

Chapitre I

1.	Introduction.....	2
2.	Généralités sur la métrologie.....	2
3	Les erreurs de contrôle.....	6
4	Vocabulaire métrologique.....	7
5.	L'organisation d'une chaîne d'étalonnage.....	8
6	Institutions nationales et internationales de métrologie.....	9
7	Utilité de la métrologie.....	11

A l'issue de ce chapitre, l'apprenant sera capable de :

- Connaître les différents types de métrologie
- Connaître les vocabulaires métrologiques
- Démontrer les institutions nationales et internationales de métrologie



1. Introduction

La **métrologie** est la science de la mesure. La mesure '.....du temps' est l'évaluation d'une grandeur ainsi que la détermination de l'incertitude liée à cette mesure. La métrologie permet de déterminer la conformité des produits mais elle participe aussi à l'amélioration de la qualité. En effet, on ne peut valider une action sur un procédé qu'en vérifiant le résultat de cette action par une mesure.

Le **génie industriel** a pour objet la mise en œuvre de tous les moyens permettant l'obtention de produits dans un domaine industriel donné. Le génie mécanique a donc pour but la conception, la production et le contrôle des produits et des biens d'équipement dans le domaine de la mécanique au sens le plus large du terme (automobile, machines-outils, aéronautique, électroménager, instrumentation médicale, etc.) La métrologie étant la discipline qui consiste à mesurer des grandeurs physiques (toutes les grandeurs physiques sont mesurables), on rappelle que mesurer une grandeur c'est comparer cette grandeur avec une autre arbitrairement choisie comme étalon.

La **métrologie dimensionnelle** est donc la discipline qui traite du domaine de la mesure des longueurs. Tout produit mécanique est constitué par l'assemblage d'un certain nombre d'objets élémentaires (vis, bille, carter, pignon...) que l'on appelle couramment pièces. Chacune de ces pièces est conçue de façon à remplir un certain nombre de fonctions et ceci dans des domaines extrêmement variés.

Le domaine d'application : concerne toute entité susceptible d'effectuer des mesures quantitatives. On peut y trouver la biologie médicale, la chimie pure et appliquée, l'électronique, la physique pure et appliquée, la mécanique... et bien sûr les organismes de métrologie

2 Généralités sur la métrologie

La métrologie au sens étymologique du terme se traduit par Science de la mesure. La métrologie s'intéresse traditionnellement à la détermination de caractéristiques (appelées grandeurs) qui peuvent être fondamentales comme par exemple une longueur, une masse, un temps... ou dérivées des grandeurs fondamentales comme par exemple une surface, une vitesse...

Cependant, dans les domaines courants des essais, il existe de nombreuses caractéristiques n'ayant qu'une relation indirecte avec ces grandeurs. C'est le cas, par exemple, de la dureté, de la viscosité... qui peuvent poser des problèmes dans l'interprétation.

Mesurer une grandeur physique consiste à lui attribuer une valeur quantitative en prenant pour référence une grandeur de même nature appelée unité. Dans le langage courant des «métrologues», on entend souvent dire mesurer c'est comparer !

Les résultats des mesures servent à prendre des décisions :

- Acceptation d'un produit (mesure de caractéristiques, de performances, conformité à une exigence),
- Réglage d'un instrument de mesure, validation d'un procédé,
- Réglage d'un paramètre dans le cadre d'un contrôle d'un procédé de fabrication,
- Validation d'une hypothèse,
- Protection de l'environnement,
- Définition des conditions de sécurité d'un produit ou d'un système,

On peut distinguer, artificiellement, différents aspects de la métrologie pour faciliter sa compréhension :

- A. **La métrologie fondamentale "MF"** : ou scientifique, qui vise à créer, développer et maintenir des étalons de référence reconnus ;

Au niveau international, la « métrologie scientifique » est la partie de la métrologie qui est chargée de définir les unités de mesure, de les réaliser (étalons), de les comparer entre pays, de les conserver et de les diviser dans les pays membres. C'est essentiellement le domaine du Bureau international des poids et mesures (BIPM) (figure 1). Le BIPM et les laboratoires nationaux de métrologie associés ont la charge du Système International d'unités (SI), clef de l'uniformité mondiale des mesures et l'une des bases indiscutables du monde industrialisé.



Figure. 1. Sceau original du BIPM

Le BIPM a aussi pour mission de maintenir le Temps atomique international (TAI) et le Temps universel coordonné (UTC), qui sont les échelles de temps à partir desquelles les fréquences de référence et les signaux horaires sont divisés de manière coordonnée dans le monde.

Les autres organismes de référence sont :

- la Conférence générale des poids et mesures (CGPM) ;
- le Comité international des poids et mesures (CIPM).

Pour assurer cette mission d'unification le BIPM est chargé :

- d'établir les étalons fondamentaux et de conserver les prototypes internationaux ;
- d'effectuer la comparaison des étalons nationaux avec les étalons internationaux ;
- d'organiser des comparaisons internationales au niveau des étalons nationaux ;
- d'assurer la coordination des techniques de mesures correspondantes ;
- d'effectuer et de coordonner les déterminations relatives aux constantes physiques fondamentales ;
- d'organiser des réunions scientifiques visant à identifier les évolutions futures du système mondial de mesure ;
- d'informer, par le biais de publications et de réunions, la communauté scientifique, les décideurs et le grand public sur les questions liées à la métrologie et à ses avantages.

Les travaux scientifiques des laboratoires du BIPM se répartissent en fonction des unités SI : masse, temps et fréquences, longueurs, électricité, photo- et radiométrie, rayonnements ionisants, température, quantité de matière...

- B. **La métrologie industrielle "MI"** : la plus fréquente, qui permet de garantir les mesures, par exemple d'un processus de fabrication, souvent dans le cadre d'un contrôle qualité lié à un système de management de la qualité ;

La métrologie industrielle et scientifique : un outil de la performance économique, La métrologie regroupe l'ensemble des techniques permettant d'effectuer des mesures, de les interpréter et de garantir leur exactitude. Pour les industriels, assurer la traçabilité et la fiabilité de leurs mesures est essentiel pour maîtriser leurs procédés de fabrication et veiller à la qualité de leurs produits. La métrologie peut donc apporter une contribution majeure à la compétitivité des entreprises.

- C. **La métrologie légale "ML"** : liée aux mesures sur lesquelles s'appliquent des exigences réglementaires.

La métrologie a pour but de mesurer, vérifier ou comparer les pièces pour s'assurer que les conditions fonctionnelles ont été respectées. La métrologie met donc en œuvre tous les moyens mécaniques, optiques, pneumatiques ou électriques capables d'assurer un contrôle sûr. Ces appareils si précis soient-ils, comportent toujours une certitude qui doit être faite devant la précision souhaitée sur la lecture. Aucun moyen de production de pièces ne permet d'obtenir des cotes rigoureusement exactes ou des surfaces géométriquement parfaites à cause des erreurs qui sont dues soit à la fabrication soit au contrôle.

La métrologie légale concerne toutes les activités de mesurage relevant d'exigences définies par une réglementation. Ce sont, par exemple :

- les mesurages effectués dans le cadre de transactions commerciales : mesurage du volume de carburant distribué en station-service et affiché par les pompes ; mesurage des quantités de produits pré-emballés et respect des normes les concernant ; pesage des produits et affichage des indications des balances ; mesurage de l'énergie électrique consommée et affichée par les compteurs...
- les mesurages effectués pour définir le prix d'une taxe ou l'importance d'une sanction : cinémomètres, les fameux radars automobiles, éthylomètres...
- les mesures des rejets de polluants : analyseur de gaz d'échappement de véhicule automobile...

- les mesures liées à la santé : pharmacie, appareils enregistreurs de tous types...

La métrologie légale inclut quatre activités principales :

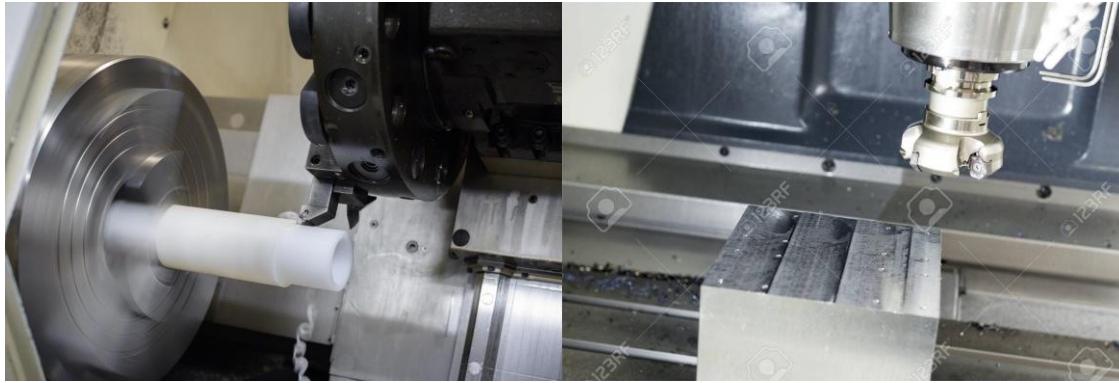
- l'établissement des exigences légales ;
- le contrôle/l'évaluation de la conformité de produits réglementés et d'activités réglementées ;
- la supervision des produits réglementés et des activités réglementés ;
- la mise en place des infrastructures nécessaires à la traçabilité des mesures réglementées et des instruments de mesure.

3 Les erreurs de contrôle

Les erreurs de contrôle peuvent être systématique ou aléatoires et dépendent de l'ouvrier (l'opérateur), de l'instrument de mesure et du climat (vu que les pièces se dilatent sous l'effet de la chaleur et se contractent lors d'un refroidissement).

Puisque aucun moyen ne permet d'avoir des pièces de dimension exacte, ceci conduit à coter des pièces suivant leurs fonctions avec des indicateurs de tolérances, de correction géométriques de surface, d'états de surface,...etc.

- Défauts géométriques de la machine-outil ;
- Défauts cinématiques de la machine-outil ;
- Défauts de la géométrie de l'outil coupant ;
- Défauts de réglage de l'outil coupant ;
- L'usure de l'outil au cours de l'usinage ;
- Flexion de la pièce de l'outil, de la machine-outil et de leur support (rigidité du système) ;
- Défauts de la mise en place de la pièce ;



Tournage

fraisage

Figure. 2. Fabrication de pièces par tournage et fraisage (usinage)

4 Vocabulaire métrologique

a) Mesure et mesurage :

Le mot mesure a, dans la langue française courante, plusieurs significations. A titre d'exemple :

- une valeur : la mesure d'une distance de 20 m ;
- un résultat : une mesure approchée à 1% près ;
- une action : réaliser une mesure électrique ;
- un instrument : une mesure de capacité.

Ainsi, pour éviter toute ambiguïté, le mot « mesurage » a été introduit en métrologie pour qualifier l'action de mesurer.

b) Définition du mesurage :

Processus consistant à obtenir expérimentalement une ou plusieurs valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur.

c) Définition de la grandeur :

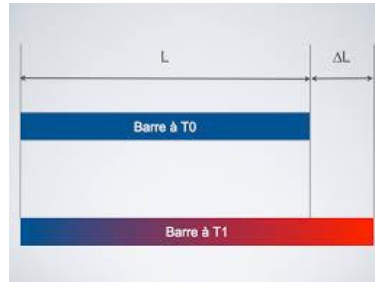
Propriété d'un phénomène, d'un corps ou d'une substance, que l'on peut exprimer quantitativement sous forme d'un nombre et d'une référence. On peut mesurer un temps, une masse, une longueur, une vitesse, un rapport... etc.

d) Définition du mesurande:

C'est la grandeur que l'on cherche à mesurer.

Exemple :

Considérant, à la température spécifiée de 20°C, une tige en acier de longueur L_0 (= le mesurande). À une température de 50°C, la tige se dilatera et aura une nouvelle longueur L . Ainsi le mesurande L_0 est différent de la grandeur mesurée L , et une correction est alors nécessaire.

**5. L'organisation d'une chaîne d'étalonnage**

Au niveau international, les décisions concernant le Système international d'unités (SI) et les recommandations concernant la réalisation des étalons primaires sont prises en compte par la Conférence générale des poids et mesures (CGPM). Le Bureau international des poids et mesures (BIPM) est en charge de coordonner et maintenir les étalons internationaux actuels (kilogramme et temps atomique international) et d'organiser les comparaisons clés inter-laboratoires au plus haut niveau.

Le principe fondamental de la traçabilité consistant à relier la mesure « prise dans le sens le plus général » à des étalons appropriés, la plupart des pays industrialisés ont de ce fait mis en place des chaînes d'étalonnage qui assurent cette fonction, au moins pour les besoins en mesure les plus exacts, pour les instruments qui sont considérés comme étalons de référence ou pour ceux qui contribuent à garantir la qualité d'un produit ou d'un résultat d'essai. Ces chaînes d'étalonnage s'appuient, au plus haut niveau, sur un ou plusieurs laboratoires nationaux de métrologie dont les missions principales sont de réaliser, d'améliorer et de conserver les références nationales. Celles-ci sont, en principe, directement réalisées par rapport aux définitions du Système international d'unités.

■ Étalon primaire :

Étalon qui présente les plus hautes qualités métrologiques. Il n'est jamais utilisé pour réaliser des mesures directes. Exemple : l'IPK (International Prototype of the Kilogram) :



1. Ce prototype est fabriqué en un alliage de platine et d'iridium ;
2. Dimensions : diamètre = hauteur = 39,17 mm ;
3. Ses côtés possèdent un quadruple chanfrein pour minimiser l'usure ;
4. Forte résistance à l'oxydation ;
5. Très haute masse volumique (presque deux fois plus dense que le plomb et 21 fois plus que l'eau) ;
6. Conductivité électriques et thermiques satisfaisantes ;
7. Faible susceptibilité magnétique.

■ **Étalon de référence :**

Étalon, en général de la plus haute qualité métrologique, conçu pour l'étalonnage d'autres étalons de grandeurs de même nature dans une organisation donnée ou en un lieu donné.

■ **Étalon de travail (de contrôle) :**

Étalon qui est utilisé couramment pour étalonner ou contrôler des mesures matérialisées, des appareils de mesure ou des matériaux de référence.

6 Institutions nationales et internationales de métrologie :

■ **Métrologie en Algérie :**

- a) Avant 1962 : Service des Poids et Mesures.
- b) 1962 à 1980 : Service des instruments de Mesure (rattachés aux directions de l'Industrie et de l'énergie).
- c) 1980 à 1986 : Sous-direction des instruments de mesure de wilaya.
- d) 1986 : Création de l'Office National de Métrologie Légale.
- e) 2002 : Conseil National de Métrologie créé par décret exécutif No 02-220 du 20 juin 2002.

6.1 Missions de l'ONML

1. Participer à la sauvegarde de la garantie publique et à la protection de l'économie nationale sur le plan des échanges commerciaux nationaux et internationaux ;
2. Procéder aux études et aux essais des nouveaux modèles d'instruments de mesure en vue de leur approbation,
3. Procéder aux vérifications primitive et périodique des instruments de mesure utilisés dans le commerce et l'industrie ;
4. Effectuer la surveillance permettant de constater que les instruments de mesure répondent aux prescriptions légales ;
5. Élaborer la réglementation technique ;
6. Acquérir et conserver des étalons nationaux ;
7. Développer et promouvoir la métrologie.

Remarque

■ en 2007, sur 8799 vérifications, 12,6% des instruments de pesage contrôlés ont été rejetés ; sur 8706 vérifications de masses, 20% ont été rejetées.

6.2 Missions de l'OIML

1. Former un centre de documentation sur les différents services nationaux s'occupant du contrôle des instruments de mesure soumis aux réglementations,
2. Déterminer les principes généraux de la métrologie légale.
3. Étudier, dans un but d'unification, les problèmes de caractère législatif et réglementaire de métrologie légale au point de vue de l'intérêt international.
4. Établir des projets de lois et règlements types sur les instruments de mesure et leur utilisation.
5. Favoriser les relations entre les services nationaux de métrologie de chacun des États membres de l'organisation.
4. Favoriser le développement de la métrologie légale dans tous les pays, en particulier dans les pays en voie de développement.

7 Utilité de la métrologie

1. Maîtriser les processus de fabrication ;
2. Vérifier et évaluer la conformité des produits aux spécifications techniques et réglementaires ;
3. Contrôler la qualité des produits ;
4. Vérifier l'exactitude des résultats analytiques ;
5. Assurer la loyauté des échanges commerciaux et la protection des intérêts du consommateur ;
6. Assurer la protection de la santé et de la sécurité des citoyens ;
7. Assurer la préservation et la protection de l'environnement.

Chapitre II

1.	Système International d'unité (SI).....	13
2.	Unités de bases	13
3	Grandeurs supplémentaires	15
4	Unités dérivées	17
5.	Multiples et sous-multiples	18
6	Liens entre les unités SI et les unités anglo-saxonnes	19

A l'issue de ce chapitre, l'apprenant sera capable de :

- Montrer les grandeurs de base et leurs unités
- Sélectionner les grandeurs supplémentaires
- Montrer les grandeurs dérivées



1. Système International d'unité (SI)

Le Système International d'unités (abrégé en **SI**), est le système d'unités le plus largement employé du monde. Il s'agit d'un système d'unités décimal (on passe d'une unité à ses multiples ou sous-multiples à l'aide de puissances de 10).

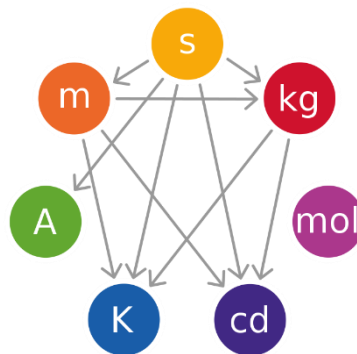
Le Système International d'Unités a pour objet une meilleure uniformité, donc une meilleure compréhension mutuelle dans l'usage général. Cependant, dans quelques domaines spécialisés, en particulier physique théorique, il peut exister des raisons sérieuses justifiant l'emploi d'autres systèmes ou d'autres unités. Quelles que soient ces unités, il est important de respecter les symboles et leur représentation conformes aux recommandations internationales en vigueur.

2. Unités de bases :

Les définitions des unités de base du Système international utilisent des phénomènes physiques reproductibles.

Seul le kilogramme était encore défini par rapport à un objet matériel susceptible de s'altérer, mais cette particularité a pris fin le 20 mai 2019, à la suite d'une décision prise en novembre 2018 par la conférence générale des poids et mesures.

Au nombre de sept, elles doivent être considérées comme indépendantes au point de vue dimensionnel.



Interdépendance entre les unités de base du SI.

En sens horaire à partir du haut, on retrouve la seconde (temps), le kilogramme (masse), la mole (quantité de matière), la candela (intensité lumineuse), le kelvin (température), l'ampère (courant électrique) et le mètre (distance).

Unité de longueur : le mètre (symbole : m) :

Le mètre



Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de $1/299,792,458$ de seconde. Historiquement, la première définition officielle et pratique du mètre

(1791) se référait à la circonférence de la terre et valait $1/20\,000\,000$ d'un méridien géographique. Auparavant, le mètre en tant que proposition d'unité décimale de mesure universelle était défini comme la longueur d'un pendule qui oscille avec une demi-période d'une seconde.

Unité de masse (m) : le kilogramme (kg) :

Le kilogramme



le kilogramme est l'unité de masse ; il est égal à la masse du prototype international du kilogramme. Historiquement, le kilogramme (à l'origine nommé grave) était défini comme étant la masse d'un décimètre cube (dm^3) d'eau, soit un litre d'eau. Le gramme était, lui, défini comme la masse d'un centimètre cube d'eau à la température de $4\text{ }^\circ\text{C}$, qui correspond à un maximum de masse volumique.

Unité de temps (t) : la seconde (s) :

La seconde



La seconde « est définie en prenant la valeur numérique fixée de la fréquence du césium, $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, la fréquence de la transition hyperfine de l'état fondamental de l'atome de césium 133 non perturbé, égale à 9 192 631 770 lorsqu'elle est exprimée en Hz, unité égale à s^{-1} .

Avant le 20 mai 2019, la seconde était « la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133 » à la température du zéro absolu.

La seconde était à l'origine définie à partir de la durée du jour terrestre, divisé en 24 heures de 60 minutes, chacune d'entre elles durant 60 secondes (soit 86 400 secondes pour une journée).

Unité de courant électrique (I) : Ampère (A) :

L'ampère



L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à $2 \cdot 10^{-7}$ newton par mètre de longueur.

Unité de température thermodynamique (T) : Kelvin (K) :

Le kelvin



Le kelvin, unité de température thermodynamique, est la fraction $1/273,15$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau.

Remarque :

en dehors de la température thermodynamique (symbole : T) exprimée en kelvins, on utilise aussi la température Celsius (symbole t) définie par l'expression:

$$t = T - T_0$$

Où $T_0 = 273,15$ K par définition.

- Degrés Celsius en kelvins : $K = ^\circ C + 273,15$
- Kelvins en degrés Celsius : $^\circ C = K - 273,15$

Unité de quantité de matière (n) : mol (mol) :

La mole



La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12 ; son symbole est mol.

Une mole contient exactement $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ entités élémentaires. Ce nombre d'entités élémentaires est appelé nombre d'Avogadro. Lorsque l'on emploie la mole, les entités élémentaires doivent être spécifiées et peuvent être des atomes, des molécules, des ions, des électrons, d'autres particules ou des groupements spécifiés de telles particules.

Unité d'intensité lumineuse (Iv) : candela (Cd) :

La candela



La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est $1/683$ watt par stéradian.

3. Grandeurs supplémentaires :

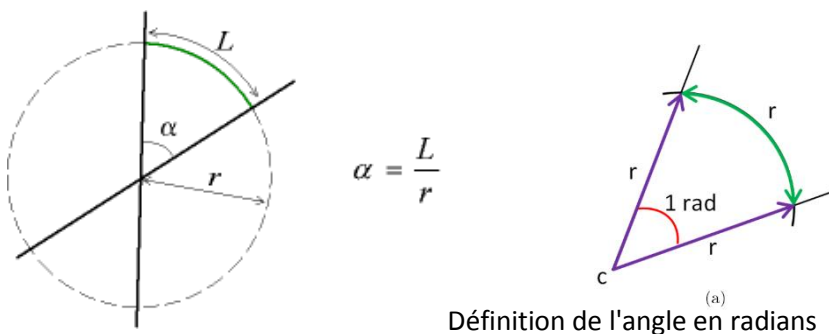
Afin de pouvoir exprimer toutes les unités SI, il est nécessaire d'ajouter deux unités supplémentaires, qui sont purement géométriques :

1. **Unité d'angle solide : le stéradian (sr)**
2. **Unité d'angle plan : le radian (rad)**

Unité d'angle plan : le radian (rad) :

Le radian (symbole : rad) est l'unité dérivée du Système international qui mesure les angles plans. Bien que le mot « radian » ait été inventé au cours des années 1870 par Thomas Muir, les mathématiciens mesuraient depuis longtemps les angles en prenant pour unité le rapport entre la circonférence et la longueur du rayon.

Le radian est l'angle plan compris entre deux rayons qui, sur la circonférence d'un cercle, interceptent un arc de longueur égale à celle du rayon.



Un tour complet équivaut à 2π radians, 360 degrés, 400 grades.

Par conséquent,

- Un radian vaut environ $57,3^\circ$ ou $57^\circ 18'$ ($360^\circ \div 2\pi$) ;
- un degré vaut approximativement 17,5 milliradians.

$$\theta_{deg} = \theta_{rad} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\theta_{rad} = \theta_{deg} \cdot \frac{\pi}{180}$$

Les formules de conversion entre les grades et les radians sont :

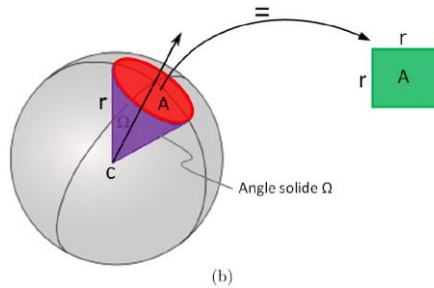
$$\theta_{gra} = \theta_{rad} \cdot \frac{200}{\pi}$$

$$\theta_{rad} = \theta_{gra} \cdot \frac{\pi}{200}$$

Unité d'angle solide : le stéradian (sr) :

L'angle solide est l'extension tridimensionnelle de la notion d'angle définie dans le plan. Le stéradian est l'angle solide qui, ayant son sommet au centre d'une sphère, découpe sur la surface de cette sphère une aire égale à celle d'un carré ayant pour côté le rayon de la sphère.

Autrement dit, un angle solide d'un stéradian délimite sur la sphère unité à partir du centre de cette sphère une surface d'aire 1. Pour une sphère complète, l'angle solide vaut donc 4π stéradians, la surface d'une sphère complète de rayon r valant $4\pi r^2$. Le stéradian est une unité sans dimension.



Représentation d'un angle solide

Les grandeurs "angle plan" et "angle solide" doivent être considérées comme des unités sans dimension qui peuvent être utilisées ou non dans les expressions des unités dérivées.

4. Unités dérivées :

Les combinaisons des neuf unités précédemment citées suffisent pour exprimer l'unité de toute grandeur physique.

Grandeur physique	Nom de l'unité	Symbole de l'unité
Aire	mètre carré	m^2
Volume	mètre cube	m^3
Vitesse	mètre par seconde	$m s^{-1}$
Masse volumique	kilogramme par mètre cube	$kg m^{-3}$
Volume massique	mètre cube par kilogramme	$m^3 kg^{-1}$
Flux de chaleur	watt par mètre carré	$W m^{-2}$
Contrainte et pression	pascal	Pa
Travail, énergie et quantité de chaleur	joule	J
Puissance, flux énergétique et flux thermique	watt	W
Quantité d'électricité et charge électrique	coulomb	C
Résistance électrique	ohm	Ω
Conductance électrique	siemens	S

Capacité électrique	farad	F
Induction magnétique	tesla	T
Inductance électrique	henry	H
Température	degré Celsius	°C
Activité catalytique	katal	kat
Vitesse angulaire	radian par seconde	rad s ⁻¹
Accélération	mètre par seconde carrée	m s ⁻²
Accélération angulaire	radian par seconde carrée	rad s ⁻²
Moment d'une force	newton-mètre	N m
Énergie massique	joule par kilogramme J kg ⁻¹	J kg ⁻¹
Viscosité dynamique	pascal-seconde	Pa s
Conductivité molaire	siemens mètre carré par mole	S m ² mol ⁻¹
Permittivité	farad par mètre	F m ⁻¹
Intensité de champ magnétique	ampère par mètre	A m ⁻¹

5. Multiples et sous-multiples :

Lorsqu'une unité s'avère trop grande ou trop petite, pour l'emploi envisagé, on utilise des multiples ou des sous-multiples exclusivement décimaux. Ils sont obtenus en joignant un préfixe, choisi. Voir tableau ci-dessous

Facteur	Préfixe	Symbole
10 ²⁴	Yotta	Y
10 ²¹	Zetta	Z
10 ¹⁸	Exa	E
10 ¹⁵	Peta	P
10 ¹²	Tera	T
10 ⁹	Giga	G
10 ⁶	Mega	M
10 ³	Kilo	K
10 ²	hecto	h
10	deca	da

10^{-1}	déci	d
10^{-2}	centi	c
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

6. Liens entre les unités SI et les unités anglo-saxonnes :

Longueurs :

Pouce (inch) : 1 in = 2.54 cm

Pied (foot) : 1 ft = 12 in = 30.48 cm

Mile (miles) : 1 mile = 5280 ft = 1.609 km

Volumes:

Pinte (pint) : 1 pint = 0.94 l

Gallon (US gallon) : 1 US gal = 4 pintes = 3.786 l

Baril (US barrel) : 1 bbi = 42 US gal = 159 l

Masses:

Once (ounce) : 1 oz = 28.35 g

Livre (pound) : 1 lb = 0.454 kg

Puissances :

Cheval vapeur (horsepower) : 1 hp = 0.736 kW

Chapitre III

1.	Introduction.....	20
2.	Principaux caractéristiques d'un instrument de mesure.....	23
3.	Types d'erreurs.....	24
4.	Calibre à limites.....	27
5.	Ajustement (mécanique)	40

A l'issue de ce chapitre, l'apprenant sera capable de :

- Montrer l'erreur et l'incertitude
- Souligner les classifications des erreurs de mesure
- Identifier l'intervalle de confiance



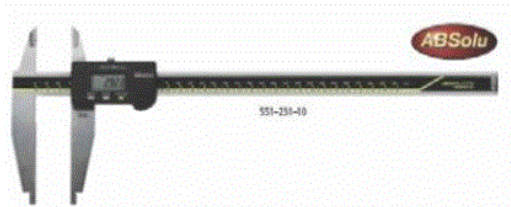
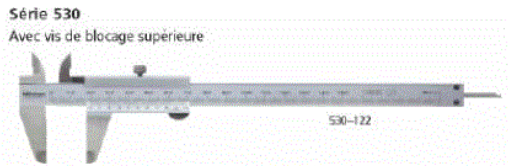
1. Introduction :

En sciences expérimentales, il n'existe pas de mesures exactes. Celle-ci ne peuvent être qu'entachées d'erreurs plus ou moins importantes selon le protocole choisi, la qualité des instruments de mesure ou le rôle de l'opérateur.

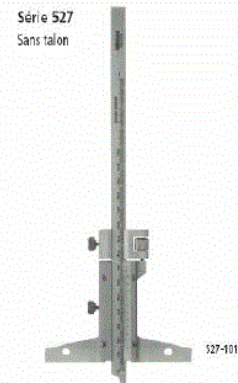
Mesurage : Ensemble des opérations permettant de mesurer une grandeur physique (mesurande). Lors d'un mesurage, souvent une ou plusieurs grandeurs modifient le résultat alors qu'elles ne sont pas l'objet du mesurage, ce sont les grandeurs d'influence par exemple : la température dans la longueur d'une pièce métallique.

► Méthode directe :

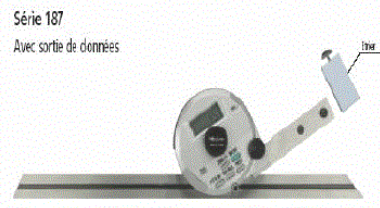
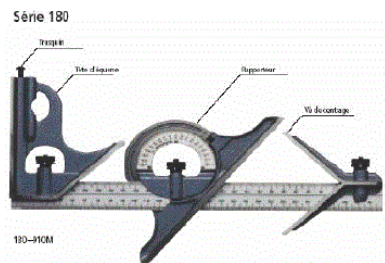
La valeur du mesurande est obtenue directement par lecture d'un appareil (une longueur avec une règle graduée).



Pieds à coulisses



Jauges de profondeur



Rapporteur



Micromètres & jauges micrométriques

► **Méthode indirecte :**

La valeur du mesurande est fonction d'autres mesures.



Compateur

- ▶ **Erreur** : Écart d'une mesure à la valeur vraie.
- ▶ **Incertitude** : Écart probable d'une mesure donnée à une valeur supposée vraie.
- ▶ **Ecart-type** : fondement statistique de l'incertitude.
- ▶ **Coefficient d'élargissement** : par défaut $k=2$.
- ▶ **Intervalle de confiance** : contient la plupart des résultats de mesure.
- ▶ **Justesse** : C'est l'aptitude d'un instrument de mesure à donner des indications exemptes d'erreur systématique.
- ▶ **Erreur de justesse de l'instrument** : L'erreur de justesse dépend de la qualité de fabrication de l'instrument . C'est la composante systématique de l'erreur d'un instrument de mesure (paramètre de position).

2. Principaux caractéristiques d'un instrument de mesure

▶ Fidélité :

C'est l'aptitude d'un instrument de mesure à donner des indications très voisines lors de l'application répétée de la même mesurante dans les mêmes conditions de mesure qui comprennent :

1. Réduction en minimum de variation du à l'observateur ;
2. Même observateur ;
3. Même mode opératoire (Même instrument, même condition de mesure);

4. Même lieu ;
5. Répétition durant une constante période de temps ;
6. Pression de contact plus ou moins grande entraînant des déformations.

► **Répétabilité :**

Écart observé lors de mesurages successifs d'une même grandeur dans des conditions identiques (même opérateur, même lieu, mesures effectuées successivement dans une courte période de temps, même méthode).

► **Reproductibilité :**

Écart observé lors de mesurages successifs d'une même grandeur en faisant varier les conditions (changement d'opérateur, de lieu, de temps, de méthode).

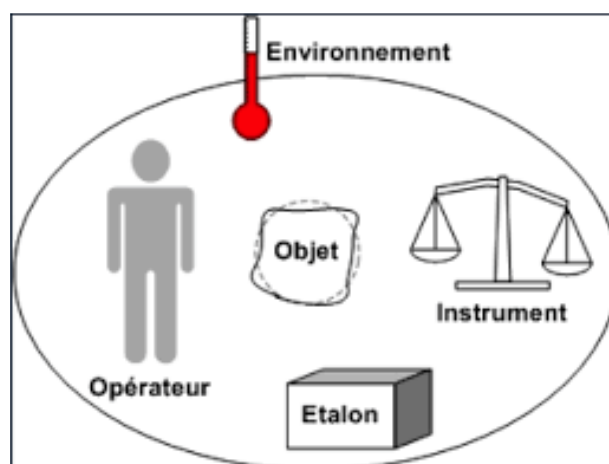
► **Exactitude :**

Aptitude d'un instrument de mesure à donner des indications proches de la valeur vraie d'une grandeur mesurée. L'exactitude représente la qualité globale de l'instrument, dans des conditions données. L'erreur d'exactitude comprend l'erreur de justesse et l'erreur de fidélité.

L'exactitude correspond à l'incertitude de mesure de l'instrument.

3. Types d'erreurs :

Il est toujours possible de décomposer le terme erreurs en une erreur systématique et une erreur aléatoire :



- L'erreur **systematique** est la partie de l'erreur expérimentale qui quantifie l'écart entre la valeur vraie du mesurande et la valeur moyenne des mesurages. Elle peut être due à une mauvaise connaissance du processus de mesure (effet physique non pris en compte, mauvaise connaissance des appareils, etc.). L'erreur systematique est égale à l'erreur moins l'erreur statistique. Elle est associée à l'erreur de justesse. Elle ne dépend pas du nombre de mesurages effectués.
- Une erreur est **aléatoire** lorsque, d'une mesure à l'autre, la valeur obtenue peut être surévaluée ou sous-évaluée par rapport à la valeur réelle.

► **Exemple :**

La mesure du temps avec un chronomètre. L'erreur vient du temps de réaction de l'expérimentateur au démarrage et à l'arrêt du chronomètre. Comme ce temps de réaction n'est pas toujours le même, la valeur mesurée peut être surévaluée ou sous-évaluée.

La multiplication des mesures va réduire l'erreur aléatoire.

En général, on associe au terme fortuit, la notion de hasard ou d'imprévu. Voici quelques sources d'erreurs fortuites.

- A. instabilité des appareils. Si ceux-ci fonctionnent sur la tension du secteur (الجهود الكهربائي), de légères fluctuations de cette dernière font varier les mesures.
- B. fluctuation des conditions ambiantes. De légères vibrations, mêmes invisibles, affectent les appareils de grandes sensibilités.
- C. erreur de lecture. Evaluer correctement la position d'une aiguille sur un cadran.
- D. imprécision de la grandeur à mesurer. Un cube dont les arêtes sont arrondies ou irrégulières entraînerons des erreurs de calcul du volume.

Comment faire pour minimiser les erreurs de mesure ?

Pour que le résultat d'une mesure se rapproche de la valeur vraie, il faut diminuer les erreurs systematiques et les erreurs aléatoires.

Résultat = Valeur vraie + erreur systematique + erreur aléatoire

On doit appliquer les deux règles fondamentales de la métrologie :

- ▶ On diminue les E aléatoires en répétant la mesure,
- ▶ On diminue les E systématiques en appliquant des corrections.

4. Calibre à limites

Les calibres à limites sont des outils de contrôle utilisés dans l'industrie mécanique permettant de vérifier de façon simple le respect des exigences fonctionnelles des pièces après usinage. Ils sont utilisés en cours de process de production ou de réception.

4.1. Généralité et principe

Le principe du contrôle d'une grandeur mécanique par calibre à limite est basé sur l'utilisation d'un calibre ENTRE et d'un calibre N'ENTRE PAS parfois appelés GO et NO GO. Ce contrôle ne donne pas de renseignement sur la valeur de la grandeur. En revanche, il renseigne sur le fait que la grandeur mesurée est dans la tolérance spécifiée et nécessaire pour assurer le fonctionnement d'un ensemble mécanique.

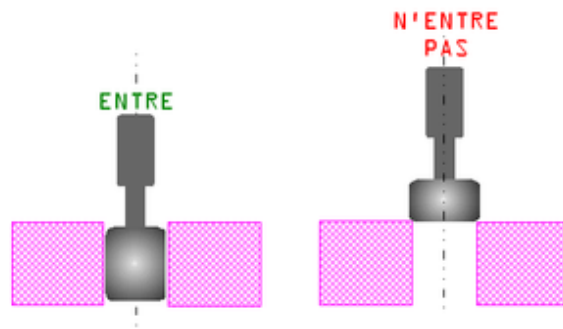
C'est donc en principe un contrôle de fabrication ou même de réception mais ce n'est pas une mesure. Les calibres à limite ne sont pas des appareils mesureurs (comme un pied à coulisse par exemple). Son avantage réside dans la simplicité et la rapidité de la mesure. Elle permet un tri des pièces mais elle ne permettra pas de faire un diagnostic sur une éventuelle non-conformité.

La grandeur mesurée est dite dans la tolérance si :

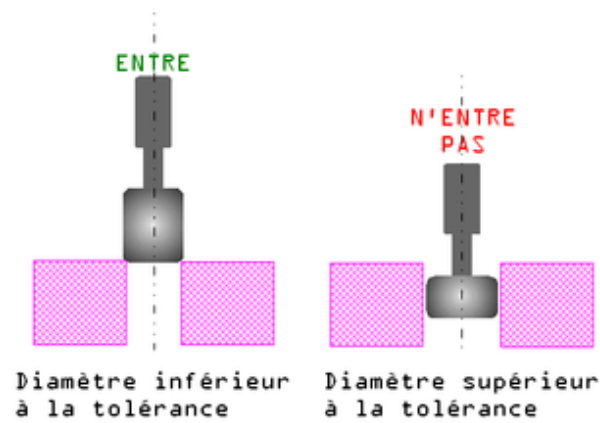
- le calibre ENTRE n'interfère pas avec la grandeur, c'est-à-dire pénètre.
- le calibre N'ENTRE PAS interfère avec la grandeur, c'est-à-dire ne pénètre pas.

Calibre intérieur

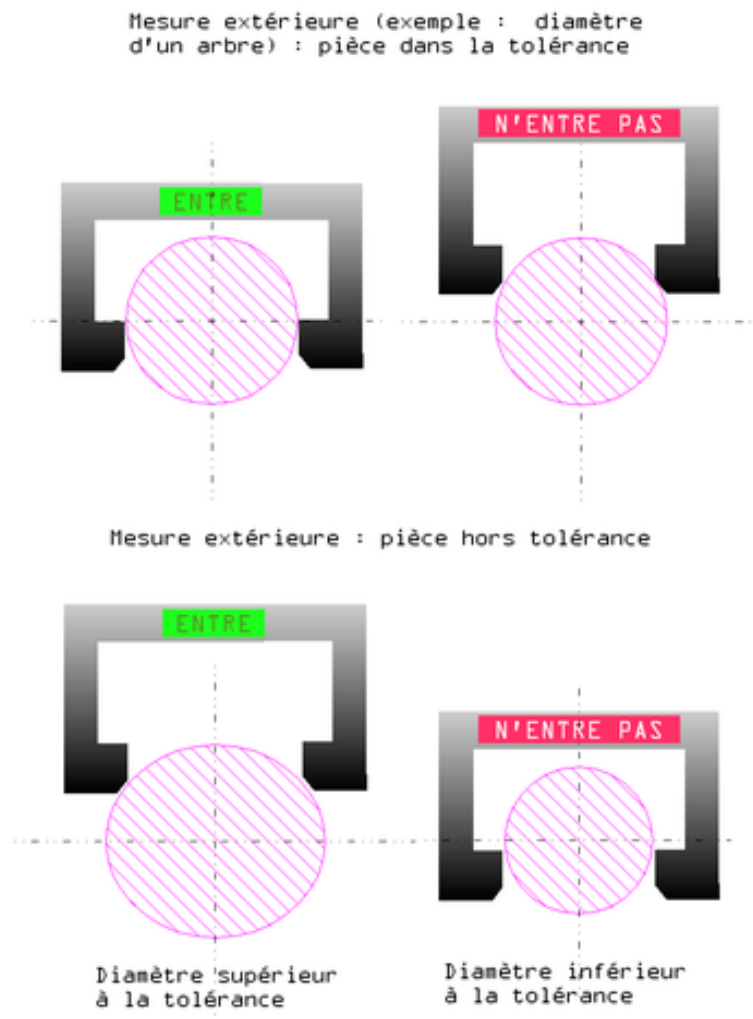
Mesure intérieure (exemple : alésage) : pièce dans la tolérance



Mesure intérieure : pièce hors tolérance



Calibre extérieur



4.2. Contrôle de formes lisses

Alésage

Le calibre est appelé dans ce cas un tampon. Il existe des tampons « pleins » de forme cylindrique et des tampons dits plats. Pour vérifier un alésage, le tampon ENTRE doit pénétrer sur la totalité de l'alésage sans que le contrôleur n'applique une force trop importante. Dans le cas d'utilisation d'un tampon plat, le contrôleur doit faire pénétrer le tampon successivement suivant deux plans axiaux perpendiculaires. Le tampon N'ENTRE PAS ne doit pas pénétrer en étant utilisé à la main sans force excessive.



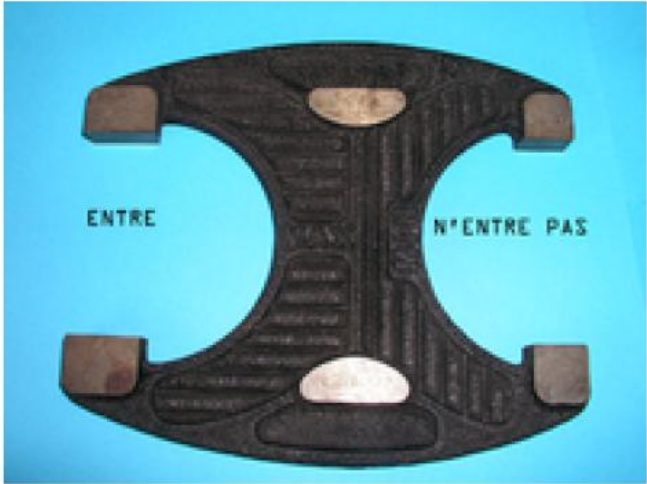
Tampon lisse double



Tampon lisse plat

Arbre

Le calibre est appelé ici une mâchoire. Il existe plusieurs modèles de mâchoire : mâchoire double avec un côté ENTRE et un N'ENTRE PAS, des mâchoires simples, des mâchoires simples dites à l'enfilade, des mâchoires réglables. Les mâchoires à l'enfilade et réglables comportent une partie ENTRE et une partie N'ENTRE PAS placées l'une derrière l'autre. Le contrôleur vérifie en un seul geste la dimension de sa pièce. Il est également possible d'utiliser des bagues. La mâchoire ENTRE doit pénétrer sur la pièce sous l'effet de son propre poids. De même, la mâchoire N'ENTRE PAS ne doit pas pénétrer sous l'effet de son propre poids (si l'arbre est horizontal). Pour vérifier la totalité de l'arbre, il faut effectuer le contrôle en plusieurs positions.



Mâchoire double



Mâchoire dite par enfilade



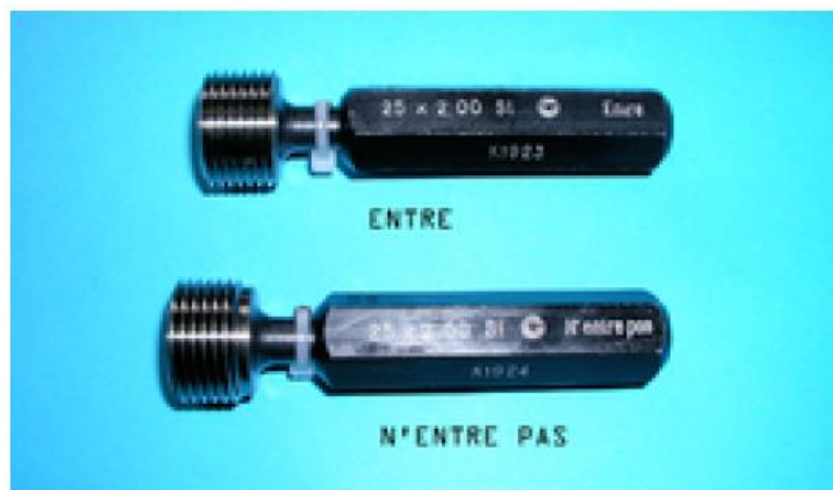
Mâchoire réglable

4.3. Contrôle de filetage

Les tampons ou bagues lisses permettent de vérifier le diamètre intérieur (filetage intérieur) ou extérieur (filetage extérieur) en « sommet de filet ». Les tampons ou bagues fileté permettent de vérifier le diamètre du filetage à « flanc de filet ». Les deux grandeurs étant indépendantes il est impératif d'effectuer le contrôle avec les deux jeux de calibres.



Tampon fileté double



Tampons filetés simples



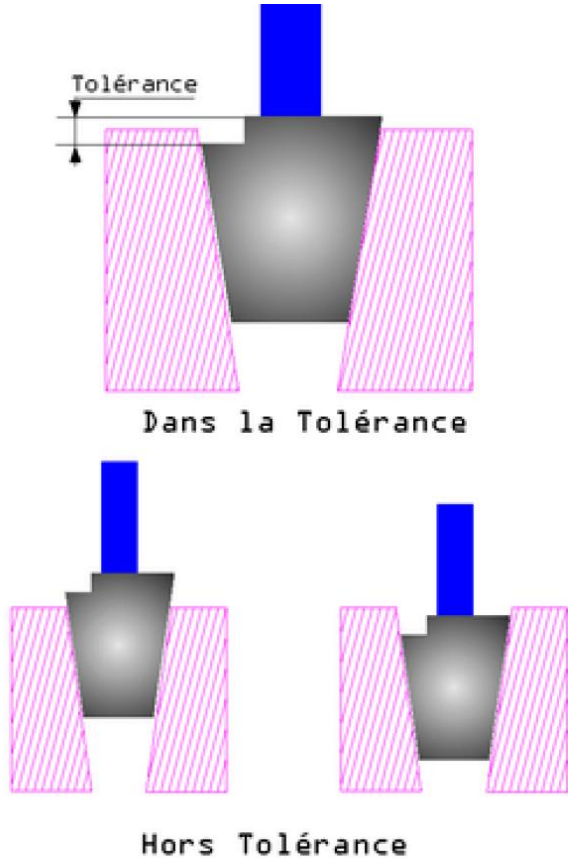
Bagues

Filetage conique

Le contrôle d'un filetage conique par calibre à limite n'est pas effectué par des tampons ENTRE et N'ENTRE PAS mais à l'aide de calibres dont la tolérance est matérialisée par une encoche située sur le haut du calibre (tampon pour filetage intérieur et bague pour filetage extérieur). Le calibre contrôle dans ce cas une pénétration. Pour être conforme, la face supérieure du filetage ne doit pas être en dessous ou au-dessus des deux plans représentés par l'encoche.

De même les calibres ne doivent pas « boiter » ce qui indiquerait alors un angle du cône trop faible ou trop important.

- De la même manière que pour le filetage cylindrique, le contrôle s'effectue à l'aide d'un calibre lisse qui vérifie le cône en sommet de filet et un calibre fileté qui vérifie le cône à flanc de filet.



Principe du contrôle à l'aide d'un tampon conique



Tampon conique



Gros plan sur l'encoche du calibre lisse

Tampon lisse double et calibre à mâchoire double



Les tampons : contrôle d'alésage.
Les calibres : contrôle d'épaisseur de pièces, de diamètre d'arbre cylindrique ou de tenon.

Jauge plate



Contrôle de rainure ou d'alésage.

Calibre à mâchoire en enfilade



Contrôle de diamètre d'arbre cylindrique.
La pièce contrôlée doit entrer seulement sur la 1ère partie du calibre.

Bague et tampon de contrôle de cannelu...



Contrôle des moyeux et des arbres cannelés.

Tampons et bagues coniques



Contrôle de cônes intérieurs et extérieurs.

Tampon de filetage intérieur et calibre réglable



Le tampon permet le contrôle des filetages intérieurs. Le calibre réglable permet le contrôle des filetages extérieurs.

Bague de contrôle de filetage extérieur



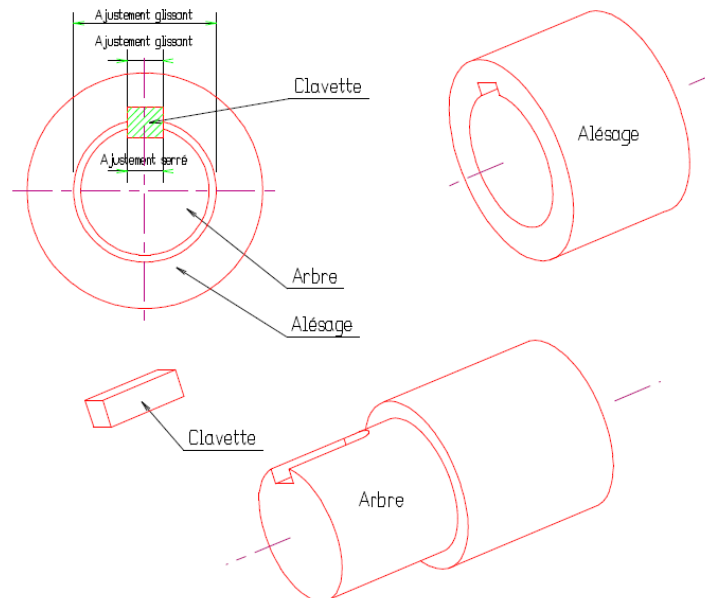
Contrôle des filetages extérieurs. Elles vont par paire, une bague doit se visser et l'autre pas.

5. Ajustement (mécanique) :

En mécanique, un ajustement est l'assemblage d'une pièce extérieure contenant (alésage) et d'une pièce intérieure contenue (arbre). Les pièces mâle (arbre) et femelle (alésage) ont la même dimension nominale mais des tolérances différentes offrant soit un jeu positif, soit un serrage, soit un jeu incertain.

a) Domain e d'application :

Un ajustement concerne toujours deux pièces : le contenu et le contenant. Le cas le plus fréquemment rencontré est celui de l'arbre et de l'alésage (pièces cylindriques) mais on peut aussi rencontrer d'autres cas comme celui de la clavette dans ses rainures (pièces prismatiques).



b) Signification :

Cette indication n'a de sens que pour une production en série. Les pièces sont fabriquées séparément, il faut donc assurer l'interchangeabilité des pièces. Le but étant, pour des alésages et des arbres respectant les tolérances indiquées, on peut assembler n'importe quel arbre avec n'importe quel alésage en respectant un assemblage ayant la même "qualité".

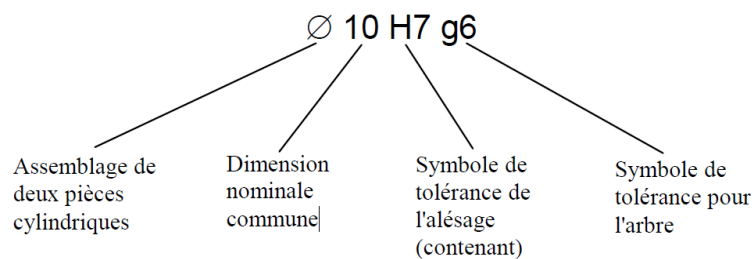
c) Familles d'ajustements :

Trois cas d'ajustement peuvent se présenter :

- l'ajustement avec jeu ;
- l'ajustement avec serrage ;
- l'ajustement incertain : Sur un même échantillon de couples de pièces, un certain nombre de couples présenteront un serrage, d'autres un jeu.

d) Nécessité d'une tolérance dimensionnelle :

La fabrication en série de pièces de dimensions exactes étant impossible (de même que leur vérification par mesurage), concepteur et fabricant sont amenés à tolérer que la dimension effectivement réalisée soit comprise dans un certain intervalle dimensionnel appelé **intervalle de tolérance (IT)**.

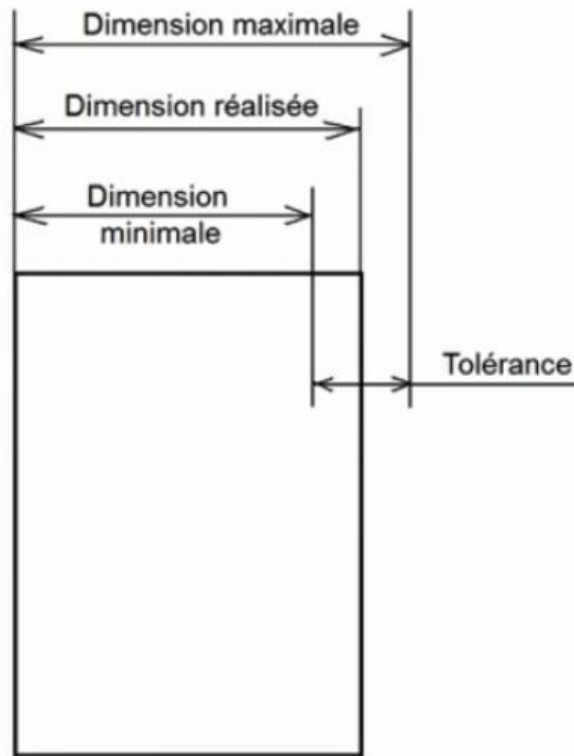


e) Analyse des ajustements :

Au lieu d'indiquer les valeurs du jeu, la norme a codifié la notation. Après la valeur de la cote nominale (référence), on inscrit :

- Une lettre majuscule (A à Z) qui précise l'écart inférieur (EI) de l'alésage (H),
- Un nombre (01, 02, ..., 16) qui précise l'intervalle de tolérance IT de l'alésage (7),
- Une lettre minuscule (a à z) qui précise l'écart supérieur (ES) de l'arbre (g),
- Un nombre (01, 02, ..., 16) qui précise l'intervalle de tolérance IT de l'arbre (6).

Les procédés d'usinage font qu'une pièce ne peut être réalisée de façon rigoureusement conforme aux dimensions fixées. Il a donc fallu tolérer que la dimension réalisée soit comprise entre deux dimensions limites, compatibles avec un fonctionnement correct de la pièce. La différence entre ces deux dimensions constitue la tolérance.



Exemple : l'unité utilisée est le mm pour la cote et son IT

$30^{+0,3}_{-0,1}$	$20^{-0,02}_{-0,07}$	30^{+3}_{-2}	$60^{\pm 2}$	$105^{+0,07}_{+0,02}$
Cote nominale : C'est la valeur de base de la cote.				
30	20	30	60	105
Ecart supérieur : Se place toujours en haut. Permet de déterminer la cote Maxi.				
30,3	19,98	33	62	105,07
Ecart inférieur : Se place toujours en bas. Permet de déterminer la cote mini.				
29,9	19,93	28	58	105,02
Intervalle de tolérance (IT) : C'est la marge totale où la pièce est acceptée.				
Méthode de calcul : IT = cote Maxi – cote mini				
0,4	0,05	5	4	0,05

Chapitre IV

1.	Mesure directe des longueurs.....	44
2.	Mesure indirecte	44
3	Contrôle des dimensions	44
4	Machines de mesure et de contrôle utilisées en atelier mécanique	63

A l'issue de ce chapitre, l'apprenant sera capable de :

- Montrer les instruments de mesure directe
- Sélectionner les instruments utilisés en atelier mécanique
- Montrer les instruments de mesure indirecte.



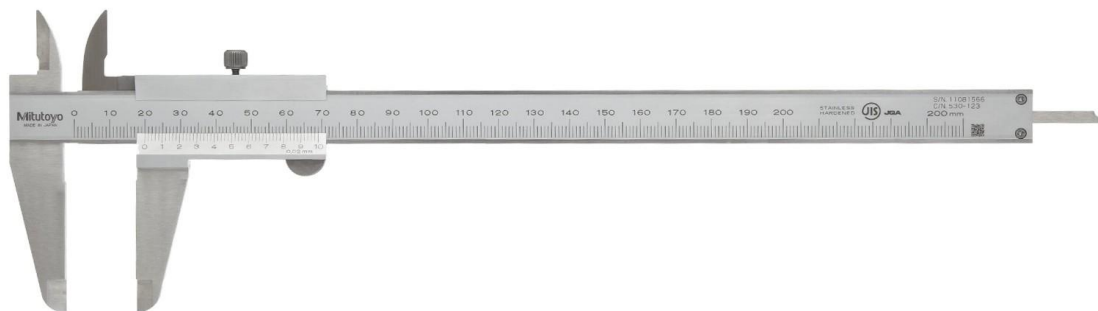
1. Définition :

Le calibre à coulisse (ou pied à coulisse) est un instrument de mesure linéaires variables. Il permet la prise de mesure d'épaisseur ou de diamètre et aussi de profondeur.

Cet appareil de mesure direct, entièrement en acier inoxydable, peut-être de dimensions variables, en fonction de sa longueur et de la forme de ses becs. Certaines versions très modernes sont équipées de cardan numérique électronique facilitant la mesure.

En métrologie, on distingue 3 types de pieds à coulisse :

Le pied à coulisse Vernier : Le pied à coulisse vernier (du nom de son inventeur) est une réglette graduée apposée sur les pieds à coulisse, avant la diffusion des calculatrices, qui permet d'améliorer la précision de lecture analogique. Il fut inventé en 1631 par le mathématicien Pierre Vernier (1580-1637).



Les pieds à coulisse à cadran : Ils sont dotés d'un cadran circulaire gradué avec une aiguille.



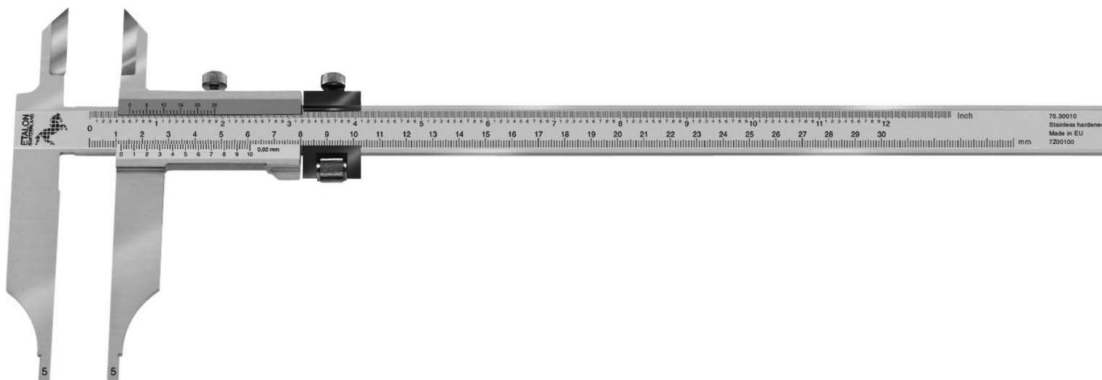
Les pieds à coulisse à lecture digitale : Pour un affichage rapide dans un écran à cristaux liquides. Ils peuvent avoir différentes fonctions : conversion des millimètres en pouces (inch), blocage de l'affichage, conservation des mesures en mémoire, transmission des données vers un ordinateur (grâce à une sortie de données).



Pied à coulisse à pointes à réglage fin :

Type :

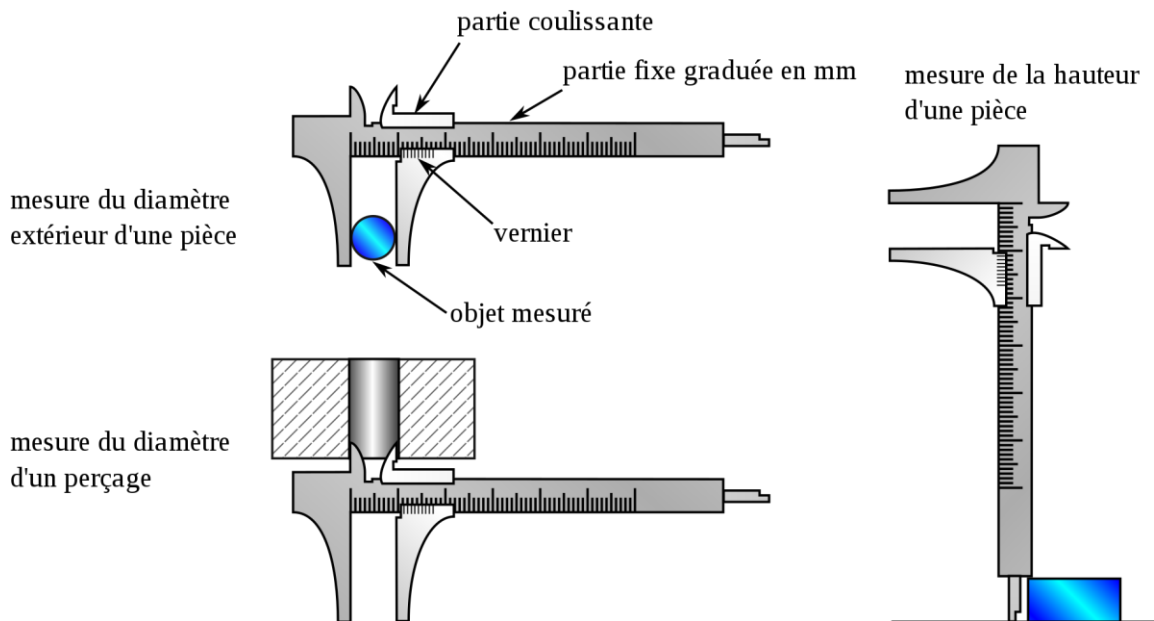
- Graduation 0.05 mm
- Acier inoxydable
- Avec réglage fin
- Pointes de bec arrondies pour avoir une mesure exacte du dia. intérieur
- Plage de mesure 300 mm, dia. intérieur mesurable dès 10 mm
- Plage de mesure 500 mm, dia. intérieur mesurable dès 20 mm.



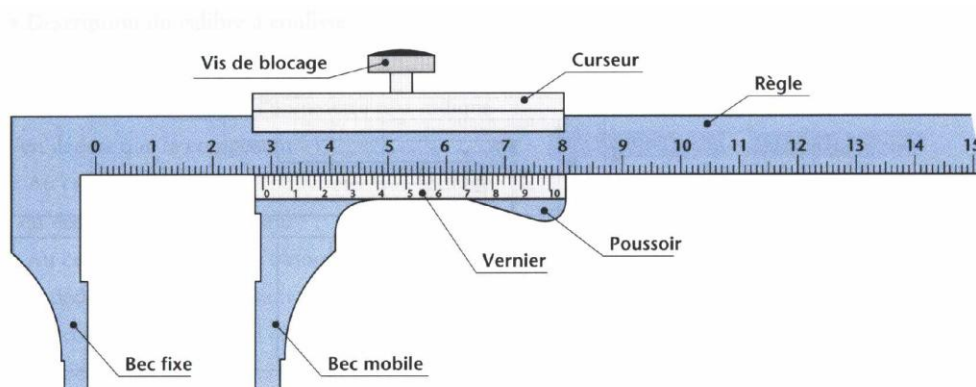
2. Fonctions :

Un pied à coulisse a pour fonctions de mesurer trois types de dimensions :

- des dimensions extérieures, épaisseur, diamètre, d'une pièce, par les becs principaux ;
- des dimensions intérieures d'un perçage, alésage d'une pièce par les petits becs supérieurs ;
- la profondeur d'un trou ou la hauteur d'une pièce posée sur un support par la jauge de profondeur.



3. Identification d'un pied à coulisse :



Cet instrument compte diverses pièces, y compris trois mécanismes pour mesurer:

- **becs extérieurs** : pour mesurer les dimensions extérieures des objets, p. ex., le diamètre extérieur d'un tuyau
- **becs intérieurs** : pour mesurer les dimensions intérieures des objets, p. ex., le diamètre intérieur d'un tuyau
- **jauge de profondeur** : pour mesurer la profondeur des objets, p. ex., la profondeur d'un petit boîte
- deux échelles de mesure
 - une échelle fixe

- une échelle mobile (vernier).

4. Effectuer une mesure intérieure ou extérieure correcte :

- Il faut que les surfaces de la pièce et les surfaces des becs du pied à coulisse soient propres.
- Il faut s'assurer du contact parfait entre les surfaces de la pièce et celle du pied à coulisse.
- La pièce doit être mise en position la plus rapprochée de la règle pour éviter le jeu du curseur

5. Utilisation des pieds à coulisse

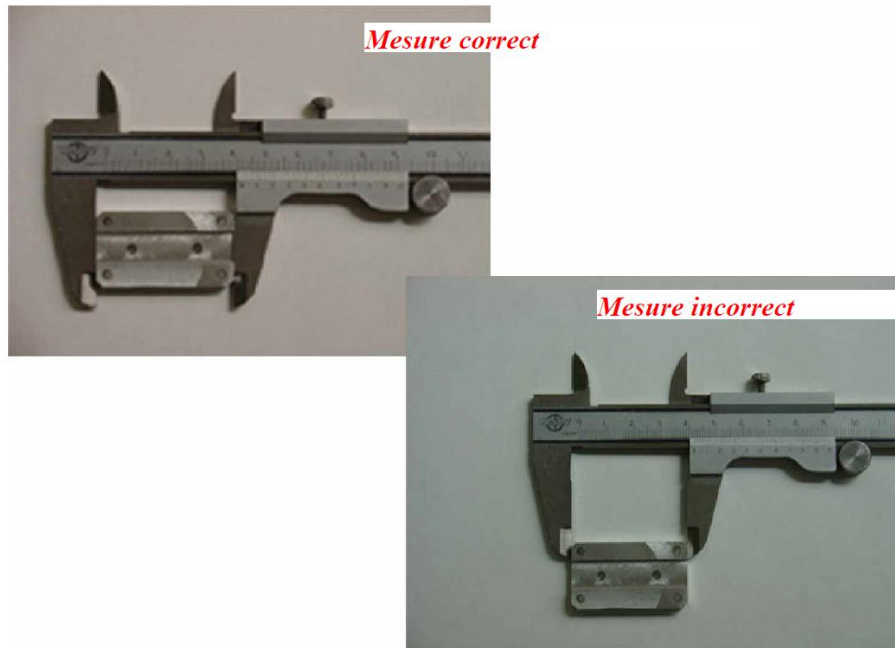
Exercez-vous à mesurer à l'aide d'un pied à coulisse en trouvant l'épaisseur d'un livre.

1. Placez le livre dans le sens de l'épaisseur entre les principaux becs du pied à coulisse. Fermez les becs jusqu'à ce qu'ils touchent à peine les deux côtés du livre.

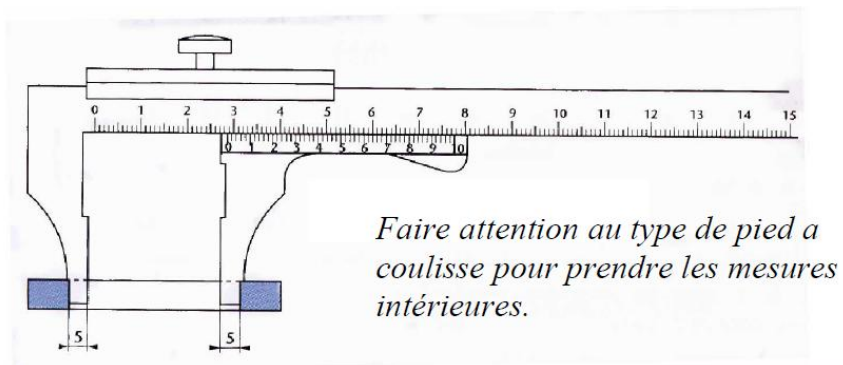
2. Faites la lecture de la première ligne sur l'échelle mobile. Elle pointera à un endroit de l'échelle fixe. Cette position détermine les premiers chiffres de la lecture.

3. 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.

6. Exemple d'une mesure Extérieur



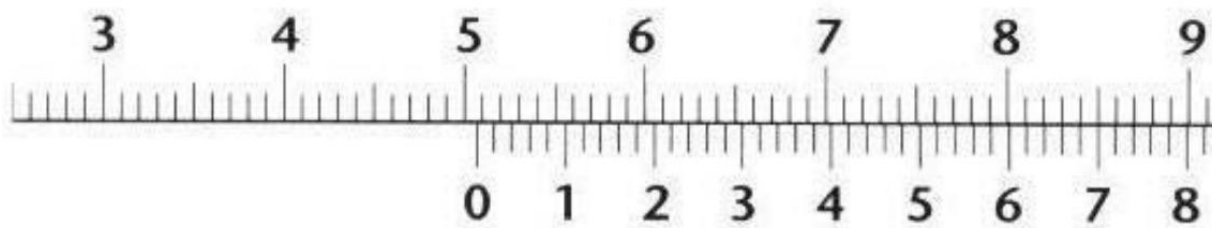
7. Exemple d'une mesure intérieure:



8. Précisions de mesure

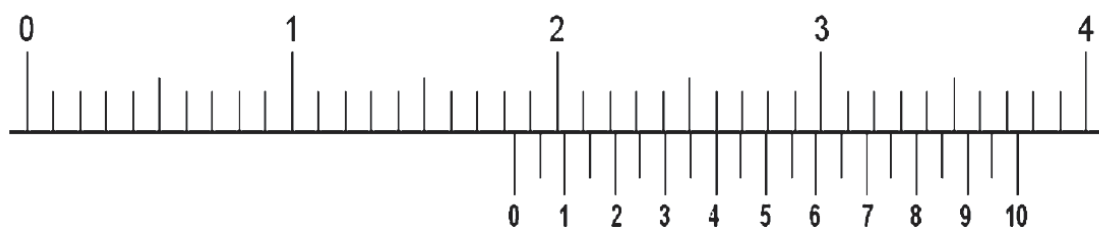
	<p>A) Le vernier au $1/10$ possède 10 graduations, et mesure 0,9mm.</p> <p>1 graduation = 0.1mm 5 graduations = 0.5mm</p>
	<p>B) Le vernier au $1/20$ possède 20 graduations, et mesure 1,9mm.</p> <p>1 graduation = 0.05mm 8 graduations = 0.40mm 15 graduations = 0.75mm</p>
	<p>C) Le vernier au $1/50$ possède 50 graduations, et mesure 4,9mm.</p> <p>1 graduation = 0.02mm 4 graduations = 0.08mm 18 graduations = 0.36mm 24 graduations = 0.48mm</p>

9. Lecture de la mesure

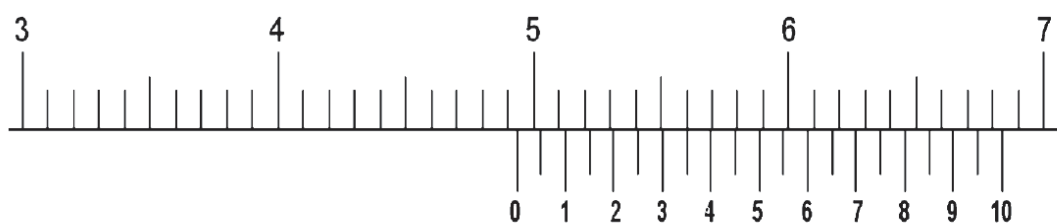


- Repérer le nombre de millimètres : ici 50
- On remarque que la dimension est comprise entre 50 et 51 mm
- Repérer sur la vernier les 1/10 de mm, pour cela repérer où se trouvent les graduations les mieux alignées : ici entre 6 et 7, on sait donc que la dimension est comprise entre 50,6 et 50,7 mm.
- 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.

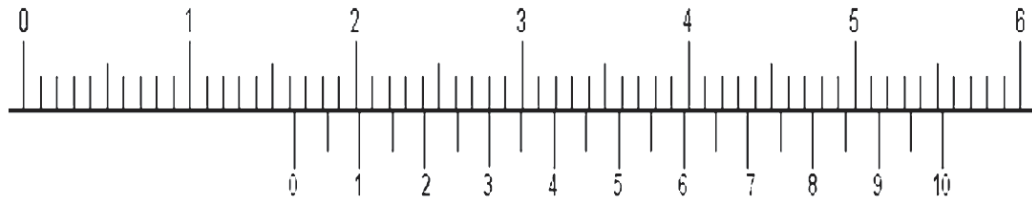
La dimension est donc : 50,66 mm.



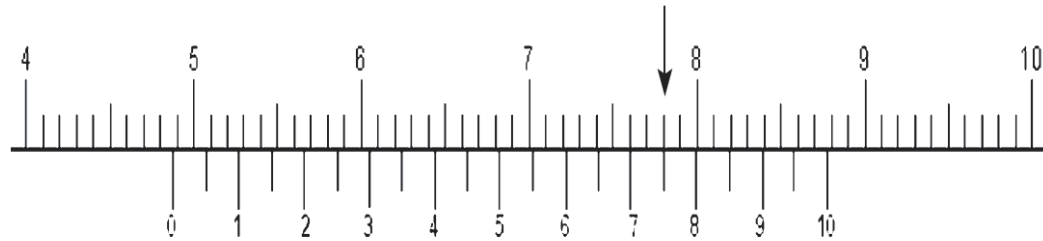
cote relevée : 18.4 mm



cote relevée : 49.35 mm

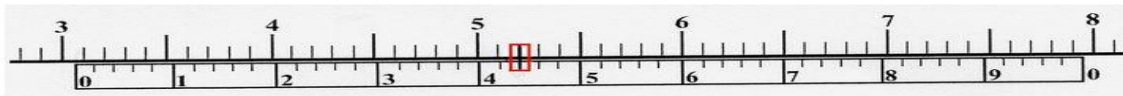


cote relevée : 16.30 mm

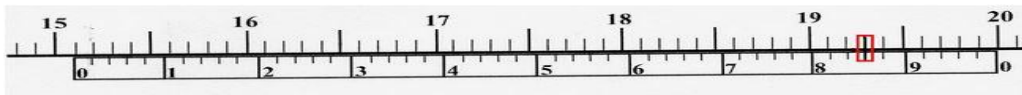


cote relevée : 48.75 mm

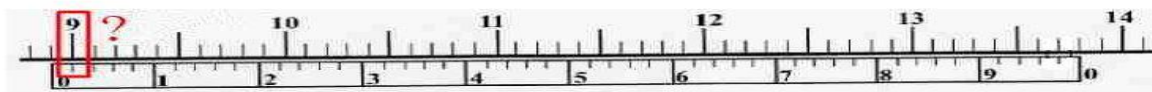
10. Lire les dimensions affichées ci-dessous



3.42 34.54 3.45 30.44 3.45



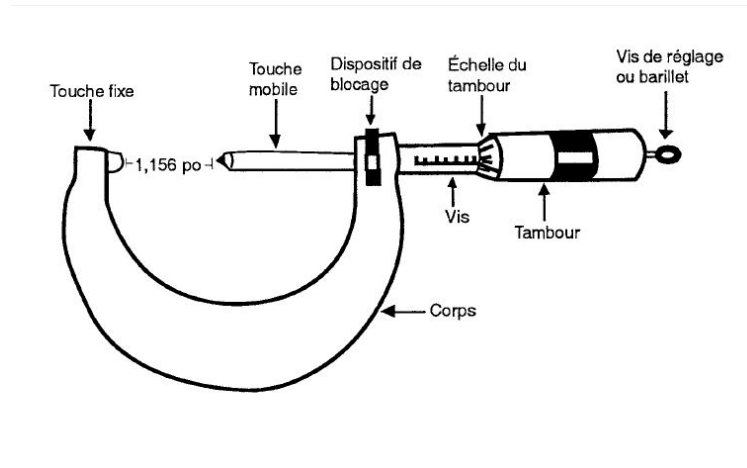
198.3 15.198 151.86 150.86 15.86



8.02 90.02 99.2 89.02 9.132

1. Micromètre :

Le micromètre peut mesurer de très petites distances, tel le diamètre d'un tuyau, d'une tige, d'un écrou et d'un boulon, ainsi que de rondelles et de clous. Le schéma qui suit représente les principales pièces du micromètre :



- **Corps** : partie en acier en forme de « u » généralement recouverte de 2 plaques en matière isolante.
- **Touche fixe** : la touche fixe est en acier inoxydable rectifié
- **Touche mobile** : La touche mobile est également en acier inoxydable rectifié, elle est solidaire de la partie tambour gradué.
- **Dispositif de blocage** : le système de blocage de la mesure permet de verrouiller le tambour lorsque la lecture n'est pas possible en position.
- **Douille graduée** : la Douille graduée est l'élément où sont gravés les mm et demi-mm.
- **Tambour gradué** : le tambour est gravé de 50 graduations équivalentes chacune à 1 centième de mm, il avance suivant le pas de la vis qui est généralement de 0.5mm.
- **Ligne de foi** : la Ligne de foi est une ligne horizontale servant de repère permettant de lire les centièmes.
- **Limiteur de couple à friction** : le bouton limiteur de couple à friction permet de déplacer la vis et empêche le vissage si la pression sur la pièce est trop forte.

2. Les micromètres des mesures intérieurs

- Les micromètres es d'intérieur est utilisé pour mesurer des dimensions intérieurs comme les diamètres de trous, ou les rainures, il en existe deux types :

1. Le micromètre intérieur **à trois touches** 'appelé aussi alésomètre'
2. Le micromètre d'intérieur **à deux touches**



3 touches à tambour

- Micromètre d'intérieur 3 touches à tambour gradué auto-centrage ou auto-alignement.
- Étalonnage à l'aide d'une bague rectifiée
- Capacité 3 à 10 mm suivant modèle et diamètre
- Précision : 0.01mm



3 touches digital

- Micromètre d'intérieur digital 3 touches auto-centrage ou auto-alignement.
- Capacité 3 à 10 mm suivant modèle et diamètre
- Précision : 0.001mm



2 touches à tambour

- Micromètre d'intérieur 2 touches à tambour gradué
- Capacité 5- 30 mm
- Précision 0.01mm



Jauges micrométriques

- Jauges micrométriques d'intérieurs à 2 touches à tambour gradué, permet entre autres de contrôler les défauts de circularité
- Peut pratique, délicat à utiliser.



Pour filetages

- Micromètre pour filetages intérieur ;

- Touches interchangeable suivant le pas à contrôler ;
- Précision 0.01 mm.



Support

- Support de micromètre, utilisé pour le contrôle de séries



Clés d'étalonnage

- Clés d'étalonnage pour un micromètre à tambour gradué avec ses cales étalons



Tour d'étalonnage

- Une tour d'étalonnage est un étalon cylindrique étagé pour le réglage de l'affichage et de l'étalonnage.



3. Les micromètres des mesures extérieurs

À tambour gradué

- Capacité 25-50mm ;
- 1 tour = 0.5mm ;
- Précision 0.01mm.



À affichage digital

- Champ de mesure pouvant aller jusqu'à 30 mm ;
- Étanche et équipé d'une interface de sortie de données ;
- Précision 0.001 mm



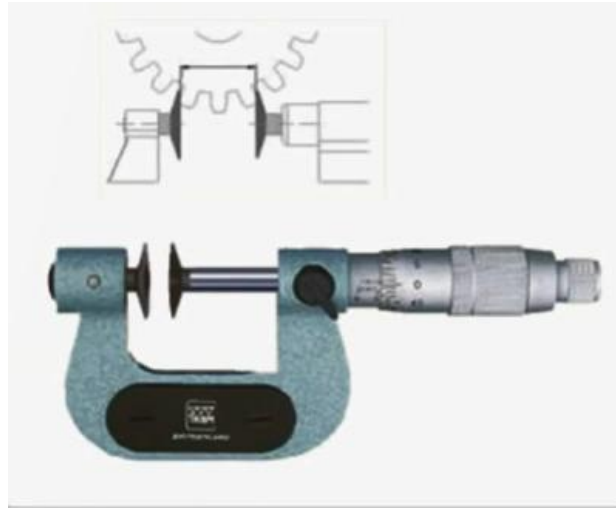
Mesure de filetages

- Mesure les diamètres sur flancs de filetages ;
- Touches interchangeable.



Mesure d'engrenage

- Micromètre pour la mesure de l'écartement des dents d'engrenage, la distance entre rainures ou gorges ainsi que d'autres points difficilement accessibles.



À face prismatiques

- Mesurent les outils à nombre impair de dents tels que les fraises, les alésoirs ou les tarauds. Déterminent les erreurs de circularité sur des pièces cylindriques. Angle d'ouverture du prisme adapté aux outils à 3 ou 5 dents.



À touches fines

- Pour la mesure des encoches, rainures de clavettes, arbres cannelés et autres points difficilement accessibles. Les touches fines se prêtent particulièrement bien à la vérification des petites pièces mécaniques.



À deux touches sphériques

- Faces de mesure arrondies pour la vérification des surfaces creuses, telles que des chemins de roulements, et de l'épaisseur de parois.



Pour parois de tubes

- Touche en forme de tonneau pour la mesure de l'épaisseur des parois de tubes et autres pièces curvilignes.



Mesure de matières tendres

- Grandes faces de mesure à bords arrondis pour la mesure de l'épaisseur de matières tendres telles que papier, feutre, caoutchouc, tissus et autres.



À enclume support

- Micromètre spécialement conçu pour la mesure de pièces de petites dimensions produites en série.



Pour grands diamètres

- Permet de mesurer des diamètres jusqu'à 100mm ;
- Chaque modèle couvre une plage de mesure de 100mm (avec 3 touches complémentaires 25 mm car la course du tambour gradué est toujours de 25 mm). Il est équipé de poignées isolantes pour résister contre les effets de la dilatation causées par la chaleur des mains.



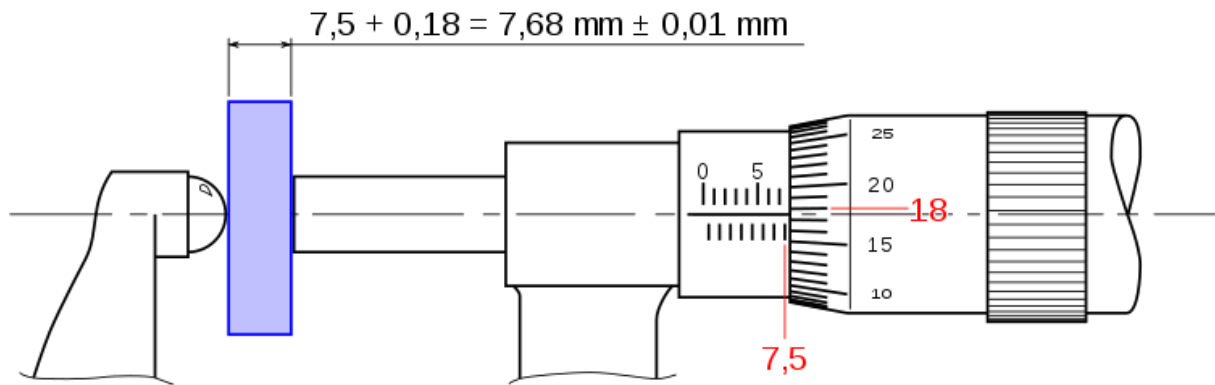
De profondeur

- Mesure de profondeur ;
- Touches interchangeable pour couvrir une plage de mesure plus grande ;
- Adaptation possible de touches à talon pour mesurer la distance d'une rainure par rapport à une face.



4. Procédure de mesure :

Un tour du tambour représente, en général, un demi-millimètre (0,5 mm), les graduations sur la ligne de foi sont alors espacées de 0,5 mm. A la valeur lue directement sur le corps, il convient d'ajouter la valeur lue sur le tambour gradué en 50 divisions ; 1/50 de tour de tambour correspondant à un déplacement de 1/100 de mm ($0,5 \text{ mm} / 50 = 0,01 \text{ mm}$).



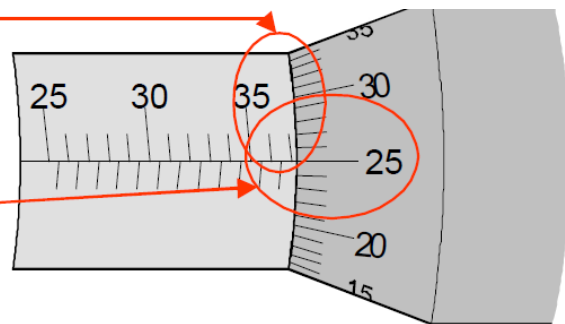
Principe de la lecture sur un micromètre d'extérieur

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

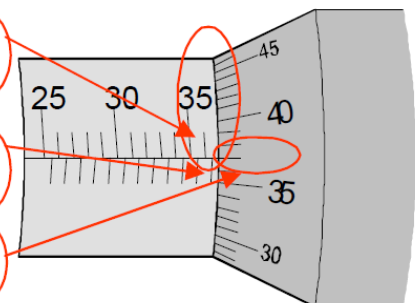


Lire sur la génératrice graduée le nombre entier de millimètre : **36 mm.**

Ajouter $\frac{1}{2}$ mm si la graduation $\frac{1}{2}$ millimétrique est visible : **$36 + 0,5 = 36,5 \text{ mm.}$**

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 : **$36,5 + 0,37 = 36,87 \text{ mm.}$**



Contrôle de rugosité :

La mesure des états de surface peut être réalisée avec un rugosimètre, un profilomètre à contact ou optique, ou un microscope capable de mesurer la hauteur de surface. Aujourd'hui les états de surface sont évalués numériquement à partir de profils ou de surfaces numérisées.

1. Rugosimètre (contrôle des surfaces) :

On appelle « état de surface » les irrégularités des surfaces dues au procédé d'élaboration de la pièce (usinage, moulage, ...). Ils sont, le plus souvent, mesurés avec des appareils à palpeur à pointe de diamant, appelés profilemètre, qui relèvent le profil de la surface. Un profil de surface est la courbe résultant de l'intersection de la surface réelle et d'un plan spécifié P. Ce plan est perpendiculaire à la surface de l'échantillon et orienté généralement perpendiculairement au sens des stries d'usinage. Un profil de surface, outre la forme nominale de la pièce, est composé de différents écarts géométriques, auxquels correspondent différents profils.

- **Profil P**, profil primaire ou total (ordre 1+2+3+4), sur lequel sont définis les paramètres de structure, désignés par un symbole précédé de la lettre P, par exemple Pt, Pa, etc.
- **Profil W**, profil d'ondulation (ordre 2), sur lequel sont définis les paramètres d'ondulation, désignés par un symbole précédé de la lettre W, par exemple Wt, Wa, etc.
- **Profil R**, profil de rugosité (ordre 3+4), sur lequel sont définis les paramètres de rugosité, désignés par un symbole précédé de la lettre R, par exemple Rt, Ra, etc.

Défauts du premier ordre : ce sont des défauts de forme. Par exemple, écart de rectitude, écart de circularité,...

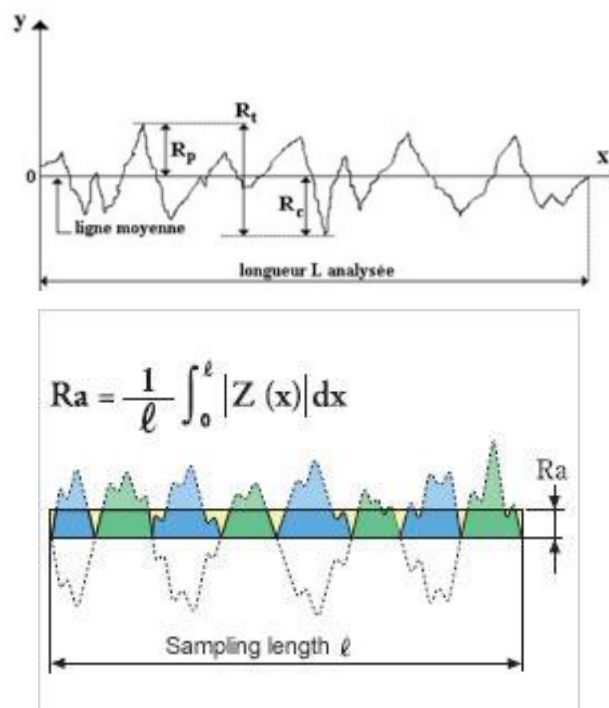
Défauts du deuxième ordre : c'est une ligne ondulée. Elle est caractérisée par une ligne enveloppe supérieure. La distance d'irrégularité entre deux sommets est comprise entre **0,5 et 2,5 mm** environ.

Défauts du troisième et quatrième ordre : ils caractérisent la rugosité de la surface. Les défauts du troisième ordre sont constitués par des stries. La distance entre deux sillons est comprise entre 0,02 et 0,5 mm environ. Les défauts du quatrième ordre sont des défauts aperiodiques constitués par des arrachements, fentes,... La distance entre deux pics de ces irrégularités est inférieure ou égale à **20 µm**.

Une surface, quelque soit son procédé de fabrication, n'est pas une surface parfaitement lisse : selon la méthode d'usinage et les outils utilisés, mais aussi selon le matériau, elle présente de nombreuses irrégularités, **micro-géométriques** ou **macro-géométriques**.

La rugosité d'une surface donnée peut être déterminée par la mesure d'un certain nombre de paramètres. On peut citer notamment, parmi les plus utilisés :

- **R_p** : Pic maximal observé sur la longueur analysée. Si l'on pose un repère cartésien dont l'axe des abscisses est aligné sur la ligne centrale de la surface à mesurer, le pic maximal, lu sur l'axe des ordonnées, pourra également être noté $R_p = y_{\max}$ (voir diagramme ci-dessous).
- **R_c** : Creux maximal observé sur la longueur analysée (voir diagramme ci-dessous). $R_c = |y_{\min}|$.
- **R_t** : Rugosité totale. Elle correspond à la somme du pic maximal et du creux maximal observé sur la longueur analysée. $R_t = R_p + R_c$ (voir diagramme ci-dessous).
- **R_a** : Écart moyen, ou moyenne arithmétique des distances entre pics et creux successifs. "Ra" correspond à la différence entre cette distance moyenne et la "ligne centrale". Ce paramètre "moyen" permet de donner une indication générale résumant les autres paramètres de rugosité d'une surface donnée, et est par conséquent fréquemment utilisé.



Paramètres de mesure de rugosité

2. Rugosimètre :

Ce produit est un appareil de contrôle de la rugosité de surface portatif. Il possède une haute précision et un large champ d'application, une utilisation simple et une exécution stable. Il est utilisable sur tout type de surfaces, qu'elles soient métalliques ou non. Son palpeur intégré ainsi que l'ergonomie du boîtier qui facilite la prise en main, rendent l'appareil spécialement adapté à l'utilisation sur des sites de production.



3. Fonctionnement :

Lorsque le palpeur se déplace d'un mouvement linéaire uniforme le long de la surface à tester, il effectue des mouvements perpendiculaires, vers le haut et vers le bas, tout en gardant un contact avec la surface de travail. Son mouvement est converti en signaux électriques qui sont amplifiés, filtrés et transformés en signaux digitaux par un convertisseur A/D. Les signaux sont ensuite traités par une unité centrale pour obtenir les valeurs Ra et Rz qui s'afficheront alors sur l'écran.

4. Rugotest :

On emploie un comparateur de profils pour comparer au moyen de la vue ou du toucher le profil d'une surface avec les diverses surfaces de référence du comparateur. Il existe des plaquettes correspondant à chaque procédés d'usinage.

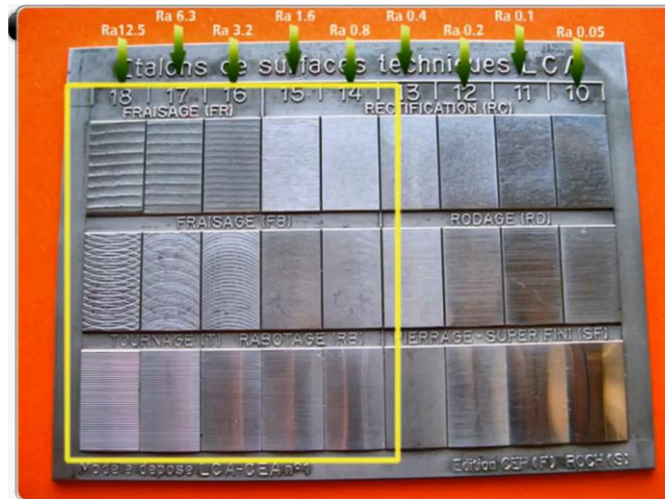


- Les rugotests : échantillons étalons
- Méthode viso-tactile
- Il existe des plaquettes correspondant à chaque procédés d'usinage.

Rugotest N°1 :

- En tournage et en fraisage les valeurs de rugosité entre $R_a=0,8$ et $12,5$.
- Ce type de Rugotest s'utilise accompagné d'une fiche indiquant les correspondances des plaquettes aux états de surface.





Rugotest fraisage :

- Ce type de Rugotest spécifique au fraisage



Rugotest tournage :

- Ce type de Rugotest spécifique au tournage



En mécanique, l'état de surface est un élément de cotation d'une pièce indiquant la fonction, la rugosité, la géométrie et l'aspect des surfaces usinées.