

Support de cours fait par Mr A. BELAMRI, e-mail: a\_belamri@yahoo.fr

## Première partie

### Généralité sur la métrologie

#### 1.1 La métrologie à quoi ça sert ?

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 (R&D),
- protection de l'environnement,
- définition des conditions de sécurité d'un produit ou d'un système,
- ...

L'ensemble de ces décisions concourt à la qualité des produits ou des services : on peut qualifier quantitativement la qualité d'un résultat de mesure grâce à son incertitude.

**NB** : Sans incertitude les résultats de mesure ne peuvent plus être comparés :

- soit entre eux (essais croisés),
- soit par rapport à des valeurs de référence spécifiés dans une norme ou une spécification (conformité d'un produit).

#### 1.2 La mesure d'une grandeur physique

Tout d'abord définissons ce que l'on entend par grandeur physique :

on appelle grandeur physique **X** une propriété discernable caractérisant un objet, un système ou un état physique.

Deux grandeurs physiques sont de mêmes espèces (ou de même nature) lorsqu'on peut les comparer. Une grandeur est mesurable quand on sait définir son égalité avec une grandeur de même nature et lorsque leur somme (ou le rapport) avec une grandeur de même nature a un sens. Si une grandeur est mesurable, on peut alors affecter à cette grandeur une valeur numérique objective en comptant combien de fois une grandeur de même espèce prise comme référence, à laquelle on attribue conventionnellement la valeur numérique 1 et appelée unité, est contenue dans la grandeur considérée. On écrira alors le résultat sous la forme :

$$X = \{X\} \cdot [X]$$

où X est le nom de la grandeur physique, [X] représente l'unité et {X} est la valeur numérique de la grandeur exprimée dans l'unité choisie.

N.B. : Toute grandeur physique est invariante, c'est-à-dire qu'elle ne dépend pas de l'unité dans laquelle on l'exprime. Par exemple :

- longueur de la règle 30, 48cm
- // 0, 3048m,
- // 12pouces,
- // 1, 646.10<sup>-4</sup> mille marin.

On remarque que la valeur numérique dépend de l'unité choisie. En conséquence, celle-ci doit toujours être précisée.

### 1.3 Normalisation

Les produits manufacturés sont conçus sur des plans. Ces plans comportent une représentation graphique de chaque pièce à réaliser ainsi que des annotations complémentaires dont fait partie la cotation.

La métrologie n'a de sens que si le concepteur et le métrologue interprètent cette cotation de la même manière. Les normes servent à fixer les définitions et les méthodes de travail. Dans le domaine de la métrologie, les normes sont regroupées sous l'appellation GPS (Spécifications Géométriques des Produits) et sont disponibles à l'AFNOR (Association Française de **N**ORMALISATION)

Nous classerons la cotation en 2 grandes familles :

- Les spécifications dimensionnelles et angulaires.
- Les spécifications géométriques.

### 1.4 Spécifications dimensionnelles et angulaires

Les spécifications dimensionnelles peuvent se présenter sous plusieurs formes :

-Cas général :

$$+0,1$$

Exemple : 10 -0,2

La plus grande pièce acceptée est 10,1 : tolérance supérieure Ts

La plus petite pièce acceptée est 9,8 : tolérance inférieure Ti

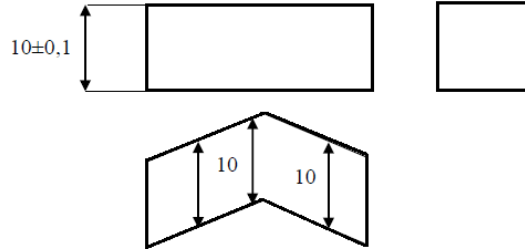
La différence entre Ts et Ti s'appelle Intervalle de Tolérance : IT=0,3

## .5 Spécifications géométriques

Les spécifications géométriques sont indispensables pour définir complètement la forme des pièces :

Exemple : le plan

Cette pièce est conforme :



Il n'est pas sûr qu'elle

assure un bon fonctionnement

Il faudrait aussi que les faces opposées soient parallèles, c'est pourquoi on peut ajouter une contrainte de parallélisme entre les 2 faces (si nécessaire).

## 1.6 Un peu de vocabulaire

Dans le vocabulaire officiel de la norme française, cette opération communément appelée mesure est appelée mesurage (en anglais measurement). De même, la grandeur physique soumise à l'opération de mesurage est appelée mesurande (en anglais measurand). Attention aux faux amis, l'opération d'étalonnage (en anglais calibration) doit être distinguée de celle appelée calibrage (en anglais gauging).

NB : il ne faut pas utiliser le terme précision mais le terme incertitude (en anglais uncertainty).

Il faut bien différencier la respectabilité des résultats de mesurage qui est l'étroitesse de l'accord entre les résultats de mesures successifs du même mesurande effectués dans la totalité des mêmes conditions de mesure avec la reproductibilité ou les mesurages sont effectués en faisant varier les conditions de mesure.

On rappelle les principaux paramètres assurant des conditions de mesures de reproductibilité et de reproductibilité :

– reproductibilité :

- même méthode
- même individus (échantillon)
- même laboratoire
- même opérateur
- même équipement
- même ...

De plus, les essais successifs doivent se dérouler sur une durée courte vis-à-vis de la dynamique des phénomènes physiques entrant en jeu lors d'un essai.

– reproductibilité :

- même méthode
- même individus
- laboratoire différent
- opérateur différent
- équipement différent

— ...

## 1.7 Le système d'unités internationale et ses symboles

Unités de base

Grandeur		Unité	
Nom	Symbole	Nom	Symbole
Longueur	$L$	mètre	$m$
Masse	$M$	kilogramme	$Kg$
Temps	$t$	seconde	$s$
Courant électrique	$i$	ampère	$A$
Température	$T$	kelvin	$K$
Quantité de matière		mole	$mol$
Intensité lumineuse	$I$	candela	$cd$

## Unités dérivées

Grandeur		Unité	
Nom	Symbole	Nom	Symbole
Aire ou superficie	$S$	mètre carré	$m^2$
Volume	$V$	mètre cube	$m^3$
Fréquence	$f$	hertz	$Hz$
Vitesse	$v$	mètre par seconde	$m/s$
Force	$f$	newton	$N$
Moment d'une force	$M$	Newton mètre	$Nm$
Viscosité dynamique	$\eta$	Poiseuille	$Pi$
Tension	$U$	Volt	$V$
Résistance électrique	$R$	Ohm	$\Omega$
Capacité	$C$	Farad	$F$
Permittivité	$\epsilon$	Farad par mètre	$F/m$
Perméabilité	$\mu$	Henry par mètre	$H/m$
Champs électrique	$E$	Volt par mètre	$V/m$
Flux lumineux	$\phi$	Lumen	$lm$
Eclairement	$E$	Lux	$lx$
Longueur d'onde	$\lambda$	mètre	$m$
Quant. de rayonnement		roentgen	$R$
Vitesse angulaire	$\omega$	radian par seconde	$rad/s$
Accélération	$g$	mètre par seconde carrée	$m/s^2$
Accélération angulaire	$\alpha$	radian par seconde	$rad/s^2$
Energie - Travail	$W$	Joule	$J$
Puissance	$P$	Watt	$W$
Pression - Contrainte	$P$	Pascal	$Pa$
Quantité de chaleur	$Q$	Joule	$J$
Quantité d'électricité	$Q$	Coulomb	$C$
Energie	$W$	Joule	$J$
Puissance active	$P$	Watt	$W$
Puissance apparente	$W$	Joule	$J$
Puissance réactive	$Q$	Volt Ampère Réactif	$VAR$
Inductance	$L$	Henry	$H$
Champ magnétique	$H$	Ampère par mètre	$A/m$
Induction magnétique	$B$	Tesla	$T$
Flux d'induction	$\phi$	weber	$Wb$
Luminence	$L$	Candela par $m^2$	$Cd/m^2$
Transmission		Décibel	$dB$
Activité nucléaire	$A$	Curie	$Bq$

## Multiples et sous multiples

$10^{24}$	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	$\mu$
$10^{-9}$	nano	$\nu$
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a
$10^{-21}$	zepto	z
$10^{-24}$	yocto	y

## Autres unités employées

### Distances :

- pouce (inch) : 1 in = 2,54 cm
- pied (foot) : 1 ft = 12 in = 30,48 cm
- mile (miles) = 5280 ft = 1,609 km
- mille nautique (mn) = 1,852 km

### Volume :

- pinte (pint) = 0,94 l
- gallon (US gallon) : 1 USgal = 4 pintes = 3,786 l
- baril (US barrel) : 1 bbi = 42 USgal = 159 l
- 1  $m^3$  = 1000 l;
- 1  $dm^3$  = 1 l;

### Masse :

- once (ounce) : 1 oz = 28,35 g
- livre (pound) : 1 lb = 0,454 kg

### Puissance :

- cheval vapeur (horsepower) : 1 hp = 0,736 kW = 1 CV

### Divers :

- 1 ha = 10 000  $m^2$
- 1 h = 3600 s
- 1 nœud (kt) = 1,852 km/h

La mesure des longueurs fait référence au système métrique avec la loi du 7 avril 1795.

Cette loi précise que le 40 millionième de la distance au niveau du méridien entre Dunkerque et Barcelone vaudra 1 mètre à partir de cette date !

Notons que le kilogramme fait partie du système métrique. Il est représenté par la masse de 1 dm<sup>3</sup> d'eau pure.

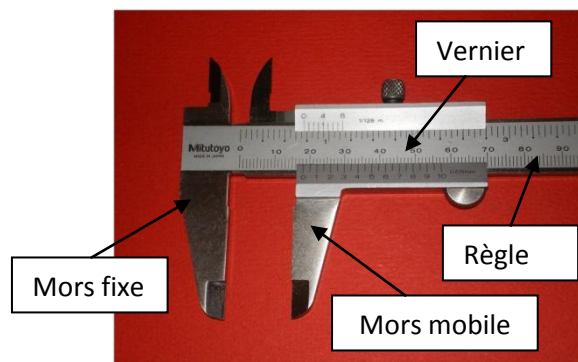
Initialement, les mesures étaient prises à partir des dimensions corporelles, le pied et le pouce notamment. Le système métrique permet de normaliser les grandeurs pour obtenir une échelle de mesure commune.

Aujourd'hui, le mètre est mesuré très précisément en fonction de la vitesse de la lumière dans le vide et du temps d'une horloge atomique au césium.

Les outils de mesure se développent fortement à l'époque de la machine à vapeur et des machines de production du XVIII<sup>e</sup> siècle. Les pieds à coulisse ont été initialement créés vers le XVII<sup>e</sup> siècle, puis les micromètres. Les colonnes de mesures et les machines à mesurer tridimensionnelles sont des moyens modernes de mesure.

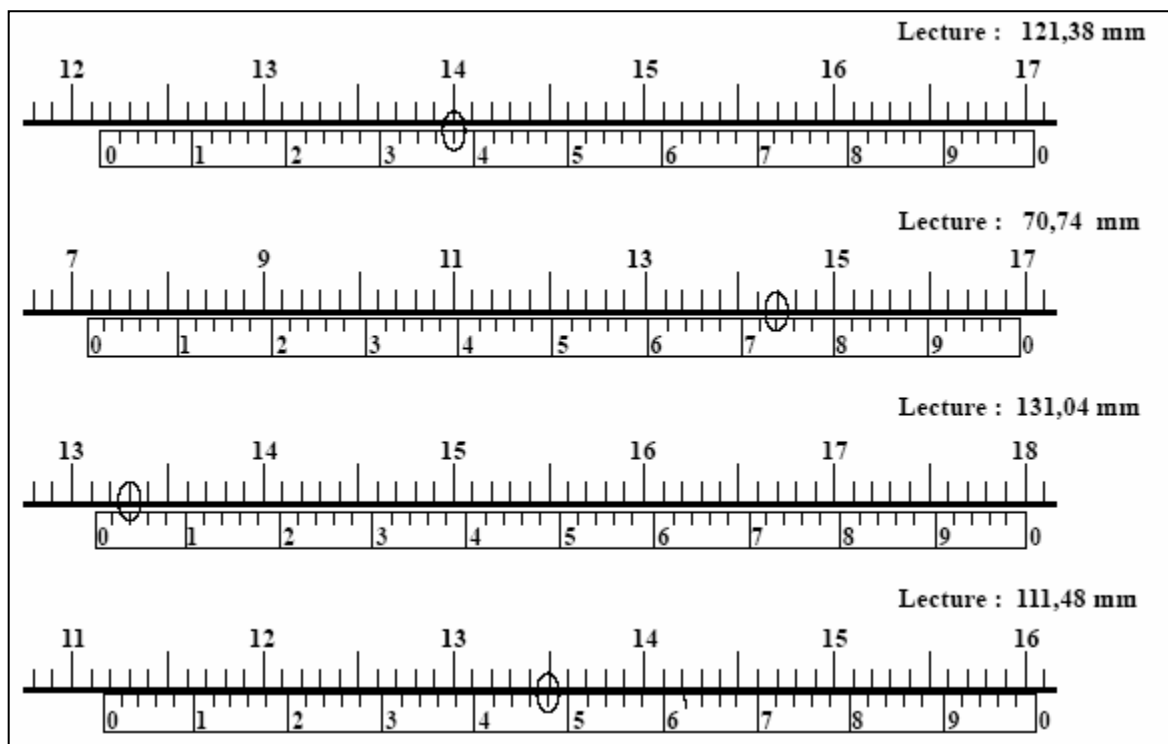
## 2. Le Pied à coulisse

Pierre Vernier (1580-1637) est un précurseur concernant la lecture des mesures. Ceci permit l'éclosion des instruments de mesure dont le pied à coulisse, instrument permettant de mesurer des dimensions avec une précision annoncée de 0,02 mm. La précision réelle se situe aux alentours de 0,1 mm.



Le pied à coulisse

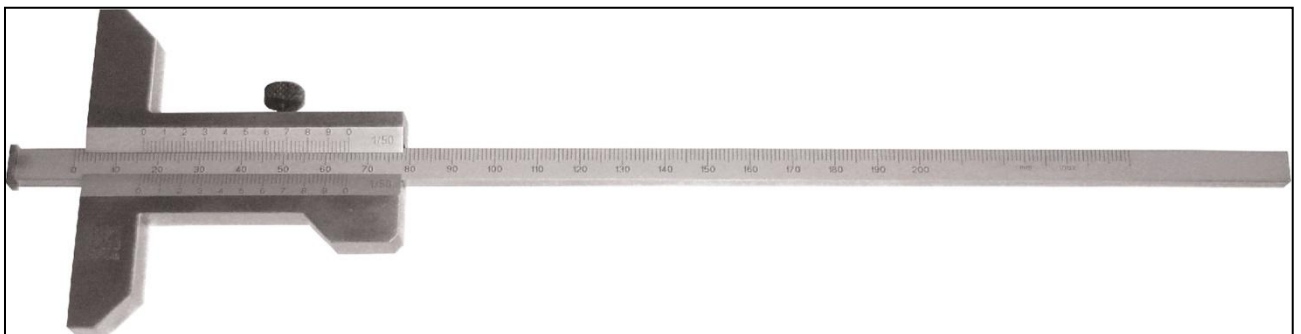
Le pied à coulisse est composé d'un mors fixe, d'un mors mobile et d'une vis de maintien en position et éventuellement d'une jauge de profondeur. Pour mesurer une pièce, on intercale la pièce entre les deux mâchoires et on lit la mesure sur la partie graduée du pied à coulisse. Cet instrument est très utilisé pour la mesure des spécifications dimensionnelles des pièces.



**Exemple de lecture sur le vernier d'un pied à coulisse**

### 3. La jauge de profondeur

Elle est utilisée pour la mesure de longueurs intérieure ou profondeur de rainures, ...ets. Le principe de lecture sur le vernier est le même que sur un pied à coulisse.

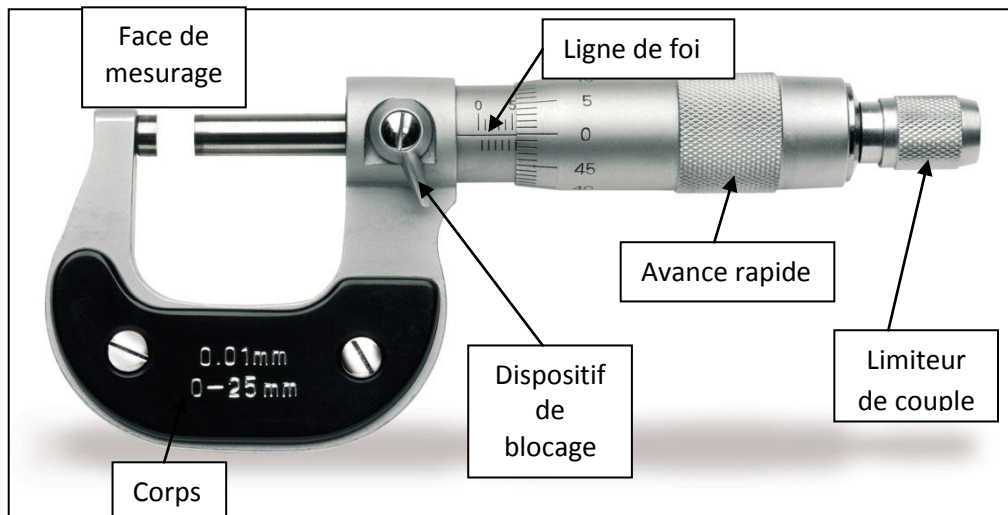


**Jauge de profondeur**

### 4. Le micromètre ou palmer

Le micromètre (ou Palmer du nom de son inventeur français) est un instrument de mesure directe pouvant délivrer des mesures de l'ordre de 10 micromètre ou 1 centième de millimètre, donc sa précision est plus grande qu'un pied à coulisse.



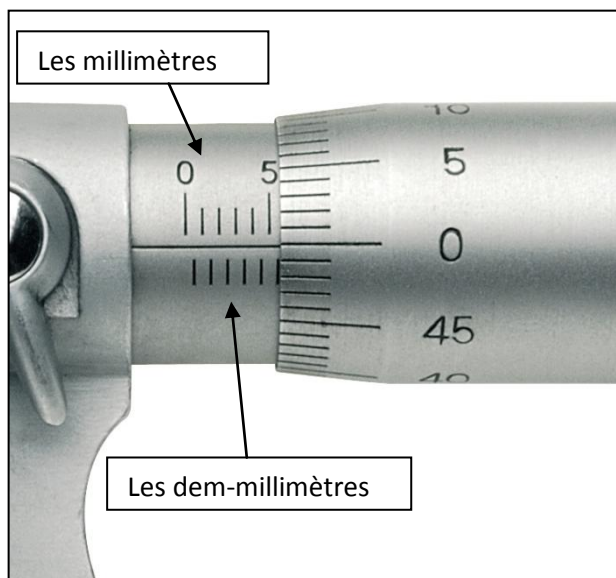


### Le palmer

Son utilisation est basée sur le principe de vis écrou, la vis micrométrique constitue la touche mobile en rotation et en translation. La vis pénètre dans un corps cylindrique comportant la génératrice de repérage portant la graduation en mm et en demi-mm.

Lorsque le vis se déplace d'un tour la touche mobile se rapproche de la touche fixe du pas  $P$  égale à 0.5 mm, la douille ou tambour est divisé en 50 partie, dont chaque division représente 0.01 mm (1/100mm)

Le dispositif à friction permet de limiter la pression de contact des touches, ce qui évite les erreurs de mesure.



Ici on lit 5,50 mm

## Deuxième partie

### Caractéristique métrologique des appareils de mesure

#### **1. Introduction**

Aucune mesure n'est parfaite. Quelque soit le soin apporté à sa mise en œuvre, la précision de l'appareil, la compétence de l'opérateur, le respect des règles de manipulation et de contrôle sévère de tous les paramètres d'influence, il restera toujours une incertitude sur la mesure. Tous les efforts accomplis dans le domaine de l'instrumentation visent à faire tendre cette incertitude vers une valeur de plus en plus faible, tout en sachant qu'il ne sera jamais possible de l'annuler. C'est pourquoi toute mesure, pour être complète, doit comporter la valeur mesurée et les limites de l'erreur possible sur la valeur donnée.

#### **2. Classification des erreurs**

Suivant les causes, on a deux types d'erreurs :

##### **2.1. Les erreurs systématiques**

C'est toute erreur due à une cause connue ou connaissable. Elles ont pour causes :

###### **2.1.1. La méthode de mesure**

Parfois la méthode de mesure choisie entraîne une perturbation sur la grandeur à mesurer (par exemple : pour la mesure d'un diamètre où avons nous mis la pièce dans le pied à coulisse, en haut ou en bas.

###### **2.1.2. L'opérateur**

Parfois, lors d'une mesure, l'aiguille ou le spot lumineux s'immobilise entre deux traits de la graduation ce qui oblige l'opérateur à estimer une fraction de division de l'échelle de lecture, il en résulte une erreur inévitable.

###### **2.1.3. L'appareil de mesure**

La classe de précision d'un appareil de mesure dépend des imprécisions de fabrication, de calibrage et de conception. Plus la fabrication est soignée, plus l'erreur est petite. De plus l'erreur dépend du réglage de zéro électrique ou mécanique et de la courbe d'étalonnage de l'appareil.

##### **Remarque :**

On peut remédier aux erreurs systématiques par un bon réglage de zéro, un bon étalonnage et une appréciation de la fraction de division, en tenant compte des erreurs de méthode dans la mesure en les calculant.

#### **2.2. Les erreurs aléatoires**

C'est toute erreur qui n'obéit à aucune loi connue lorsqu'elle est prise sur un seul résultat. Elle obéit aux lois de la statistique lorsque le nombre de résultats devient très grand. Elles peuvent provenir de :

##### **2.2.1. L'opérateur**

Pour les multimètres analogiques avec plusieurs échelles imbriquées de façon compliquée et graduée d'une façon ambiguë sur un même cardon, l'opérateur peut se tromper sur l'échelle de lecture. Ajoutons à cela le défaut de parallaxe qui est une erreur que l'on commet lors d'une lecture « en biais »

lorsque l'aiguille est toujours un peu écartée de l'échelle.

### 2.2.2. L'appareil

A cause des influences extérieures comme la position, la température, l'humidité de l'air, les champs parasites magnétiques ou électriques, l'instrument peut fausser une mesure.

**Exemples :** Les champs parasites magnétiques peuvent rendre impossible la mesure par induction aux environs d'un transformateur.

Egalement, la position (horizontale ou verticale) d'utilisation des appareils de mesure est aussi décisive. Ces appareils doivent être utilisés conformément à la position indiquée sur le carton.

### 2.2.3. Le montage

Les mauvais contact, à savoir : serrage des pièces, état de surface, fils de connexion..., et le défaut d'isolement, qui peut causer un courant de fuite, sont à l'origine des erreurs.

#### Remarque :

Pour remédier aux erreurs aléatoires, il suffit que les montages soient clairs et soignés et les paramètres mis en jeu soient bien connus et maîtrisés. En effet, il suffit d'utiliser un bon oscilloscope possédant un réglage qui permet d'éliminer la rotation du faisceau.

On peut aussi réduire ces erreurs en faisant une série de mesures et en calculant la valeur moyenne arithmétique.

Suivant l'expression de la mesure on a deux types d'erreurs :

- ⌚ L'erreur absolue
- ⌚ L'erreur relative

### 3. Erreur absolue, Incertitude absolue

Soient :

- ⌚ **X** : la valeur mesurée de la grandeur
- ⌚ **X<sub>e</sub>** : la valeur théorique exacte de la même grandeur

L'erreur absolue, notée  $\delta X$ , est l'écart qui existe entre la valeur mesurée et sa valeur théorique exacte exprimée avec la même unité.

$$\delta X = X - X_e$$

Comme la valeur exacte de la grandeur à mesurer est inconnue, il faut évaluer une limite supérieure de l'erreur absolue qui n'est autre que l'incertitude absolue notée :

$$\Delta X = \sup ( |\delta X| )$$

### 4. Erreur relative, Incertitude relative

L'erreur relative est le quotient de l'erreur absolue à la valeur exacte.

$$\epsilon_r = \frac{\delta X}{X_e} = \frac{X - X_e}{X_e}$$

Comme il s'agit d'un nombre sans dimension (pas d'unité), on l'exprime généralement en pourcentage (%) :

$$\epsilon_r \% = \frac{\delta X}{X_e} \times 100 = \frac{X - X_e}{X_e} \times 100$$

Egalement, si la valeur exacte de la grandeur est inaccessible, on prendra la limite supérieure de l'erreur relative qui n'est autre que l'incertitude relative :

$$\frac{\Delta X}{X_e}$$

On peut l'exprimer en % : 100

$$\frac{\Delta X}{X_e} \times 100$$

**Remarque :** les erreurs sont de signe quelconque (positif ou négatif).

## 5. Expression du résultat

Le résultat peut s'exprimer de deux façons :

### 5.1. 1<sup>ère</sup> façon

La valeur adoptée est égale à la valeur mesurée suivie de l'évaluation de l'incertitude absolue :

$$X_e = X \pm \Delta X \text{ [unité]}$$

### 5.2. 2<sup>ème</sup> façon

La valeur adoptée est égale à la valeur mesurée suivie de l'évaluation de l'incertitude relative :

$$X_e = X \text{ [unité]} \pm \left( \frac{\Delta X}{X} \right) \%$$

### Exemples :

En mesurant une pièce avec une règle simple de 1mm comme plus petite graduation, on trouve 17cm, l'incertitude absolue est la moitié de la plus petite graduation (précision de l'instrument de mesure) ici on prend  $(1/2 * 1\text{mm}) = 0,5\text{mm}$ ,

L'incertitude absolue  $\Delta X = 0.5\text{mm} = 0,05\text{cm}$

L'incertitude relative est donc  $\text{Inc} = (0,05/17) = 0.003$  ou bien 0,3%.

On écrit  $17 \pm 0.05 \text{ cm}$  ou bien  $17\text{cm} \pm 0,3\%$

## Troisième partie

.....

La métrologie au marbre utilise principalement un marbre, des comparateurs, des cales étalon, des dispositifs de positionnement des pièces pour réaliser le contrôle des spécifications géométriques :

Exemple pour la mesure de la planéité d'une culasse :

La pièce est posée sur la face opposée à la surface spécifiée en appui sur 3 pieds réglables.

Dans un premier temps, l'opérateur dégauchi la pièce. C'est-à-dire qu'il oriente la surface à mesurer le plus parallèle possible au marbre en réglant la hauteur des pieds et en s'aidant du comparateur. Après dégauchissage, l'opérateur déplace le comparateur sur toute la surface à mesurer en manipulant le support du comparateur. La mesure est la différence entre le point le plus haut et le plus bas.



**Contrôle de planéité d'une culasse de moteur thermique**

## **2-Métrologie tridimensionnelle**

Les mesures manuelles sont limitées du point de vue de la précision, de la complexité des pièces et de la cotation.

La métrologie tridimensionnelle propose une solution au contrôle des pièces complexes et précises. Cependant les machines à mesurer tridimensionnelles (MMT) sont coûteuses et longues à mettre en oeuvre. Les MMT ne remplacent pas les instruments de mesure classiques sur poste de production mais sont un complément qu'on trouvera dans un volume protégé des agressions de l'atelier. La MMT sera utilisée pour du contrôle à 100% ou du contrôle par échantillon lorsque la production est stabilisée.



Contrôle de pièce sur une MMT



Contrôle de modèle de voiture sur une MMT

La MMT comporte un palpeur qui se déplace automatiquement ou à la main. Ce palpeur entre en contact avec la pièce. On détermine ainsi des coordonnées de points sur la pièce.

Grâce au logiciel équipant la machine, on construit des éléments géométriques associés (plan, cercle, cylindre etc.). Il est aussi possible de créer des éléments géométriques par construction à partir d'élément palpés ou par entrée au clavier.

Ces fonctions vont permettre de construire un modèle numérique de la pièce. L'opérateur peut comparer les valeurs calculées par la MMT avec les cotes du plan ou entrer le modèle numérique (dessin CAO) de la pièce dans le logiciel de la MMT pour faire des contrôles de formes complexes.

Il existe plusieurs structures de machines. On peut trouver des MMTs adaptées à des pièces de quelques centaines de mm jusqu'à plusieurs mètres. Les prix sont liés à la précision et à la taille des pièces mesurables.

### 3-Conformité et Optimisation des mesures

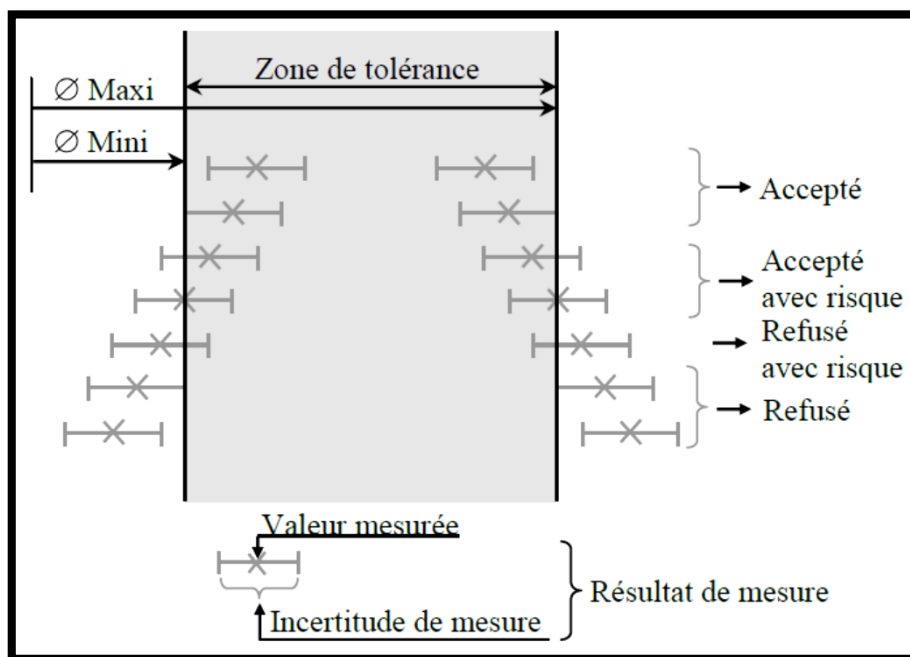
#### 3.1 Conformité

Après avoir vu les matériels de mesure, se pose la question de la conformité de la cote mesurée. Toute mesure est associée à une incertitude. Lorsque la mesure est au centre de l'intervalle de tolérance et que l'incertitude est faible, on ne se pose pas de questions.

Par contre, si la mesure est à la limite de l'intervalle de tolérance, on peut se demander s'il n'y a pas un risque d'accepter une pièce non-conforme.

Il y a deux manières de résoudre ce problème.

Ancienne méthode : si l'incertitude de mesure est faible ( $\leq 1/4 IT$ ), on accepte toutes les pièces dont la mesure est contenue dans l'intervalle de tolérance. On prend un risque représenté sur le schéma suivant :



Nouvelle méthode : **on doit jeter les pièces à risque**. On jette donc plus de pièces mais il n'y a pas de risque d'envoyer un mauvais produit au client.

Cette méthode est avantageuse si on a une bonne maîtrise de la métrologie. Tout investissement en métrologie (matériel, formation etc.) sera valorisé car on éliminera moins de pièces.

Remarque sur le problème du risque : les risques pris par le métrologue peuvent être partagés par le client en impliquant celui-ci.

En fonction de la destination de la pièce (avion, sécurité..) et de la cote non-conforme (cote sensible ou non fonctionnelle), il est possible de demander une dérogation au client.

#### 3.2 Optimisation des mesures

Il est important d'optimiser l'ordre des mesures pour des impératifs économiques.

La mesure n'apporte pas de valeur ajoutée à la pièce. Plus on mesure vite moins cela coûte.

Il n'est pas très rentable de passer 1 heure sur une pièce pour la jeter parce que la dernière cote est non-conforme. On cherchera donc à contrôler les cotes sensibles en premier.

Lorsque le métrologue reçoit une nouvelle pièce avec son plan, il repèrera toutes les spécifications qui le concernent. On peut séparer les spécifications en 2 types :

**- *Eléments géométriques isolés***

- spécifications de forme,
- spécifications dimensionnelles :
  - diamètre,
  - angle.
  - distance entre 2 faces planes parallèles.

**- *Eléments géométriques associés***

- spécification de position,
- spécification d'orientation,
- spécification de battement.
- distance entre des surfaces non planes ou parallèles.

Grâce à des critères d'ordonnancement, on choisira l'ordre des contrôles.

Les critères principaux sont :

Précision des tolérances (liée à la notion de risques de rebuts),

Qualité géométrique des surfaces prises comme références (vérifier la forme avant de les utiliser comme références),

Antériorité des spécifications (si la connaissance d'une spécification est nécessaire à la vérification d'une autre spécification, cas des spécification associées),

Groupeement métrologique (par type de vérification, par type de matériel métrologique, pour des problèmes d'accessibilité ...),

Coût minimum : repousser les vérifications onéreuses à la fin si elle ne sont pas critiques

L'ordonnancement retenu doit privilégier le critère précision et être un compromis de tous les autres critères.

De cette réflexion, on éditera une gamme de mesure. La gamme de mesure reprend l'ordonnancement des mesures et propose les méthodes de mesures associées.

Le niveau de précision de la gamme dépend de la compétence de l'opérateur et des habitudes de l'entreprise. Elle peut éventuellement être consultée par le client lors d'audits.

Les mesures seront reportées dans un rapport de mesure en assurant la traçabilité entre le rapport et la pièce.

### **3.4 Fréquence des mesures**

Doit-on contrôler toutes les pièces ou procéder par échantillonnage ?

Le contrôle à 100 % sera effectué si la réglementation l'impose (pièces de sécurité, domaine sensible), si la méthode de production n'est pas fiable (mauvaise capacité) ou pas stabilisée (petites séries, mise au point).



Le contrôle par échantillonnage est moins onéreux que le contrôle à 100% mais il ne s'applique qu'aux productions de grandes séries et après avoir vérifié la fiabilité (capabilité) du procédé. Si le procédé n'est pas fiabilisé, il peut y avoir des pièces non-conformes entre les prises d'échantillons.

#### **4. Gestion de la métrologie**

La fonction métrologie dans l'entreprise a différentes charges.

- Effectuer ou encadrer les mesures sur poste ou en laboratoire de métrologie
- Faire évoluer les méthodes de mesure avec les nouveaux produits
- Participer aux investissements en nouveau matériel
- Former les opérateurs et sensibiliser les responsables
- Gérer les vérifications et les étalonnages périodiques du matériel

##### **Vérification et étalonnage**

L'étalonnage consiste à donner la différence entre la valeur donnée par un instrument et une valeur étalon. Les résultats d'un étalonnage sont notés dans un rapport d'étalonnage.

La vérification va jusqu'à la décision relative au matériel en fonction des résultats (réforme, déclassement, réparation, ajustage). La vérification peut comporter un étalonnage puis la comparaison des résultats avec des valeurs maximales tolérées. La vérification périodique donne lieu à la rédaction d'un rapport de vérification.

#### **4.1 Mise en place de la gestion des instruments de mesure.**

La gestion des instruments se fait dans une base de donnée (anciennement sur papier, plus souvent sur informatique).

La base de donnée est constituée d'un inventaire des instruments. Pour chacun, on constitue une fiche de vie qui permet d'inscrire les résultats des vérifications successives afin de suivre l'évolution du matériel.

La fiche de vie doit contenir des informations assurant la traçabilité entre l'instrument, les procédures de vérification et les résultats utiles au suivi du matériel.

On appose un étiquetage sur chaque instrument pour assurer la traçabilité avec la base de donnée. On inscrira aussi la date du prochain étalonnage.

Lorsque un nouvel instrument est acheté, il est immédiatement inscrit dans l'inventaire. On crée une nouvelle fiche de vie contenant la date de mise en service et la périodicité de vérification. La périodicité de vérification dépend de l'expérience acquise sur des appareils comparables. On colle une étiquette avec le repère de l'appareil et la date de prochaine vérification. On archive le certificat livré avec l'appareil si celui-ci a une valeur reconnue (COFRAC en France).

Dans le cas contraire, il faut vérifier l'appareil dès la réception en veillant au raccordement aux étalons nationaux. Enfin, l'appareil est mis en service jusqu'à la prochaine date de vérification.

#### **4.2 Chaîne d'étalonnage**

La vérification du matériel est basée sur un système de chaîne d'étalonnage qui va des étalons de l'entreprise jusqu'aux étalons nationaux.

Le plus haut niveau est représenté par le Bureau National de Métrologie qui habilite des laboratoires pour effectuer des étalonnages. La chaîne d'étalonnage est structurée par des laboratoires hiérarchisés :

- laboratoire primaire (Conservation et amélioration des étalons nationaux, étalonnage des références des Centres d'Etalonnage Agréés : tutelle technique de la chaîne d'étalonnage)
- Centres d'Etalonnage Agréés (Etalonnage (rôle de service public) et délivrance de certificats officiels)

-Services de Métrologie Habilités (Etalonnage pour les besoins propres d'une société ou d'un organisme)

-Service de métrologie de l'entreprise

L'étalonnage résulte de la comparaison entre des étalons de niveaux de précision d'autant plus élevée qu'on est en haut de la chaîne. En haut de la chaîne, on retrouve les étalons nationaux qui peuvent être uniques comme le kilogramme étalon ou qui peuvent être reconstitués par des moyens physiques comme le mètre.



**Le kilogramme étalon**

## **5. Environnement**

L'environnement dans lequel les étalonnages et vérifications sont exécutés ne doit pas compromettre l'exactitude des mesures effectuées et par conséquent être adapté aux caractéristiques métrologiques des moyens concernés. Les locaux protégés des conditions ambiantes excessives (température, humidité, pression,...) doivent être équipés de dispositifs de surveillance de ces conditions d'environnement.

Les conditions de mesure sont :

-Température : 20 °C;

-Pression atmosphérique : 101 325 Pa (1013,25 mbar),

-Pression partielle de vapeur d'eau : 1333 Pa correspondant approximativement à une humidité relative de 55 %.

Pour les étalonnages ou les mesures industrielles, la température agit sur la dimension de la pièce à cause de la dilatation.

Des variations de la température, de la pression atmosphérique et de l'hygrométrie influent sur les résultats des mesurages optiques par suite de la variation de l'indice de réfraction de l'air.

Un taux d'hygrométrie trop élevé peut d'autre part affecter des pièces en acier (oxydation) et les variations de ce taux affectent les dimensions des pièces pour certaines matières plastiques.