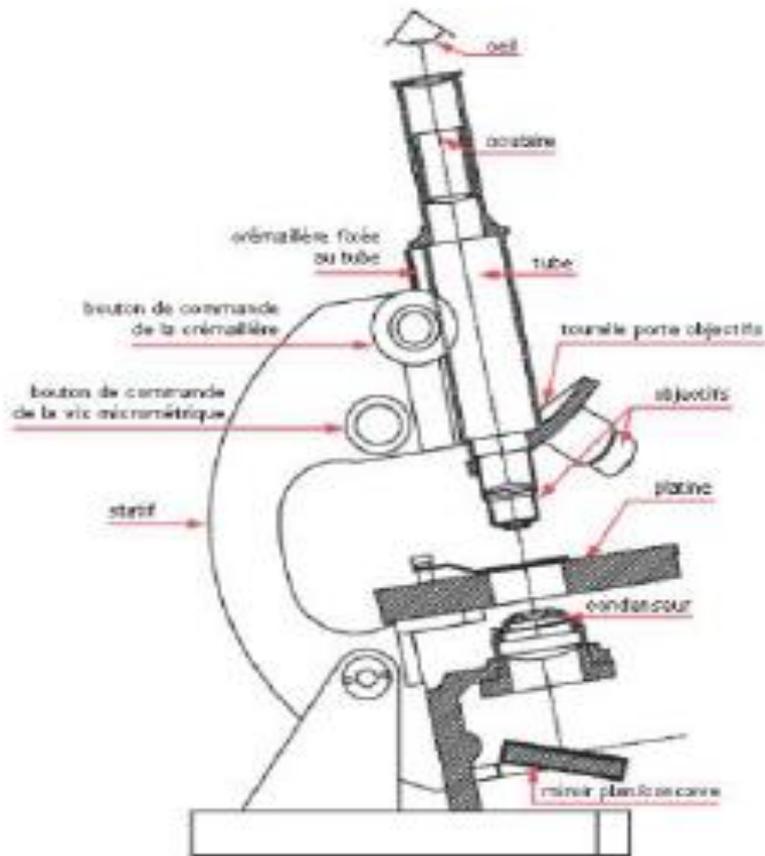
$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\frac{AB}{f'}}{\frac{AB}{dm}} = \frac{f'}{dm} = \frac{1}{4} f'$$

I.4.5 Le Microscope :

Le microscope est un instrument destiné à l'observation d'objet très petit. On peut le schématiser par deux lentilles convergentes :

- ❖ Un oculaire dont la focale est plutôt de quelques centimètres : f'_{oc}
- ❖ Un objectif de focale courte (quelques millimètres) : f'_{ob}





❖ Puissance P :

$$P_{mic} = \frac{\theta'}{AB} = \frac{\theta'}{AiBi} = \frac{AiBi}{AB}$$

Puissance de l'oculaire

$$P_{oc} = \frac{\theta'}{AiBi}$$

Grandissement de l'objectif

$$\gamma_{obj} = \frac{AiBi}{AB}$$

$$P_{mic} = P_{oc} * \gamma_{obj}$$

❖ Grossissement G :

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{0.25 * \theta'}{AB} = \frac{0.25 * \theta'}{A'B'} * \frac{A'B'}{AB}$$

Grandissement de l'objectif

$$\gamma_{obj} = \frac{AiBi}{AB}$$

Grossissement commercial de l'oculaire

$$G_{oc} = \frac{0.25 * \theta}{A'B'}$$

Ainsi, nous pouvons écrire

$$G = \gamma_{obj} * G_{oc}$$

I-5- L'appréciation des erreurs.

I-5-1- Qualités métrologiques des instruments de mesures :

I-5-1- 1. Etendue de mesure :

C'est l'ensemble des valeurs d'une grandeur à mesurer pour lesquelles l'instrument donne une valeur avec une erreur inférieure ou égale à l'erreur maximale tolérée.

I-5-1- 2. Sensibilité d'un instrument de mesure :

Rapport k entre l'accroissement de la variable observée (dl) et l'accroissement réel de la grandeur mesurée (dG).

$$k = dl / dG$$

I-5-1- 3. Justesse d'un instrument de mesure :

Qualité d'un instrument de mesure à donner des indications égales à la valeur vraie de la grandeur mesurée.

I-5-1- 4. Fidélité d'un instrument de mesure

Aptitude d'un instrument de mesure à donner toujours la même indication pour une même valeur de la grandeur mesurée.

I-5-1- 5. Précision d'un instrument de mesure

Qualité globale caractérisant l'aptitude d'un instrument de mesure à donner des indications proches de la valeur de la grandeur à mesurer.

I-5- 2- Estimation des Incertitudes

I-5- 2- 1- Définition : C'est un paramètre associé aux résultats de mesurage qui caractérise la dispersion des valeurs pouvant être attribuée aux mesurante. Cette incertitude peut être un écart type ou un multiple de l'écart type ou la demi largeur de l'intervalle de confiance.

I-5- 2- 2- Erreur de Mesure (E_M) : C'est le résultat de Mesurage (R_M) moins la valeur vraie (V_V) de mesurante.

$$E_M = R_M - V_V$$

I-5- 2- 3- Erreur relative (E_R) : C'est le rapport de l'erreur de mesure à une valeur vraie de mesurante.

$$E_R = E_M / V_V$$

I-5- 2- 4- Types des erreurs :

- Erreur systématique (E_S) : Elle se reproduit en valeur absolue et en signe. Elle est pratiquement constante. On évolue régulièrement en fonction de condition de mesurage.

- Erreur aléatoire (E_A) : Elle fluctue d'une manière imprévisible lorsqu'on répète le mesurage. Pratiquement, on considère que la dispersion est normale.

$$E = E_A + E_S$$

I-5- 3- Procédé de détermination d'erreurs de mesure

I-5- 3-1 : Détermination de l'erreur Aléatoire

On procède à N mesures ($Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_i, \dots, Y_n$) = $\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}$

L'erreur aléatoire

$$E_A = \sigma_Y^{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (\text{Ecart type})$$

Cette évaluation repose sur l'indépendance de différents résultats de Mesurage. Pour cela chaque opération de Mesure doit inclure le démontage et le remontage de produit à mesurer.

I-5- 3-2 Détermination des erreurs systématiques :

Ce sont les erreurs provenant de l'appareil de mesure, du processus de mesure ou de l'opérateur, qui sont répétitives et constantes. C'est une erreur qui prend la même valeur (inconnue) lors de chaque mesure.

Par exemple :

- Une erreur de conception ou de fabrication de l'appareil de mesure.
- Défaut de calibrage, de zéro, d'étalonnage de l'appareil de mesure.

- Des conditions d'utilisation de l'appareil non conformes aux spécifications de l'appareil.
- Erreur de parallaxe dans la lecture d'une indication.

L'évaluation des erreurs systématique est liée à la maîtrise de processus de mesure et à l'expérience de l'opérateur, ces erreurs peuvent être notamment déterminées à partir :

- Documentation de constructeur de l'appareil de mesure
- Résultat d'étalonnage et de vérification
- Une modélisation mathématique exprimant l'influence du paramètre identifié sur le résultat de mesurage.