

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

**Spécialité** : Génie mécanique

**Option** : Construction mécanique

**Par** : BEKHERREZ SAID

### **Sujet**

**Evaluation de la capacité prévisionnelle des équipements de mesure : « cas du pied à coulisse pc501 du labo de métrologie ».**

Soutenu publiquement, le 25 / 06 /2019, devant le jury composé de :

Mr. KARA ALI.D	MCB	Univ. Tlemcen	Président
Mr. BOURDIM.A	Professeur	Univ. Tlemcen	Encadreur
Mr. HADJOU.F	MCB	Univ. Tlemcen	Examineur 1
Mr. GUEZZEN.S	MCB	Univ. Tlemcen	Examineur 2

**Dédicace:**

Je Dédicace ce modeste travail aux êtres qui me sont le plus chers, je cite :  
Mes parents les plus chers au monde, que dieu les gardes et les protèges.  
Mes frères RADHWANE, FOUAD, BOUMEDIENE, ABDELKADER, et ma  
petite sœur MALAK ASRARE.  
Toutes mes amies sans exception.

**BEKHERREZ SAID**

**Remerciement :**

*En premier lieu, je tiens à remercier Dieu qui m'a donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail, ainsi que mes parents qui m'ont assisté durant la période de mes études, je les remercie beaucoup et je leur souhaite des jardins paradisiaque.*

*Je présente également à cette occasion mes chaleureux remerciements à mon encadreur Mr. BOURDIM ABDELGHAFOR A pour l'aide honorable et infatigable qu'il m'a apporté en acceptant de superviser et de suivre mon travail, ainsi pour les conseils et les précieuses orientations.*

*J'exprime toute ma reconnaissance à Mr.KARA ALI D qui m'a fait un très grand honneur en acceptant de présider le jury.*

*Mes remerciements vont aussi aux membres du jury ; Mr HADJOUI.F et Mr GUEZZEN.S d'avoir accepté d'évaluer ce travail.*

*Je remercie également tout le groupe de construction mécanique ainsi que mes frères et ma petit sœur Malek.*

*J'adresse mes remerciements pour tous mes amis de kick-boxing et surtout les entraîneurs Abdeslam Djamel et Mimoun Kacem sans oublier Mr le directeur du complexe sportif de BENSAGRANE Mr. BOUCHNAFA.IMAD.*

## Résumé :

Pour être compétitives une entreprise doit respecter des normes quantitatives dont dépendent les prises de décision.

Dans le modeste travail, nous avons abordé un des paramètres métrologique à savoir la capabilité prévisionnelle des instruments de mesure, qui est liée étroitement à la qualité de mesure.

L'évaluation de ce paramètre qui définit la conformité du moyen de mesure dépend essentiellement de la précision de l'appareil donnée par le constructeur et de la qualité de mesure (incertitude) donnée par cet appareil sous des conditions de mesure appelée R&R.

Il s'agit d'une méthode statistique normative qui nous a permis de décider de la conformité ou non-conformité de l'appareil étudié, et ainsi faire un classement ou déclassement afin de mieux gérer notre laboratoire de métrologie.

**Mots clés :** *capabilité, répétabilité, reproductibilité, erreur, instrument de mesure, fidélité, justesse, intervalle de confiance.*

---

## Abstract:

To be competitive a company must respect quantitative standards on which decision-making depends.

In the modest work, we have approached a metrological metrics parameter as the predictive capability of measuring instruments, which is closely related to the quality of measurement.

The evaluation of this parameter which defines the conformity of the measuring devices essentially depends on the accuracy of the apparatus given by the manufacturer and the measurement quality (uncertainty) given by this apparatus under measurement conditions called R & R.

This is a normative statistical method which allowed us to decide on the conformity or non-conformity of the studied device, and thus to make a classification to better manage our metrology laboratory.

**Keyword:** *capability, repeatability, reproducibility, error, measuring instrument, fidelity, accuracy, confidence interval.*

---

## ملخص

لتكون قادرة على المنافسة يجب أن تحترم الشركة المعايير الكمية التي يعتمد عليها صنع القرار. في العمل المتواضع ، توصلنا إلى مقاييس متروولوجية إلى حد شبه القدرة التنبؤية لأجهزة القياس ، والتي ترتبط ارتباطاً وثيقاً بجودة القياس.

يعتمد تقييم هذه المعلمة التي تحدد مطابقة وسائل القياس بشكل أساسي على دقة الجهاز الذي قدمه المصنع وجودة القياس (عدم اليقين) التي قدمها هذا الجهاز في ظل ظروف القياس التي تسمى R&R.

هذه طريقة إحصائية معيارية سمحت لنا باتخاذ قرار بشأن مطابقة أو عدم مطابقة الجهاز المدروس، وبالتالي إجراء تصنيف لإدارة مختبر المقاييس لدينا بشكل أفضل.

**الكلمات الأساسية:** *القدرة، التكرار، الخطأ، أداة القياس، الإخلاص، الدقة، فاصل الثقة.*

# Sommaire

Introduction générale	1
<b>Chapitre 1 : Généralité sur le mesure.</b>	
I. Introduction	4
I.1 Grandeurs	5
I.2 Notion sur le système international	6
I.3 Etalons	10
I.4 Chaîne étalonnage	11
I.5 Concept métrologique	12
I.6 Maitrise de 5M	13
<b>Chapitre 2: erreur de mesure</b>	
II.1 Introduction	15
II.2 Type d'erreur	15
II.3 caractéristique métrologique	16
II.4 Niveau de confiance	22
II.5 Intervalle de confiance	22
II.6 répétabilité	23
II.7 reproductibilité	23
II.8 Propagation des erreurs	23
II.9 Grandeur d'influence	24
II.10 Minimisation des erreurs	25
II.10.1 Méthode de moindre carrée	25
II.10.2 Loi de student	25
II.11 Condition de fonctionnement de minimisation d'erreur	27
II.11.1 Domaine d'utilisation	27
II.11.2 Domaine de non détérioration	27
II.11.3 Domaine de non destruction	27
II.12 Tableau de mesure	28
Conclusion	29
<b>Chapitre 3 : fonction métrologie</b>	
III. 1 Introduction	30
III.2 Référence normative	30
III.3 Objectif et Rôle de la fonction métrologique	30
III.4 Maitrise 5M	31
III.5 Système de Vérification	33
III.6 Etalonnage	34
III.7 Confirmation métrologique périodique éventuels	36

Conclusion.	39
<b>Chapitre 4 : Capabilité d'un moyen de contrôle « Cmc »</b>	
IV.1 Introduction	40
IV.2 Mode opératoire	40
IV.3 Méthode R&R.	40
IV.4 Mesure expérimentale sur pied à coulisse réf PC501.	45
IV.5 Evaluation de la capabilité Cmc.	52
IV.6 Conclusion.	55
<b>2/- Fiche d'inventaire proposée.</b>	57
<b>Conclusion générale et perspective.</b>	64
<b>Référence bibliographie.</b>	
<b>Annexe</b>	
<b>Annexe A : Description et principe de mesure du pied à coulisse et micromètre.</b>	
<b>Annexe B.1 Fiche d'inventaire actuelle.</b>	

## Nomenclature

<b>E<sub>t</sub></b>	Erreur total de mesure.
<b>E<sub>s</sub></b>	Erreur systématique.
<b>E<sub>a</sub></b>	Erreur aléatoire.
<b>X</b>	Valeur mesurée.
<b>X<sub>ref</sub></b>	Valeur nominale.
<b>M</b>	Valeur moyenne de mesure.
<b>I</b>	Indication donnée par l'essai
<b>G</b>	Quantité de grandeur à mesurer
<b>ΔA</b>	Incertitude absolue.
<b>σ</b>	Déviation standard de mesure operateurs (A, B, C).
<b>R</b>	Moyenne des étendues.
<b>D<sub>2</sub></b>	Facteur tabulé en fonction du nombre d'échantillon par prélèvement
<b>k</b>	Nombre d'opérateurs
<b>cmc</b>	Capabilité d'un moyen de contrôle
<b>IT</b>	Intervalle de tolérance
<b>R&amp;R</b>	Répitabilité et reproductibilité.
<b>SI</b>	System international.
<b>kg</b>	Unité de masse (kilogramme).
<b>m</b>	Unité de longueur (mètre).

<b>s</b>	Unité de temps (second).
<b>A</b>	Unité d'intensité électrique (ampère-mètre).
<b>K</b>	Unité de température (kelvin).
<b>Mol</b>	Unité de quantité de matière (mole).
<b>Cd</b>	Unité de la quantité lumineuse (candela).
<b>v</b>	Vitesse linéaire
<b><math>\Omega</math></b>	Vitesse angulaire
<b>f</b>	Fréquence
<b>F</b>	Force
<b>J</b>	Moment d'inertie
<b>p</b>	Pression
<b>w,Q</b>	Travail, énergie, quantité de chaleur
<b>P</b>	Puissance
<b>q</b>	Quantité d'électricité
<b>V</b>	Potentiel électrostatique
<b>E</b>	Champ électrique.

## Liste des figures :

### Chapitre 1

- Figure 1.1** : Cycle de vie d'un produit..... (4)
- Figure 1.2** : Unité du système international.....(7)
- Figure 1.3** : Chaine étalonnage au niveau national.....(11)
- Figure 1.4** : Chaine étalonnage au niveau international.....(12)
- Figure 1.5** : Schéma de l'aspect métrologie.....(13)
- Figure 1.6** : Présentation de 5M..... (14)

### Chapitre 2

- Figure 2.1** : Etendue de mesure et sa courbe d'étalonnage..... (17)
- Figure 2.2** : Représente la sensibilité métrologique.....(18)
- Figure 2.3** : L'erreur due au phénomène d'hystérésis..... (19)
- Figure 2.4** : Linéarité métrologie ..... (19)
- Figure 2.5** : Justesse.....(20)
- Figure 2.6** : Fidélité..... (21)
- Figure 2.7** : Précisions ..... (21)
- Figure 2.8** : Graphe représente intervalle de confiance. ....(23)
- Figure 2.9** : modèle de type  $y = a x + b$  par la méthode des moindres carrés.(25)
- Figure 2.10** : Graphe de niveau de confiance en fonction de  $\sigma$ ..... (26)
- Figure 2.11** : Domaine de fonctionnement de la grandeur d'influence..... (27)

### Chapitre 3

- Figure 3.1** : la chaine d'étalonnage..... (35)
- Figure 3.2** : Organigramme de décision de la conformité d'un équipement. (36)

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau 1.1</b> : Unités dérivées.....	(8)
<b>Tableau 1.2</b> : Multiples ( $10^{+n}$ ).....	(9)
<b>Tableau 1.3</b> : Sous multiple ( $10^{-n}$ ).....	(10)
<b>Tableau 2.1</b> : Ecart type et niveau de confiance (loi de student).....	(26)
<b>Tableau 2.2</b> : Mesures d'opérateur .....	(28)
<b>Tableau 4.1</b> : Mesure d'opérateur A.....	(45)
<b>Tableau 4.2</b> : Mesure d'opérateur B.....	(47)
<b>Tableau 4.3</b> : Mesure d'opérateur C.....	(50)
<b>Tableau 4.5</b> : Taille l'échantillon d.....	(53)

# Introduction générale

## **Introduction général :**

Dans ce travail, on traite les fondements technologiques de la métrologie, qui représentent l'ensemble des moyens techniques utilisés pour le contrôle des pièces mécaniques. Dans l'industrie la métrologie s'intéresse au contrôle, à la vérification et au mesurage des pièces mécaniques. Le contrôle s'effectue sur les machines, pièces finies ou en cours de fabrication et sur les organes mécaniques exposés aux usures ou déformations dues au fonctionnement (frottement entre deux pièces). La vérification est le mesurage se font aussi sur les machines outils et organes mécaniques.

La métrologie (métrons, logos), science des mesures et bien autre chose qu'un club d'initiés, au contraire elle s'adresse à tous, scientifiques, ingénieurs et techniciens, commerçants afin de mettre à leur disposition des références indiscutables. [1]

Elle concerne donc toutes les étapes requises pour la quantification d'une grandeur au moyen d'une expérience. La métrologie est une science délicate qui nécessite l'utilisation rigoureuse d'un vocabulaire approprié. C'est pourquoi, la prochaine section sera consacrée à la terminologie de la mesure. Ensuite, deux sections suivront et porteront sur deux caractéristiques fondamentales de la mesure d'une grandeur, à savoir le calcul de l'erreur et le calcul d'incertitude.

De plus en plus la technologie, l'industrie, le commerce ont et auront besoin d'instruments de mesure. En effet, avec la multiplication et la finesse des opérations de contrôle effacées, l'on se dirige vers une automatisation de ces opérations - sinon le temps nécessaire à ces contrôles deviendrait prohibitif sur le plan économique.[1]

Les transactions opérées par des individus et des entreprises font l'objet de mesures : dosage en alimentation, comptage de gaz d'abonné ou comptage transfrontalier, essence à la pompe.

La mesure est indispensable dans les relations entre donneurs d'ordres et sous-traitants, sans mesure fiables, on ne peut garantir que les pièces sous-traitées seront compatibles avec les exigences du donneur d'ordre. [2]

La spécialisation s'est étendue aux instruments de mesure. Les corrections d'erreur encore lues à ce jour sur des courbes seront de plus en plus effectuées directement à partir d'un programme prédéterminé et intégré au microprocesseur, partie intégrante de l'instrument de mesure. [2]

Les opérations de contrôle utiliseront de plus en plus le prélèvement statistique de par l'amélioration des composants et la rationalisation de la conception de ces instruments dues à la normalisation et à la maîtrise des méthodes de traitement des données.

Mais pour que tout cela fonctionne et soit crédible, il faut que les grandeurs délivrées soient sûres. C'est dans ce but que dans la plupart des pays industrialisés ou en voie d'industrialisation, des systèmes de raccordement aux unités de base sont en cours de mise en place. Par l'organisation, le choix de laboratoires spécialisés, depuis les étalons primaires jusqu'aux services de qualité de l'industrie, tout instrument de mesure peut être étalonné et évalué.

Les instruments de mesure industrielle qui, ainsi qu'exposé précédemment, sont utilisés en quantité de plus en plus grande et qui loin d'être des instruments frustrés, sont souvent constitués par une adaptation industrielle d'équipements de laboratoires que l'on a industrialisés et dont la fiabilité a été particulièrement étudiée. On leur demande surtout d'être reproductibles.[1]

Les données qu'ils délivrent sont utilisées de différentes façons et nous examinerons plus loin leur couplage avec les chaînes d'automatisme.

En effet le secteur d'activité, les mesures sont nécessaires pour maîtriser les processus de fabrication et garantir les conformités.

A fin d'atteindre votre objectif, le travail ainsi présenté est structuré en quatre chapitres ;

Le premier chapitre c'est la généralité sur les mesures qui est défini la métrologie et ses trois acteurs sont mesurande (grandeur physique), action de mesurer, et ce dernier la mesure qui est multipliée par son unité, soit les unités de base ou dérivées doivent être liées à une référence qu'on appelle « étalon ».

Le second chapitre c'est l'erreur de mesure dans ce chapitre éprouvé pour toute mesure que l'on ne trouve jamais une valeur exacte (parfaite) il est toujours entaché d'erreurs, soit une erreur systématique on peut la résoudre (éviter), elle est liée à la justesse ou une erreur aléatoire qui est éliminée ces mesures (rejeter), elle est liée à la fidélité.

Dans le troisième chapitre on parle sur la fonction métrologique qui est donnée l'importance de la métrologie dans la prise de décision de conformité d'un produit, et la maîtrise des phénomènes caractérisés par le 5M (matière, milieu, méthode, matériel, manœuvre) pour définir une bonne qualité.

Le quatrième chapitre est fondé sur l'évaluation de la capacité du moyen de mesure (cas du pied à coulisse réf PC501)

On termine notre travail par une conclusion générale je dis que cet instrument il est capable et trop précis si elle est inférieure à ce norme qui donne par le constructeur, et une perspective pour le mieux classifie les instruments de mesure au labo de métrologie.

## I. Introduction

La métrologie est présente durant toutes les étapes du cycle de vie d'un produit (de sa conception jusqu'à sur l'exploitation

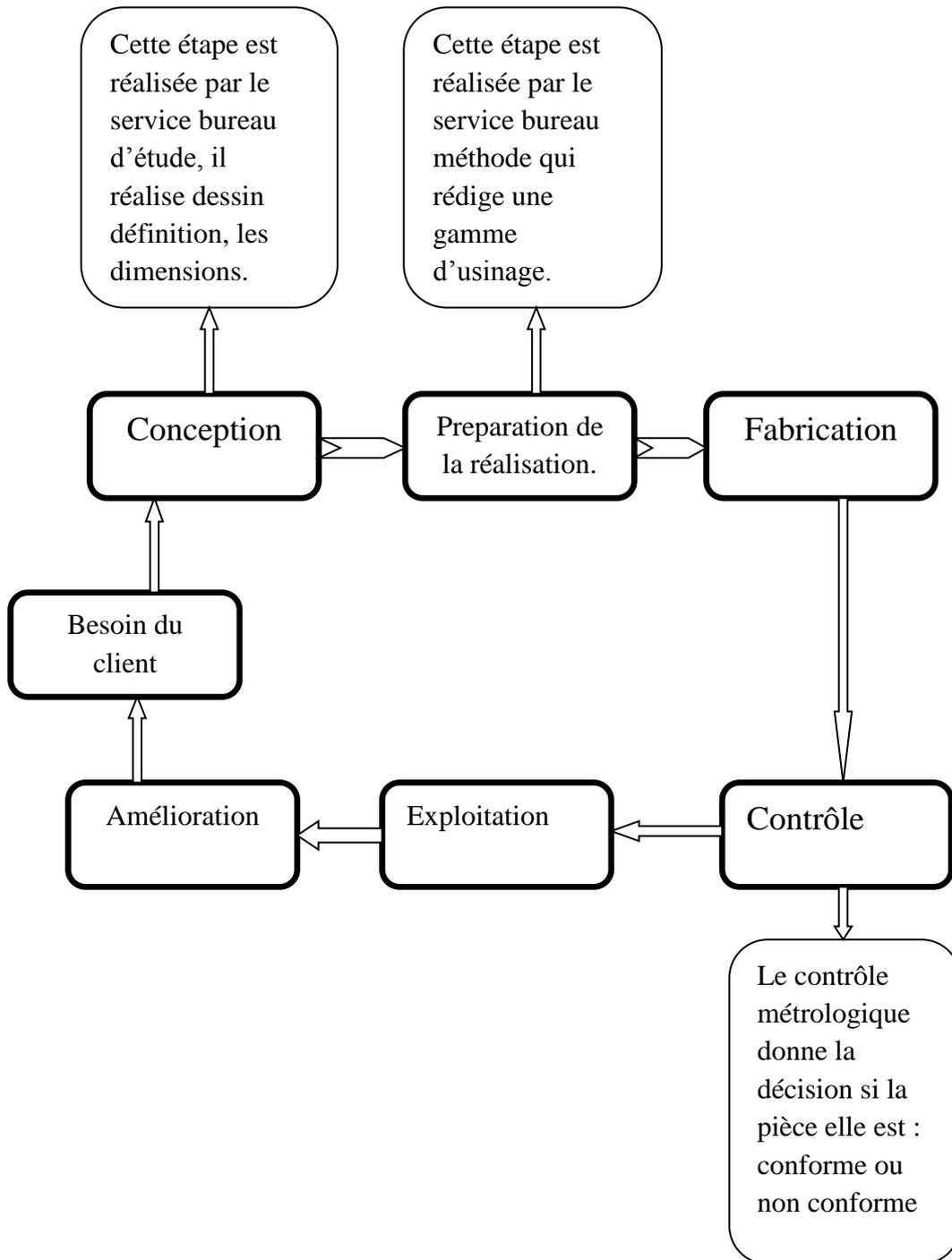


Figure 1.1 : Cycle de vie d'un produit

La décision de conformité du produit doit se prendre durant l'étape de contrôle.

La mesure est un processus de connaissance qui grâce à l'expérience physique nous donne une information quantitative (valeur) du rapport entre la grandeur mesurable et une grandeur de même nature prise comme unité. [1]

La mesure est de nos jours un outil essentiel qui met la théorie à l'épreuve : Si la théorie est l'esprit, la mesure est la main qui la guide.

De ce fait, elle est indispensable dans la vie industrielle et même privée et ce besoin se justifie par le fait qu'à l'aide des mesures, on arrive à connaître et définir des grandeurs non accessibles à nos sens et/ou les quantités des grandeurs qui dépassent leur étendue. [2]

### I.1 Grandeurs :

On appelle grandeur physique (mesurande) toute propriété de la science de la nature qui peut être mesurée ou calculée, et dont les différentes valeurs possibles s'expriment à l'aide d'un nombre réel quelconque ou d'un nombre complexe, souvent accompagné d'une unité de mesure.[3]

Ce mesurande s'agit d'un concept, qu'on ne peut pas donner définition à ce terme et on parle de quantité ou de dimension d'une grandeur. Par conséquent, la grandeur est la qualité physique d'entités telles que : la longueur, le volume, la masse, le temps, etc. [2]

Ils existent trois types de mesurande :

#### I.1.1 Grandeurs dans un sens général :

C'est une grandeur qui n'est pas précis

-une longueur [m]

-une masse [kg]

- une temps [s], ...

#### I.1.2 Grandeurs particulière :

C'est une grandeur qui caractérise un produit particulier par exemple :

- la largeur de la table ;

- la taille de Mohammed ;

- le poids de la voiture.

### I.1.2 Grandeurs de même mesure :

C'est une grandeur qui caractérise le même phénomène

-la largeur et l'épaisseur ;

-l'énergie, la quantité chaleur,....

**Grandeur = mesure \*unités.....(1)**

Les unités sont gérées par système internationale SI dont les pays adhèrent à ce système doivent utiliser le même langage normatif.

### I.2 Notion sur le système international : [3]

A la fin du XVIIIème siècle, lors de la Révolution française, un système métrique décimal voit le jour avec comme premières grandeurs de base (et unités) la longueur (le mètre), la masse (le kilogramme), et le temps (la seconde). La promotion et la dissémination de ce système à travers le monde a été faite par la voie de la Convention du mètre avec, entre autres, la création d'un Bureau international des poids et mesures (BIPM).

La science continue de faire des progrès étonnants dans de nombreux domaines, en particulier avec l'utilisation de l'électricité, le développement des machines à vapeur ou du cinéma. De nouvelles instrumentations comme de nouvelles machines vont être créées, et il sera nécessaire de définir des paramètres supplémentaires pour satisfaire les besoins relatifs à ces évolutions industrielles.

Le développement de l'industrie électrique génère d'autres progrès techniques, et par voie de conséquence d'autres nécessités métrologiques. L'apparition de l'éclairage fait naître des besoins en termes de photométrie, et le développement des machines à vapeur et de toutes applications industrielles afférentes nécessite des connaissances approfondies en termes de température thermodynamique. Le système métrique décimal doit être complété.

En 1948 une enquête est demandée par (CGPM) la Conférence générale des poids et mesures sur ces deux domaines d'activité (électricité et température), au sein des milieux scientifique et métrologique. L'ampère est ajouté en 1948, puis la candela, et le kelvin sont alors introduits lors de la 10<sup>ème</sup> CGPM en 1954. En 1960, lors de la 11<sup>ème</sup> CGPM, le système de mesure prend un nouveau nom : le Système international d'unités, ou SI. Le domaine de la chimie et de la biologie ayant des besoins spécifiques, et la masse (kilogramme) étant une grandeur pas tout à fait appropriée pour ce domaine conduit à l'introduction d'une nouvelle unité dans le SI, la mole, lors de la 14<sup>ème</sup> CGPM en 1971

Le SI est généralement fondé sur des unités de base et des unités dérivés.

### I.2.1 Unités de base

Les unités de base sont liées à des étalons élaborés et définis par un organisme internationale appelé BIPM (bureau international de poids et mesure) situés à paris (serve).

Les unités sont également des quantités de grandeur fixées et servent de référence pour exprimer la mesure des grandeurs. Il existe plusieurs systèmes d'unités, mais le plus utilisé est le système international (S.I) qui est actuellement en vigueur dans plus de 50 pays adhérant à la convention de mètre.

Les définitions des unités de base du système international utilisent des phénomènes physiques reproductibles. Seul le kilogramme est encore défini par rapport à un objet matériel susceptible de s'altérer. Actuellement, des recherches ont donc lieu pour remplacer cette définition par une autre, utilisant cette fois un phénomène physique. À l'issue de ces recherches, le kilogramme pourrait perdre son statut d'unité de base au profit d'une autre unité: c'est en effet seul le nombre d'unités fondamentales qui est imposé, puisqu'elles doivent permettre, par combinaison, de mesurer toute grandeur physique connue sans définition redondante, mais le choix précis des unités fondamentales comme les unités de masse, longueur, temps, courant électrique, température, intensité lumineuse et quantité de matière est purement arbitraire.[4]



**Figure 1.2 :** Unités du système international.

### I.2.1 Unités supplémentaires :

Unités supplémentaires A côté de ces unités de base et des unités dérivées, il existe des unités supplémentaires, au nombre de deux:

#### 1- Unité d'angle plan:

Le radian (symbole: rad) ; 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.[3]

#### 2- Unité d'angle solide:

Le stéradian (symbole: sr) ; 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. 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.[3]

### I.2.2 Unités dérivées :

Les unités dérivées du Système International se déduisent des sept unités de base du Système international, et font elles-mêmes partie de ce système d'unités

Grandeur physique	Notation usuelle	Unité SI
Vitesse linéaire	v	m/s
Vitesse angulaire	$\Omega$	Rad/s
Fréquence	f	Hz
Force	F	N
Moment d'inertie	J	Kg.m <sup>2</sup>
Pression	p	Pa
Travail, énergie, quantité de chaleur	W ,Q	J
Puissance	P	W
Quantité d'électricité	q	C
Potentiel électrostatique	V	V
Champ électrique	E	V/m

**Tableau 1.1** : Unités dérivées.

### I.2.3 Préfixes :

Les préfixes du Système international d'unités simplifient la manipulation des valeurs numériques de grandeurs physiques qui sont beaucoup plus petites ou beaucoup plus grandes que l'unité officielle. Ces préfixes désignent des multiples ou des fractions de 10 ou de 1 000.

Les multiples ( $10^{+n}$ )		abréviations
$10^{+1}$	déca	da
$10^{+2}$	hecto	h
$10^{+3}$	kilo	k
$10^{+6}$	méga	M
$10^{+9}$	giga	G
$10^{+12}$	tera	T
$10^{+15}$	peta	P
$10^{+18}$	exa	E
$10^{+21}$	zetta	Z
$10^{+24}$	yotta	Y

**Tableau 1.2** : Multiples ( $10^{+n}$ )

Et puis alors notre tableau de sous multiple :

Les sous multiples ( $10^{-n}$ )		abréviations
$10^{-1}$	déci	da
$10^{-2}$	centi	h
$10^{-3}$	milli	k
$10^{-6}$	micro	M
$10^{-9}$	nano	G
$10^{-12}$	pico	T
$10^{-15}$	femti	P
$10^{-18}$	atto	E
$10^{-21}$	zepto	Z

**Tableau 1.3** : Sous multiple ( $10^{-n}$ )

### I.3 Etalons

On peut définir (mesurer et/ou comparer) une grandeur inconnue à une grandeur de référence (étalon). Le résultat de la mesure est alors défini par le nombre d'unités de l'étalon comprises dans la grandeur inconnue.

Les types de ces étalons sont :

#### I.3.1 Etalon de travail :

Un étalon de travail est un étalon qui est utilisé couramment pour étalonner ou contrôler des instruments de mesure ou des systèmes de mesure. [4]

## I.3.2 Etalons de référence :

Un étalon de référence est un étalon conçu pour l'étalonnage d'autres étalons de grandeurs de même nature dans une organisation donnée ou en un lieu donné. [4]

## I.3.3 Etalon principale :

Un étalon international est un étalon reconnu par les signataires d'un accord international pour une utilisation mondiale.[4]

## I.3.4 Etalon primaire :

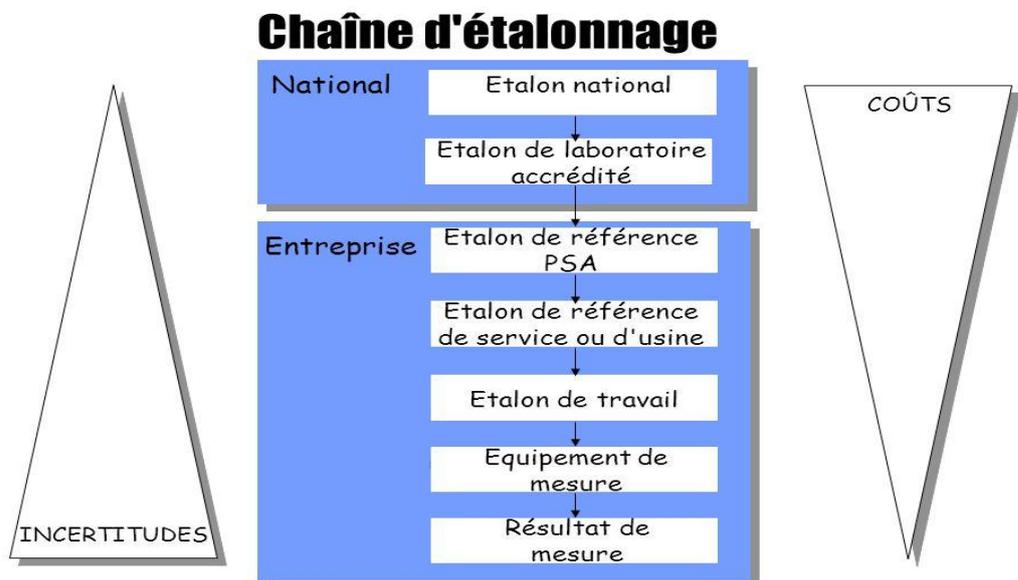
Un étalon primaire est un étalon établi à l'aide d'une procédure de mesure primaire ou créé comme objet par convention. [4]

## I.3.5 Etalon secondaire :

Un étalon secondaire est un étalon établi par l'intermédiaire d'un étalonnage par rapport à un étalon primaire d'une grandeur de même nature. [4]

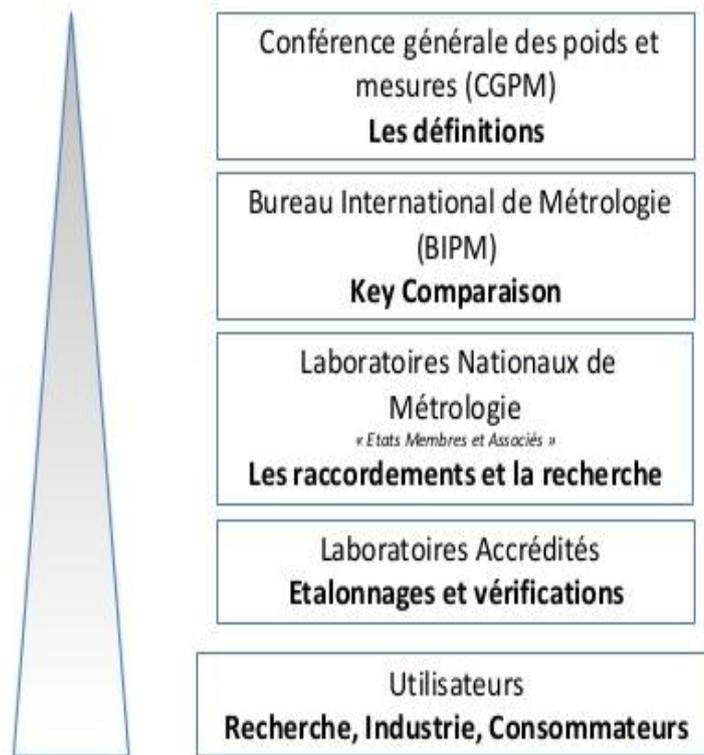
## I.4 Chaîne étalonnage :

La chaîne d'étalonnage s'explique par le synoptique représenté par la fig. 1.3



**Figure 1.3** : Chaîne étalonnage au niveau national.

La chaîne étalonnage au niveau international explique dans la fig 1.4



**Figure 1.4** : Chaîne étalonnage au niveau international. [3]

### I.5 Concept métrologique :

La métrologie et ses exigences sont intégrées dans les normes qualité concernant les laboratoires

-Norme iso 17025 : exigence générale concernant la compétence de laboratoire d'étalonnage et des essais.

#### I.5.1 Qualité

C'est un ensemble de caractéristiques d'une entité qui lui confère l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites. [4]

##### -Caractéristiques d'une entité :

Une entité, dans son sens le plus général, est une chose, un objet, ou une réalité,

Par exemple un pied à coulisse, micromètre, comparateur,.....

##### -Besoins exprimé :

Les besoins du client sont exprimés dans un cahier de charge.

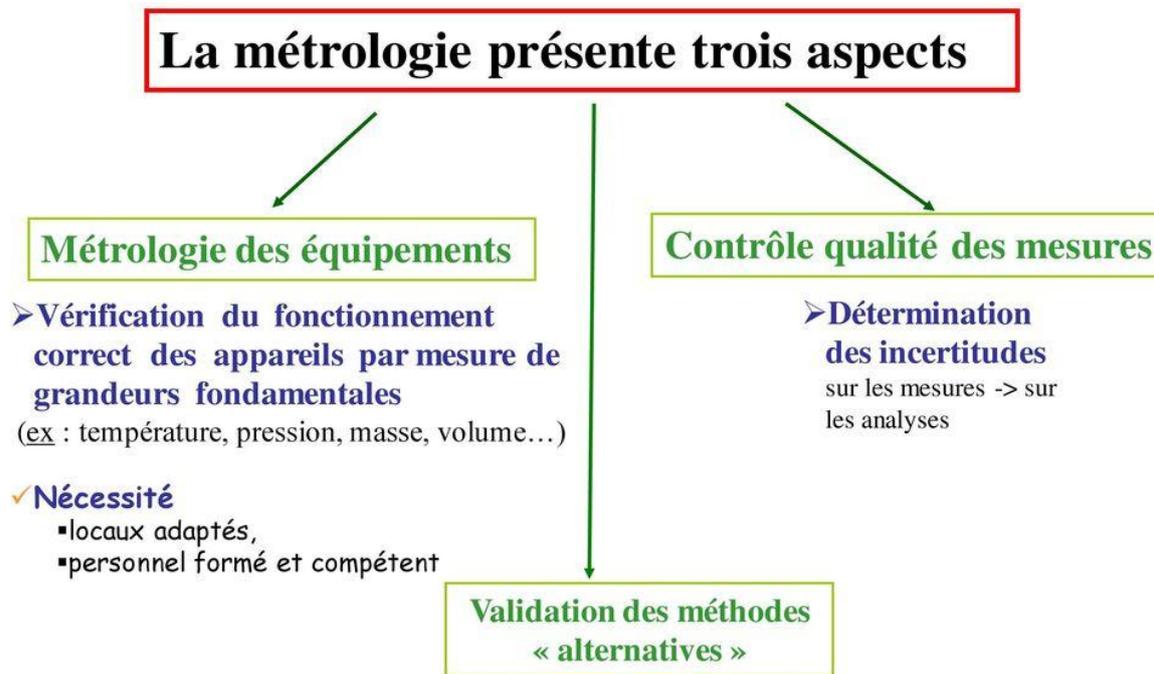


Figure 1.5 : Schéma de l'aspect métrologie [13]

### I.5.2 Conformité :

Satisfaction d'une exigence, évaluation de la conformité par observation et jugement accompagné, si nécessaire, de mesurages, d'essais ou de calibrage.

#### I.5.2.1 Système d'évaluation de la conformité

Règles, procédures et management utilisés pour procéder à l'évaluation de la conformité. L'évaluation de la conformité est une série de trois fonctions qui répondent à un besoin, ou à une demande. [5]

Cette démonstration que des exigences spécifiées sont respectées:

- a) Sélection,
- b) Détermination
- c) Revue et attestation.

### I.6 Maitrise des 5M :

#### 1. Définition

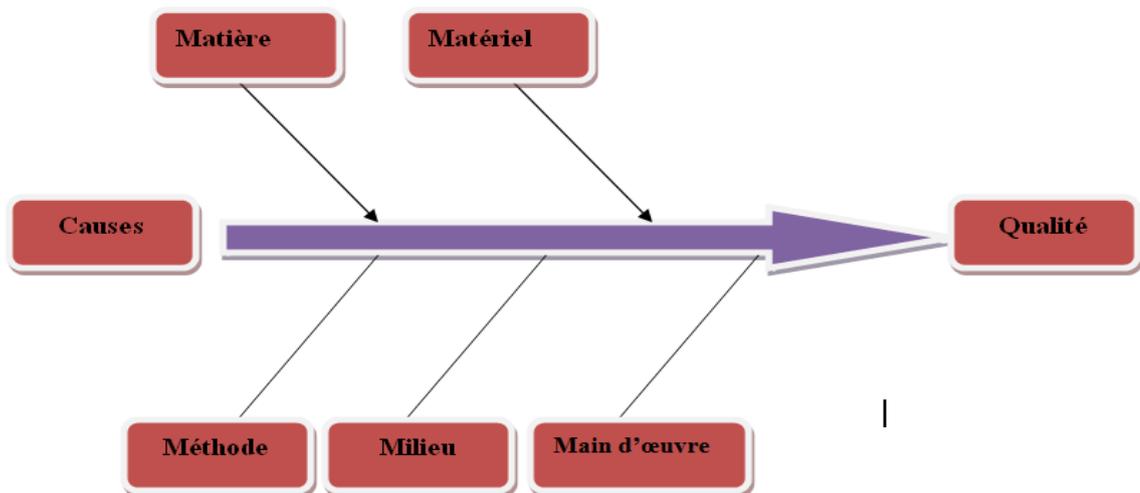
La méthode des 5 M ou diagramme d'Ishikawa, diagramme cause-effet, est un outil permettant de recenser les causes aboutissant à un effet. Il s'agit d'une démarche d'analyse

collective d'une situation-problème réalisée dans le but de remonter aux causes essentielles du problème.

Les 5 M sont :

1. -Main d'œuvre : Qualification, formation, motivation, définition des missions ...
2. -Matériel : Machine, outillage, maintenance, capacité, ...
3. -Matière : Matières premières, documents, données information, traçabilité ...
4. -Méthodes : Règles de travail, procédures, protocoles, fiabilité des résultats, ...
5. -Milieu : Infrastructure, espace, bruits, éclairage, prévention des risques,

Le diagramme d'Ishikawa recense les causes aboutissant à un effet. La flèche horizontale est l'épine dorsale. Elle se termine par l'effet attendu.



**Figure 1.6** : Présentation des 5M [12]

### Conclusion :

Les mesures expérimentales sont toujours entachées d'erreur à cause d'un certain nombre de paramètres influant (bruit, humidité, corrosion, vibration, température,.....).

Afin de minimisation ces erreurs, autrement dit obtenir une bonne qualité de mesure, il faut agir sur le 5M.



## CHAPITRE 2 : ERREUR DE MESURE

### II.1 Introduction :

Une erreur est l'inexactitude due à l'imperfection des instruments de mesure et éventuellement la lecture des mesures. Les erreurs peuvent être minimisées en effectuant un bon choix des instruments et des méthodes de mesure.

Toute mesure expérimentale est généralement entachée d'erreur

### II.2 Type d'erreur :

Une erreur de mesure, dans le langage courant, est la différence entre la valeur donnée par la mesure et la valeur exacte (bien souvent inconnue) d'une grandeur.

Il est toujours possible de décomposer le terme erreurs en une erreur systématique et une erreur aléatoire, et une erreur grossière.

$$E_t = X - X_{réf} \dots\dots\dots(2)$$

#### II.2.1 Erreur systématique

Dans l'expérience de lecture sur la règle, ce peut être un erreur due a la parallaxe liée a une observation en biais de la graduation. Cette erreur fera déclarer systématiquement la mesure d'une graduation à chaque fois. [3]

Erreur systématique se note :

$$E_s = X - M \dots\dots\dots(3)$$

**Avec :**

X : la valeur mesurée. [mm]

M : la valeur moyenne : définit par ce relation  $(M = \sum_{i=1}^N X_i / N)$  [mm]

#### II.2.2 Erreur aléatoire

Lorsqu'un même operateur répète plusieurs fois le mesurage, d'une même grandeur, les valeurs mesurées peuvent être déférentes

On parle d'erreur aléatoire, cette dispersion des valeurs peut être due a la qualité du mesurage qui réalise par l'operateur et à la qualité des instrument de mesure.

Erreur aléatoire se note :

$$E_a = E_t - E_s \dots\dots\dots(4)$$

$$E_a = (X - X_{\text{réf}}) - (X - M)$$

$$E_a = X - X_{\text{réf}} - X + M$$

$$\Rightarrow E_a = M - X_{\text{réf}}$$

Avec :

$E_t$  : erreur aléatoire ;

$E_s$  : erreur systématique ;

$E_t$  : erreur total.

### II.2.3 Erreur grossière

Les erreurs grossières sont dues à des conditions anormales ou à des fautes techniques, et qui se manifesteront généralement par des valeurs mesurées considérablement différentes de toutes les autres erreurs. Elles doivent être identifiées et les mesures concernées doivent être éliminées de la série de mesures, soit par filtrage ou par des méthodes statistiques. [6]

### II.3 Caractéristique métrologique :

Les principales caractéristiques des instruments de mesure (ou propriétés métrologiques des dispositifs de mesure) sont définies dans le cadre du Vocabulaire international de métrologie et comprennent, entre autre :

#### 1- Etendue de mesure :

Correspond à la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale de la gamme de mesure. Pour les appareils à gamme de mesure réglable, la valeur maximale de l'étendue de mesure est appelée pleine échelle.

$$R = X_{\text{max}} - X_{\text{min}} \dots\dots\dots(5)$$

R : Etendue de mesure ;

$X_{\text{max}}$  : Valeur mesuré maximal.

$X_{\text{min}}$  : Valeur mesuré minimal.

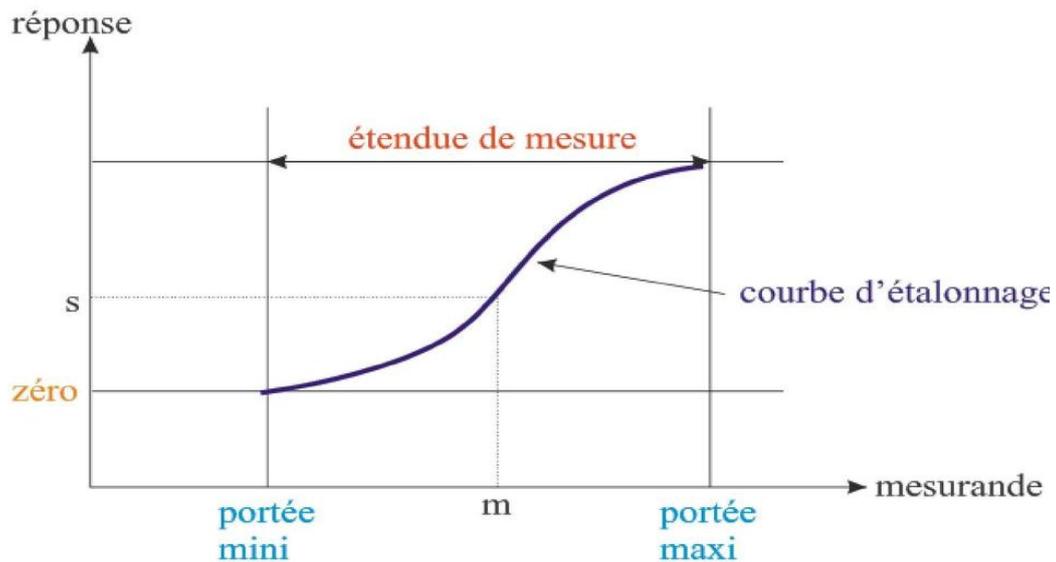


Figure 2.1 : Etendue de mesure et sa courbe d'étalonnage. [3]

### 2- Gamme de mesure :

C'est l'ensemble des valeurs du mesurande pour lesquelles un instrument de mesure est supposé fournir une mesure correcte.

### 3- Sensibilité :

La sensibilité est un paramètre exprimant la variation du signal de sortie d'un appareil de mesure en fonction de la variation du signal d'entrée.

Un appareil est d'autant plus sensible qu'une petite variation de la grandeur G à mesurer provoquera un changement plus grand de l'indication donnée par l'appareil de mesure.[4]

Nota : si la valeur d'entrée est de même nature que la valeur de sortie, la sensibilité est appelée gain.

La sensibilité au voisinage d'une valeur donnée de la grandeur G à mesurer s'exprime de la manière suivante :

$$S = \frac{dI}{dG} \dots \dots \dots (6)$$

- I : indication donnée par l'essai
- G : quantité de grandeur à mesurer

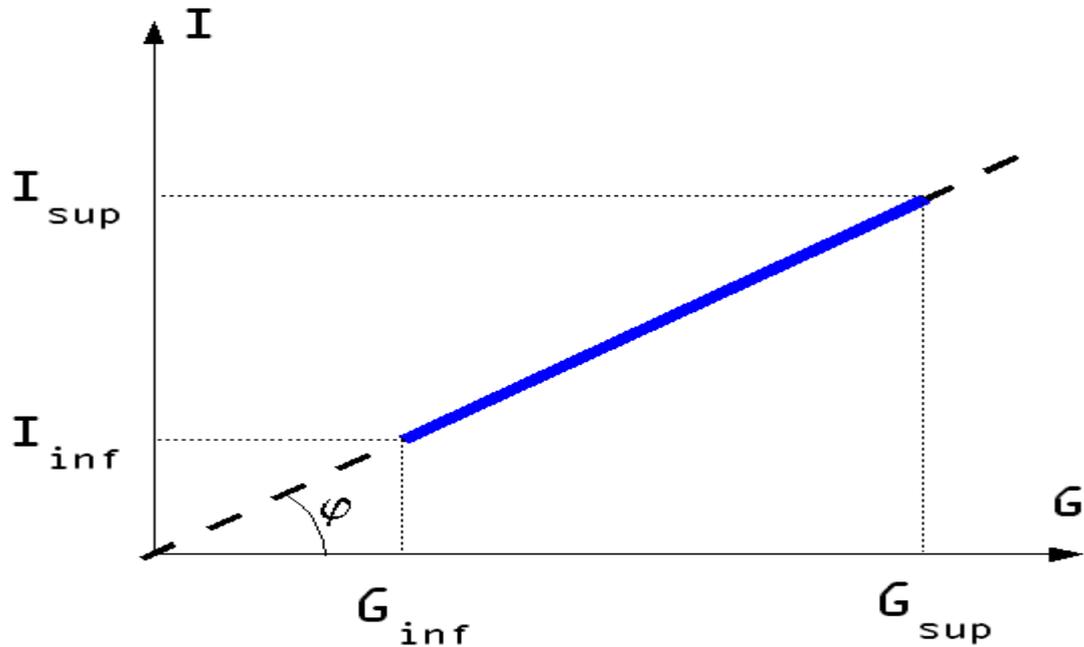


Figure 2.2 : Représente la sensibilité métrologique. [3]

#### 4- Résolution :

Lorsque l'appareil de mesure est un appareil numérique, on définit la résolution par la formule suivante :

$$\text{Resolution} = \frac{\text{etendue de mesure}}{\text{nombre de points de mesure}} \dots\dots\dots (7)$$

#### 5- Hystérésis:

Est la propriété d'un système dont l'évolution ne suit pas le même chemin selon qu'une cause extérieure augmente ou diminue.

La valeur mesurée affichée dépend non seulement de la variable d'entrée (ici, la pression), mais également des valeurs mesurées précédemment à partir de la variable d'entrée.

L'erreur due au phénomène d'hystérésis.

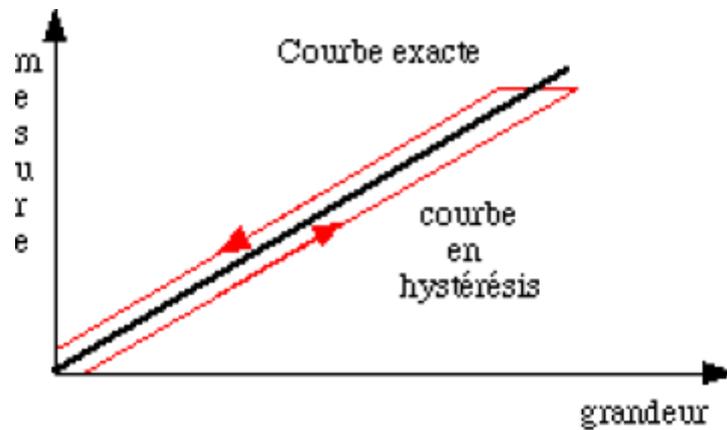


Figure2.3 : L'erreur due au phénomène d'hystérésis.

### 6- Linéarité :

C'est la propriété d'un instrument de mesure donnant des valeurs de sortie qui peuvent entrer en relation linéaire avec le signal d'entrée (mesure).

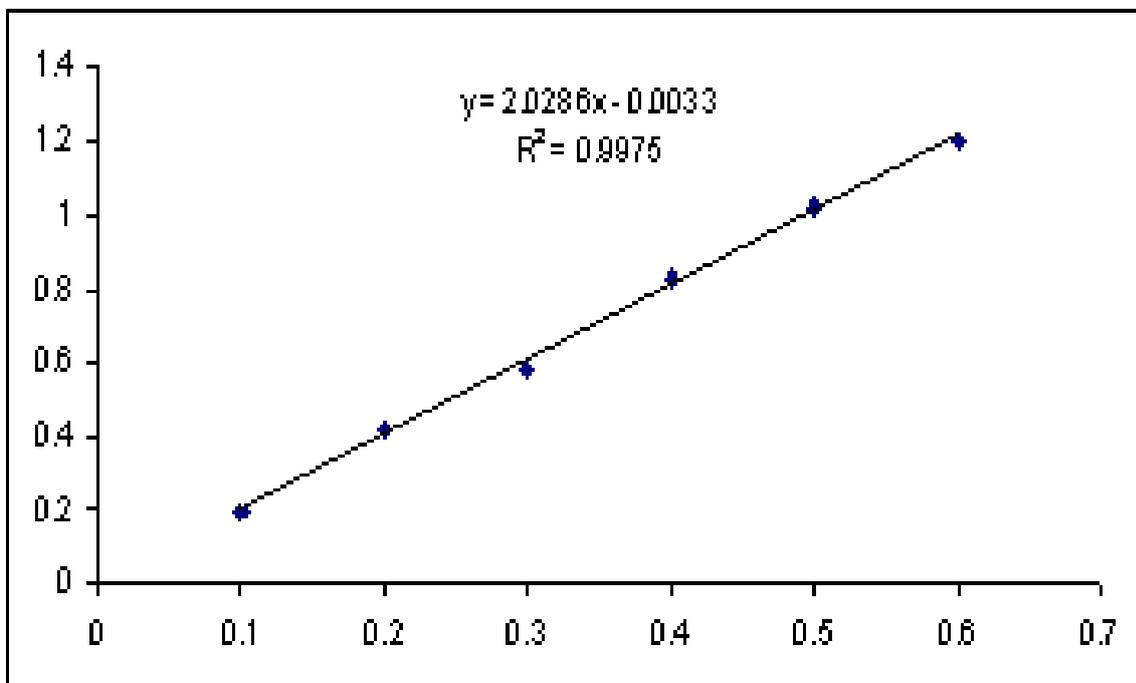


Figure 2.4 : Linéarité métrologie [3]

Ou :

$$Y = ax + b$$

$$\{a = 2.0286$$

$$\{b = 0.0033$$

### 7- Justesse

Étroitesse de l'accord entre la valeur moyenne obtenue à partir d'une large série de résultat d'essais et une valeur de référence acceptée.

Les mesures de la justesse est généralement exprimée en terme de biais la justesse a été également appeler « exactitude de la moyenne ».

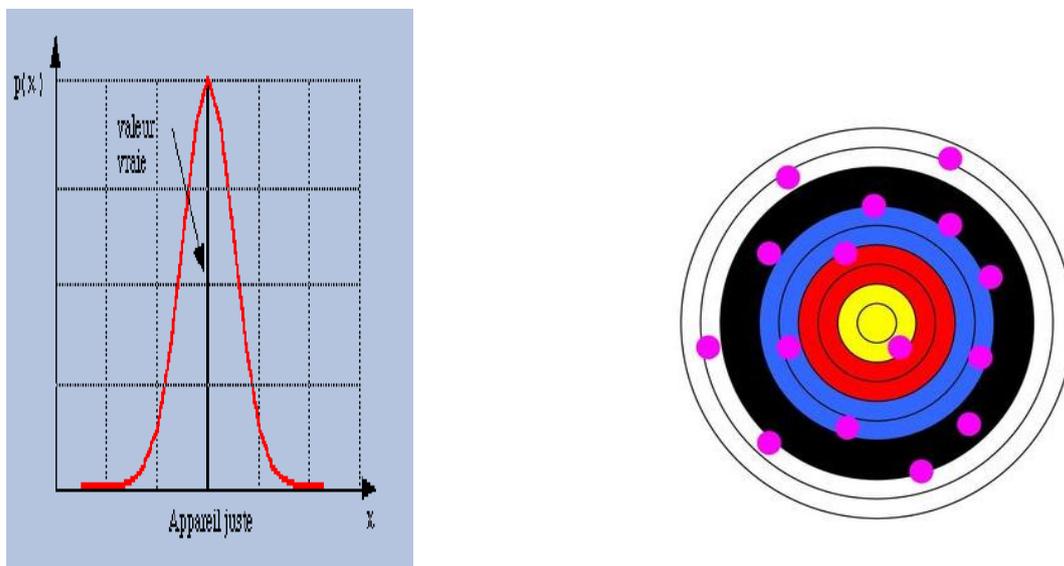


Figure 2.5 : Justesse

**8- Fidélité :**

Etroitesse d'abord entre des résultats indépendants obtenus sous les conditions stipule, la fidélité dépend uniquement de la distribution des erreurs aléatoires et n'a aucune relation avec la valeur vraie ou spécifiées.

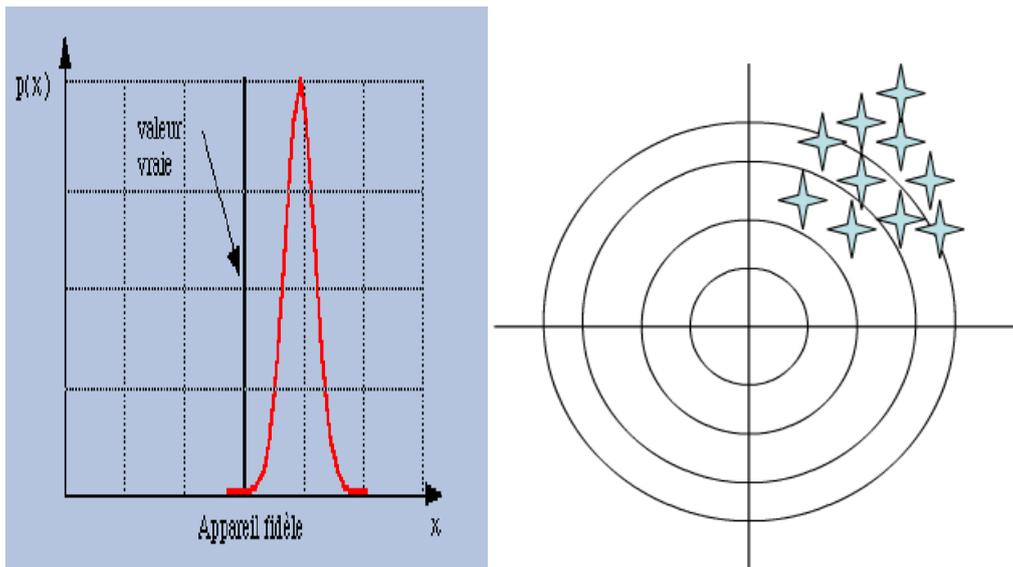
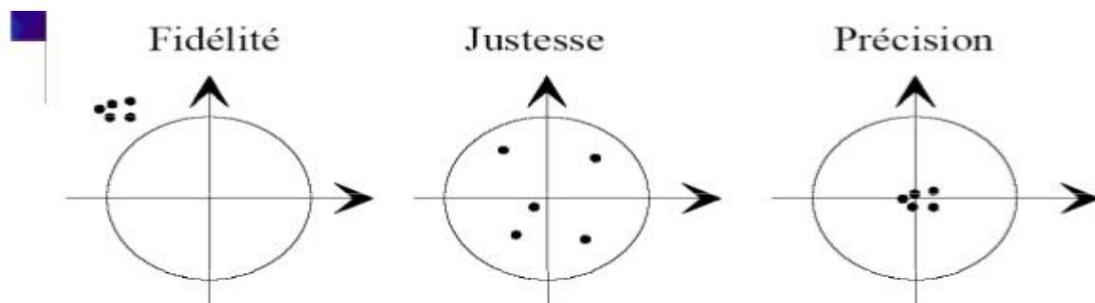


Figure 2.6 :Fidélité.

**9-Précisions :**

La précision qualifie l'aptitude du capteur à fournir des données qui, prisent individuellement, sont proches de la valeur vraie. Un capteur précis est donc à la fois fidèle et juste.



**Précision = Fidélité (répétabilité) + Justesse**

Figure 2.7 : Précisions [14]

### II.3 Niveau de confiance :

Qu'est-ce qu'un niveau de confiance ?

Le niveau de confiance représente le pourcentage d'intervalles qui incluraient le paramètre de population si vous utilisiez plusieurs fois des échantillons de la même population. Un niveau de confiance à 95 % est généralement efficace. Cela indique que si vous collectez une centaine d'échantillons et que vous générez une centaine d'intervalles de confiance à 95 %, vous vous attendriez à ce qu'environ 95 intervalles contiennent le paramètre de population, tel que la moyenne de la population.[7]

### II.4 Intervalle de confiance :

En statistiques, et en particulier dans la théorie des sondages, lorsqu'on cherche à estimer la valeur d'un paramètre, on parle d'intervalle ou niveau de confiance lorsque l'on donne un intervalle qui contient, avec un certain degré de confiance, la valeur à estimer. Le niveau de confiance est en principe exprimé sous la forme d'une probabilité. Ainsi, lorsqu'on effectue un sondage (tirage au hasard d'un sous-ensemble d'une population), l'estimation d'une quantité d'intérêt donnée est soumise au hasard et correspond rarement exactement à la valeur de la quantité que l'on cherche à estimer. En présentant pour l'estimation non pas une valeur mais un encadrement, on quantifie d'une certaine manière l'incertitude sur la valeur estimée. Plus l'intervalle de confiance est de taille petite, plus l'incertitude sur la valeur estimée est petite. L'un des objectifs de la théorie des sondages consiste à trouver des méthodes permettant de donner des intervalles de confiance de taille raisonnable. On désigne le niveau de confiance par  $(1-\alpha)$ . Le nombre  $\alpha$  est le risque que l'on prend de se tromper en affirmant que toutes les mesures sont bien dans l'intervalle proposé. Un niveau de confiance de, par exemple,

$(1-\alpha) = 95.45\%$  signifie qu'une mesure va se trouver dans le domaine de deux écarts-type de part et d'autre de la valeur moyenne avec une probabilité de 95.45%.

Dans le cadre de la technique de mesure industrielle, on travaille la plupart du temps avec un niveau de confiance de 95% respectivement avec le domaine de confiance  $\pm 1.96 \sigma$ . Mais dès que des vies humaines dépendent de la fiabilité des mesures, il est recommandé de travailler au minimum avec un niveau de confiance  $(1-\alpha) = 99.73\%$  ce qui correspond à un domaine de confiance de  $\pm 3\sigma$ . [8]

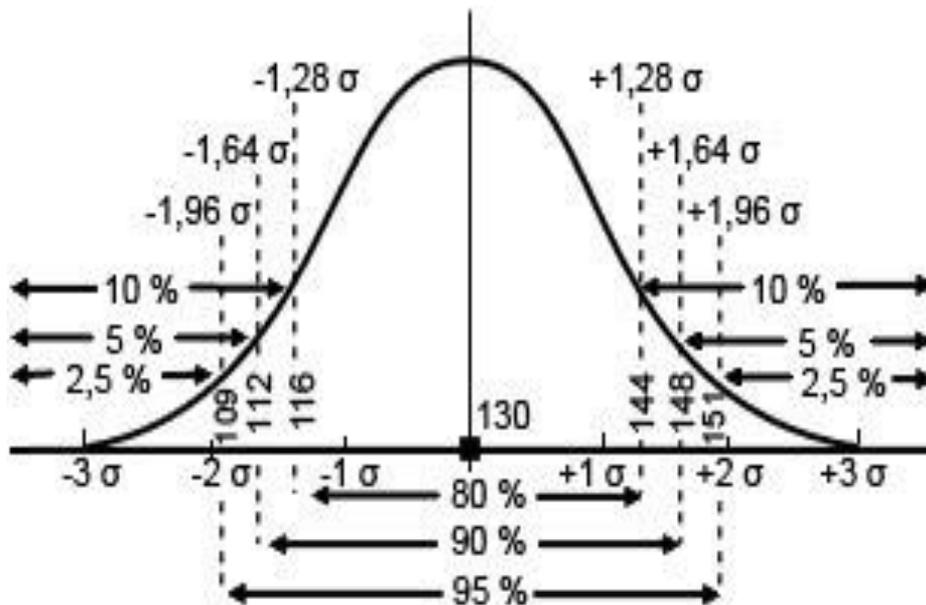


Figure 2.8: Graphe représente intervalle de confiance. [8]

## II.5 Répétabilité

Etroitesse de l'accord entre les résultats de mesure successifs du même mesurande, mesurage effectuée avec l'application de la totalité de même condition de mesure. Ces conditions sont appelée « condition de mesure ».

## II.6 Reproductibilité :

Etroitesse de l'accord entre le résultat du mesurage du même mesurande, mesurage effectuée en faisant varier la condition de mesure. Pour qu'une expression de reproductibilité soit valable, il est nécessaire de spécifier les conditions que l'on fait varier.[3]

## II.7 Propagation des erreurs :

Une mesure est toujours entachée d'erreur, dont on estime l'intensité par l'intermédiaire de l'incertitude. Lorsqu'une ou plusieurs mesures sont utilisées pour obtenir la valeur d'une ou de plusieurs autres grandeurs (par l'intermédiaire d'une formule explicite ou d'un algorithme), il faut savoir, non seulement calculer la valeur estimée de cette ou ces grandeurs, mais encore déterminer l'incertitude ou les incertitudes induites sur le ou les résultats du calcul. On parle

de propagation des incertitudes ou souvent, mais improprement, de propagation des erreurs (ou de propagation d'incertitude et propagation d'erreur).[9]

### II.7.1 Erreur absolue :

Par définition l'erreur absolue d'une grandeur mesurée est l'écart qui sépare la valeur expérimentale de la valeur que l'on considère comme vraie «  $\Delta_x$  ». [3]

### II.7.2 Erreur relative :

Par définition l'erreur relative est le quotient de l'erreur absolue à la valeur vraie «  $\Delta_x/x$  ». [3]

#### **-Incertitude sur une addition ou soustraction :**

L'incertitude sur une addition ou une soustraction est une incertitude absolue.

L'incertitude absolue ( $\Delta A$ ) d'une somme ou d'une différence est égale à la somme des incertitudes absolues ( $\Delta B + \Delta C + \dots$ ) :

$$\text{Si } A = B + C \text{ ou } A = B - C, \text{ alors } \Delta A = \Delta B + \Delta C.$$

#### **-Incertitude sur un produit ou un quotient :**

L'incertitude sur un produit ou un quotient est soit une incertitude relative.

$$\Delta A/A = \Delta B/B + \Delta C/C.$$

## II.8 Grandeur d'influence

Le Vocabulaire international de métrologie nous propose la définition suivante : grandeur qui, lors d'un mesurage direct, n'a pas d'effet sur la grandeur effectivement mesurée, mais a un effet sur la relation entre l'indication et le résultat de mesure.

Les grandeurs physiques autres que le mesurande dont la variation peut modifier la réponse :

#### **1-Température :**

Modification des caractéristiques électrique, mécanique, dimensionnelle.

#### **2-Pression, vibration :**

Déformation et contrainte pouvant altérer la réponse.

#### **3-Humidité :**

Modifications de la propriété électrique, dégradation d'isolation électrique

#### **4-Champ magnétique**

Création des fém. d'induction pour le champ variable ou modifications électriques (résistivité) pour le champ statique.

### II.9 Minimisation des erreurs

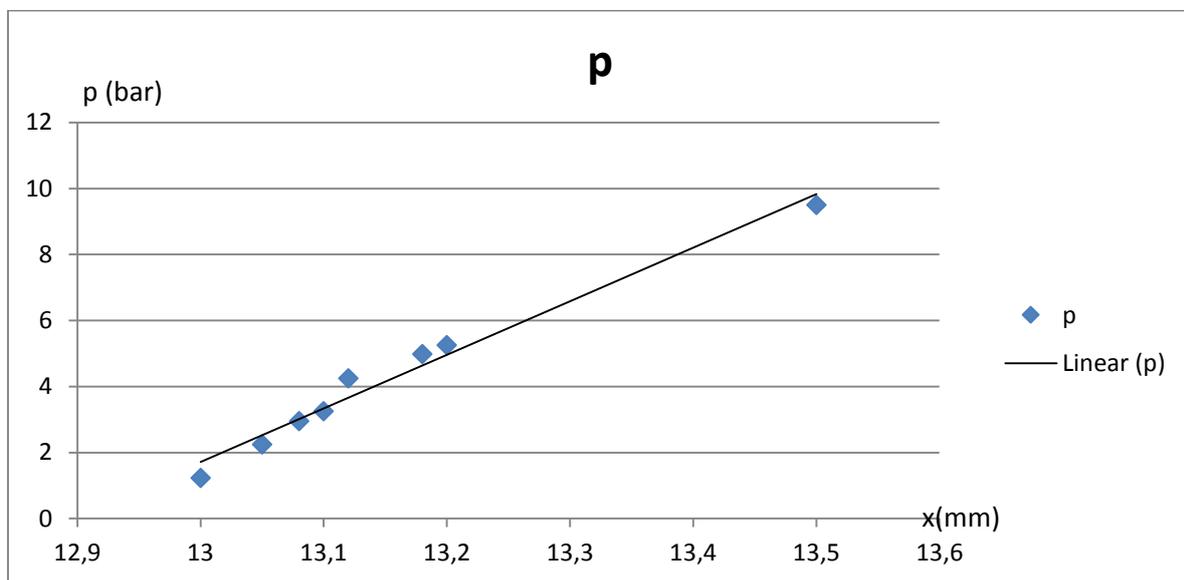
Pour minimiser l'erreur on peut utiliser deux méthodes (par moindres carrés, et loi de Student).

#### II.9.1 Méthode de moindres carrés :

La méthode des moindres carrés permet alors de minimiser l'impact des erreurs expérimentales en « ajoutant de l'information » dans le processus de mesure.

Ajustement d'un modèle de type  $y = ax + b$  par la méthode des moindres carrés. Les données suivent la loi figurée en pointillés et sont affectées d'erreurs gaussiennes, de variance 1.

L'ajustement déterminé (courbe rouge) est le meilleur estimateur de la pente et de l'ordonnée à l'origine compte tenu de la quantité d'information contenue dans les points de mesure.



**Figure 2.9** : modèle de type  $y = ax + b$  par la méthode des moindres carrés.

Pour  $y=ax+b$  dans cette droite les constantes sont égales :

\*  $a=16.23$

\*  $b=209.3$

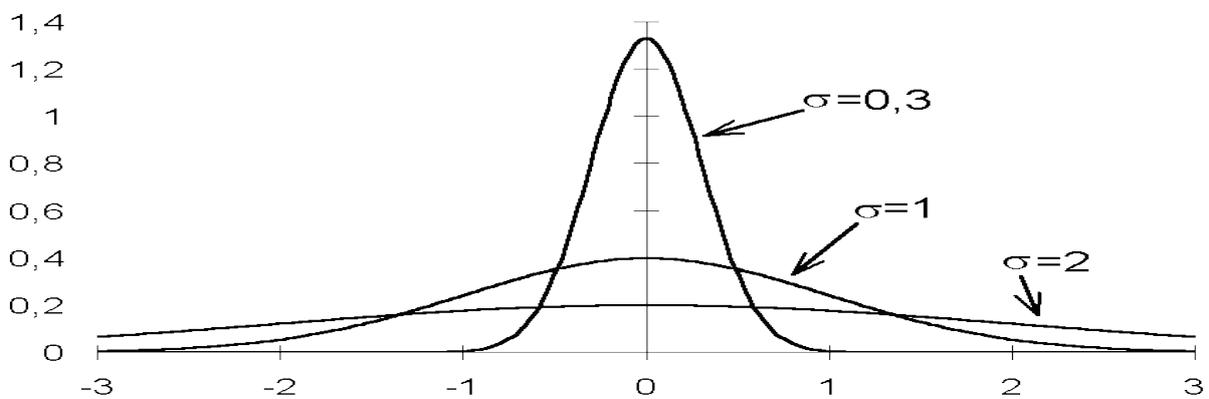
#### II.4.2 Loi de Student :

En théorie des probabilités et en statistique, la loi de Student est une loi de probabilité, faisant intervenir le quotient entre une variable suivant une loi normale centrée réduite et la racine carrée d'une variable distribuée suivant la loi du  $\chi^2$ .

Elle est notamment utilisée pour les tests de Student , la construction d'intervalle de confiance et en inférence bayésienne.[10]

Niveau de confiance	5 mesures	10 mesures	20 mesures	> 100 mesures (loi normale)
50 %	$0,73 \cdot \sigma$	$0,70 \cdot \sigma$	$0,69 \cdot \sigma$	$0,67 \cdot \sigma$
68 %				$1 \cdot \sigma$
70 %	$1,16 \cdot \sigma$	$1,09 \cdot \sigma$	$1,06 \cdot \sigma$	$1,04 \cdot \sigma$
87 %				$1,5 \cdot \sigma$
90 %	$2,02 \cdot \sigma$	$1,81 \cdot \sigma$	$1,73 \cdot \sigma$	$1,65 \cdot \sigma$
95 %	$2,57 \cdot \sigma$	$2,23 \cdot \sigma$	$2,09 \cdot \sigma$	$1,96 \cdot \sigma$
99 %	$4,03 \cdot \sigma$	$3,17 \cdot \sigma$	$2,85 \cdot \sigma$	$2,56 \cdot \sigma$
99,7 %				$3 \cdot \sigma$
99,9 %	$6,87 \cdot \sigma$	$4,59 \cdot \sigma$	$3,85 \cdot \sigma$	$3,28 \cdot \sigma$
99,999 999 8 %				$6 \cdot \sigma$

**Tableau 2.1** : écart type et le niveau de confiance (loi de student)[10]



**Figure 2.10** : Graphe de niveau de confiance en fonction de  $\sigma$ .

L'élargissement de la distance gaussienne de nos mesures, dépend essentiellement de " $\sigma$ "

Si  $\sigma$  est supérieur la courbe est élargie.

### II.10 Condition de fonctionnement de minimisation d'erreur :

La qualité de mesure d'un instrument dépend de son étendue de mesure .

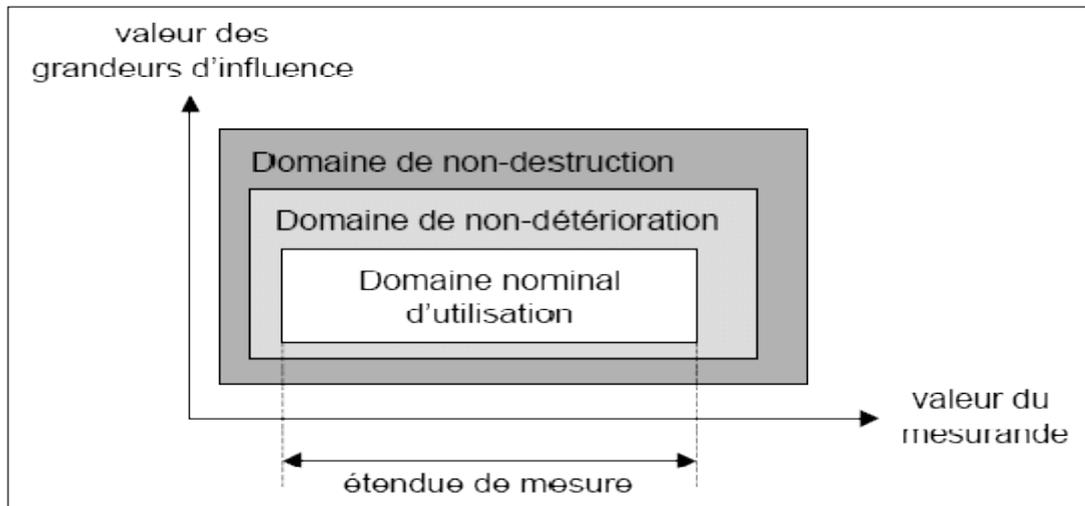


Figure 2.11 : Domaine de fonctionnement de la grandeur d'influence. [4]

#### II.10.1 Domaine d'utilisation :

Dans ce domaine les résultats obtenus sont supposés être de bonne qualité, et instrument travail dans des bonnes conditions.

#### II.10.2 Domaine de non détérioration :

Dans ce domaine la grandeur mesurée dépasse l'étendue de mesure. Des résultats obtenus peuvent être altérés sans pour autant déterminer l'instrument de mesure

#### II.10.3 Domaine de non destruction :

Dans ce domaine la grandeur mesurée est largement supérieur à l'étendue de mesure. Les résultats obtenus peuvent être faussés et instruction peut se détériorer et ne plus respecter les spécifications initiales données par le constructeur. Nécessite une vérification de conformité.

### II.11 Evaluation des différents types d'erreurs :

Pour évaluer les erreurs qui sont entachées par l'opérateur il faut prendre des mesures expérimentales d'une pièce normalisé et puis calculé l'erreur. Le tableau suivant explique tous qui ont fait.

N° mesure	Mesure A (mm)	Et (µm)	Ea (µm)	Esys (µm)	F(xi)
1	X1	X1-X <sub>réf</sub>	M- X <sub>réf</sub>	X1-M	F(x1)
2	X2	X2-X <sub>réf</sub>	M- X <sub>réf</sub>	X2-M	F(x2)
3	X3	X3-X <sub>réf</sub>	M- X <sub>réf</sub>	X3-M	F(x3)
4	X4	X4-X <sub>réf</sub>	M-X <sub>réf</sub>	X4-M	F(x4)
5	X5	X5-X <sub>réf</sub>	M-X <sub>réf</sub>	X5-M	F(x5)
6	X6	X6-X <sub>réf</sub>	M-X <sub>réf</sub>	X6-M	F(x6)
7	X7	X7-X <sub>réf</sub>	M-X <sub>réf</sub>	X7-M	F(x7)
8	X8	X8-X <sub>réf</sub>	M-X <sub>réf</sub>	X8-M	F(x8)
9	X9	X9-X <sub>réf</sub>	M-X <sub>réf</sub>	X9-M	F(x9)
10	X10	X10-X <sub>réf</sub>	M-X <sub>réf</sub>	X10-M	F(x10)
M	$M_a = \sum_{i=1}^N xi/N$				
$\sigma$					

**Tableau 2.2 : Mesures d'opérateur A**

-Valeur moyenne :

$$M = \sum_{i=1}^N Xi/N \dots\dots\dots (8)$$

-Formule de La déviation standard :

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{n-1}} * \sqrt{\sum (Xi - M)^2} \dots\dots\dots (9)$$

- Formule de densité de probabilité de :

$$F (xi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-(xi-X)^2/2\sigma^2} \dots\dots\dots (10)$$

### **Conclusion :**

Les mesures expérimentales réalisées par les opérateurs du laboratoire de métrologie à l'aide d'instruments de mesure ne sont jamais parfaites. Elles sont toujours entachées d'erreurs aléatoires et systématiques. Ces erreurs proviennent de sources différentes, et doivent être corrigées lorsqu'il s'agit des valeurs biaisées, ou minimisées par des lois statistiques lorsqu'il s'agit d'erreurs aléatoires.

# **Chapitre 3 : fonction métrologie**

### III.1 Introduction

La métrologie est la science de la mesure. Elle définit l'ensemble des opérations permettant de déterminer la ou les valeurs des grandeurs à mesurer qui peuvent être fondamentales.

La notion de « fonction métrologie », en général rattachée à la fonction qualité, est apparue en France au début des années 1980, quand certains bureaux de normalisation, en particulier le BNAE (Bureau de normalisation de l'aéronautique et de l'espace) et AFNOR se sont souciés d'éditer des recommandations et des fascicules de documentation, destinés aux métrologues des entreprises. Le terme « fonction métrologie » a ensuite été proposé au groupe de travail WG1 du sous-comité SC3 du Comité technique 176 de l'ISO, chargé d'élaborer les normes de la famille ISO 9000. Il a été finalement accepté et est défini dans la norme NF EN ISO 10012. Nous pouvons donc considérer que la notion de fonction métrologie imaginée dans une commission de normalisation d'AFNOR est aujourd'hui une notion reconnue dans le monde entier. Suivant que la définition de la fonction métrologie norme NF EN ISO 9000 ce qui lui confère une reconnaissance mondiale encore plus importante. C'est une des fonctions vitales de tout organisme élaborant un système de management de la qualité.[10]

### III.2 Référence normative :

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les Références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).[15]

ISO 9000:2000, Systèmes de management de la qualité — Principes essentiels et vocabulaire

VIM:1993, Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie. Publié

Conjointement par

BIPM : Bureau international des poids et mesures.

ISO : Organisation internationale de normalisation.

### III.3 Objectif et Rôle de la fonction métrologique :

La métrologie industrielle, consiste à organiser l'ensemble des ressources métrologiques de l'entreprise dans le but de : maîtriser les caractéristiques de ses instruments (étalonnage), maîtriser les performances des opérateurs (formation), maîtriser les spécificités de ses produits (le métier), maîtriser les exigences de ses clients (la relation commerciale) ; maîtriser les exigences de son (ses) référentiels qualité (l'excellence).[10]

On peut généralement considérer que le résultat d'une mesure est une information technique que l'on communique à un utilisateur. Ce dernier, au vu de cette information, sera chargé de prendre une décision :

- acceptation d'un produit (lors de la mesure de caractéristiques ou de performances pour l'établissement d'une conformité à une spécification) ;
- validation d'un procédé ;
- réglage d'un paramètre dans le cadre du contrôle d'un procédé de fabrication (asservissement) ;
- validation d'une hypothèse dans le cadre d'un développement ;
- protection de l'environnement ;
- définition des conditions de sécurité d'un produit ou d'un système.

L'ensemble de ces décisions concourent à la qualité du produit ou du service. La validité des décisions prises dépend donc directement de la qualité des informations communiquées et, par conséquent, des résultats de mesure. [11].

Il apparaît nécessaire, pour une entreprise qui veut progresser dans le domaine de la qualité, de mettre en place une fonction métrologique. L'un des rôles de cette fonction consiste à maîtriser l'aptitude à l'emploi de tous les moyens de mesure utilisés dans l'entreprise et à en donner l'assurance. [11]

### **III.4 Comment mettre en place une fonction métrologique ?**

Pour mettre en place une fonction métrologique il faut :

- Gérer la fonction métrologie de votre entreprise en conformité avec les exigences des différents référentiels.
- Définir et suivre la sous-traitance de tout ou partie de cette fonction.

Le service de contrôle géré par la fonction métrologique est liée étroitement au concept de qualité, qui dépend de la maîtrise d'un certain nombre de facteur influant qu'on appelle les 5M.

### **III.5 Maitrise 5M :[5]**

Les 5 M est une méthode utilisée juste après un brainstorming, en groupe de travail pluridisciplinaire, pour trier toutes les idées et les ranger. En premier lieu pensée dans une démarche de qualité, elle est applicable à l'ensemble des métiers de l'entreprise, particulièrement à la gestion des risques et la gestion de projet.

Son principe repose sur une classification des différentes causes d'un problème en cinq grandes familles :

- Matière (matières premières, fournitures, pièces, qualité, etc.),
- Milieu (environnement, contexte, marché, concurrence, législation, etc.),
- Méthodes (mode opératoire, recherche et développement, instructions, etc.),

- Matériel (équipements, machines, outils, logiciels, etc.),
- Main d'œuvre (ressources humaines, compétences, formation, e

Les appareils des mesures doivent être périodiquement contrôlés ;

### **III.6 Système de Vérification :**

L'organisme doit établir et maintenir en bon état un système pour la gestion, la vérification et l'emploi des équipements de mesure, y compris les étalons, utilisés pour démontrer la conformité aux exigences spécifiées dans la documentation du constructeur. Ce système doit être matérialisé par des documents et fonctionner effectivement. Le système doit comprendre des dispositions préventives pour éviter, grâce à la détection rapide de défauts et par des actions correctives prises en temps utile, que les erreurs dépassent les erreurs maximales spécifiées dans la documentation du constructeur. Le système de vérification doit prendre en compte toutes les données utiles, y compris celles provenant d'un système de suivi statistique exploité par l'organisme ou pour son compte. L'utilisation d'un système de suivi statistique est recommandée. Pour chaque équipement de mesure, l'organisme désigne un membre compétent comme responsable des opérations de vérification, de leur déroulement conformément au système et du bon état des équipements. Dans le cas où tout ou partie des opérations de vérification et/ou d'étalonnage de l'organisme serait sous-traitée à l'extérieur, l'organisme doit veiller à ce que les sous-traitants se conforment aux exigences [10]

#### **III.6.1 Ajustage :**

En métrologie, l'ajustage d'un instrument de mesure, parfois aussi appelé réglage ou improprement auto-étalonnage ou calibrage, est une opération réalisée pour permettre à un appareil de mesure d'afficher des valeurs correspondant à des valeurs données de la grandeur physique à mesure.[15]

Types d'ajustage se trouvent :

- le réglage de zéro ;
- le réglage de décalage ;
- le réglage d'étendue.

#### **III.6.2 Calibrage :**

Calibrage Le fabricant calibre les instruments de mesure et garantit ainsi le respect des tolérances définies. Le calibrage se compose de deux parties : tout d'abord l'examen et ensuite l'ajustement. Dans la mesure où les tolérances ne sont pas respectées lors de l'examen, un ajustement a lieu.

Calibrage par examen et ajustement Ce chapitre traite exclusivement du mandat au fabricant/fournisseur, respecte de son devoir de garantir le bon fonctionnement des instruments de mesure.[15]

### **-Calibrage chez le fabricant :**

Même si l'on peut admettre que les contrôles in situ sont réalisés conformément aux présentes recommandations, les auteurs estiment qu'il est nécessaire de faire examiner régulièrement les instruments de mesures chez le fabricant et, le cas échéant, de les faire ajuster. Cette mesure assure le bon fonctionnement de l'instrument et doit montrer qu'une attention suffisante est portée au soin de l'instrument. Le fabricant dispose habituellement d'installations et de moyens professionnels lui permettant de contrôler l'instrument sur tout le domaine de mesures et de l'ajuster si nécessaire. Il peut également entreprendre directement tout entretien ou toute réparation jugée utile. Sur la base des réflexions ci-avant, nous arrivons à la conclusion qu'un examen auprès du fabricant devrait être entrepris à un intervalle raisonnable et unique pour la plupart des instruments de mesure. Plus de précisions suivent dans le chapitre „Recommandations“.[16]

### **-Calibrage sur place au barrage par le fabricant :**

Pour les instruments de mesure installés de manière fixe (par ex. les balances, les limnimétries flottants, les installations de mesures télétransmises), l'intervention sur place du fabricant/fournisseur est à prévoir à intervalles réguliers.[16]

## **III.7 Etalonnage :**

D'après le Vocabulaire international de métrologie (VIM) édition 2008, l'étalonnage est une opération qui, dans des conditions spécifiées, établit en une première étape une relation entre les valeurs et les incertitudes de mesure associées qui sont fournies par des étalons et les indications correspondantes avec les incertitudes associées, puis utilise en une seconde étape cette information pour établir un résultat de mesure à partir d'une indication.[9]

En clair, cette opération consiste à mesurer la même grandeur avec l'équipement à étalonner et l'équipement étalon, et à comparer les indications des deux instruments, puis à exploiter les résultats de cette comparaison.

### **III.7.1 Chaîne étalonnage :**

On définit plusieurs types d'étalons :

#### **A/-Étalon primaire :**

Étalon qui est désigné ou largement reconnu comme présentant les plus hautes qualités métrologiques et dont la valeur est établie sans se référer à d'autres étalons de la même grandeur.

#### **B/-Étalon de référence :**

Étalon, en général de la plus haute qualité métrologique disponible en un lieu donné ou dans une organisation donnée, dont dérivent les mesurages qui y sont faits.

### III.7.2 Présentation d'une chaîne étalonnage :

La description de la chaîne d'étalonnage est :

#### 1/- Laboratoires nationaux de métrologie (LNM) et laboratoires associés au BNM

Détention des étalons primaires (étalons de référence nationaux), développement, amélioration, maintien et exploitation des étalons de référence et de transfert (1ère étape de la chaîne d'étalonnage).[1]

#### 2/- Laboratoires d'étalonnage accrédités COFRAC (ou non accrédités)

Détention d'étalons de référence dits étalons secondaires (étalonnés par rapport aux étalons primaires), raccordement des instruments de mesure des laboratoires, des entreprises aux étalons nationaux.[1]

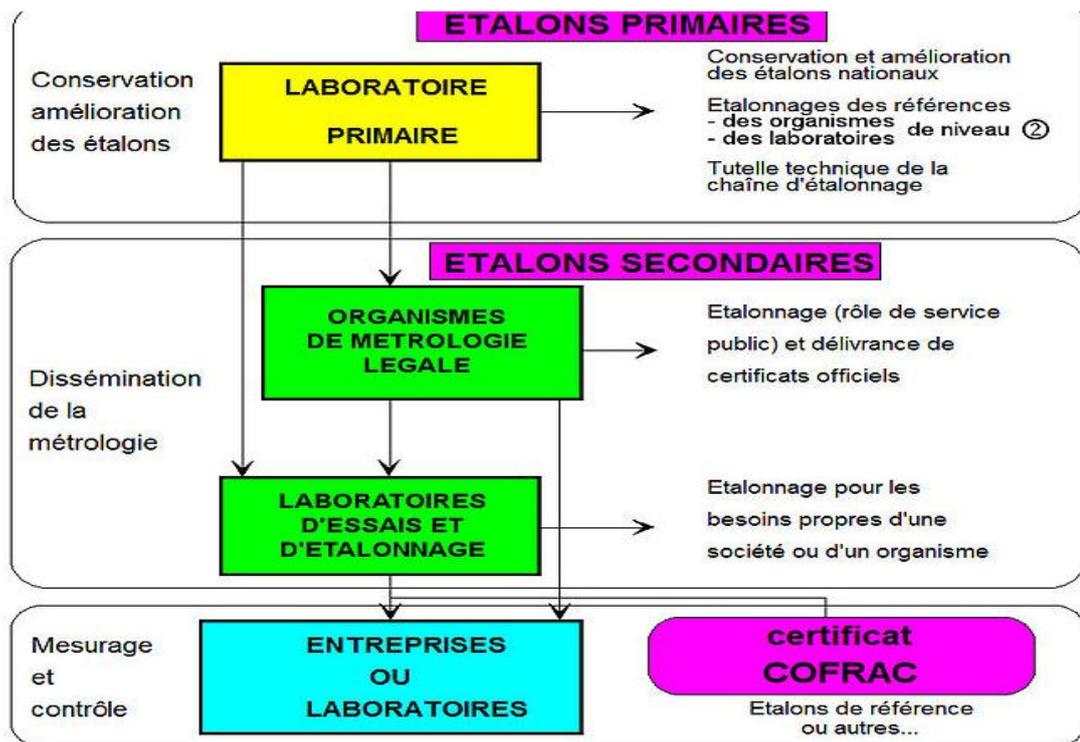


Figure 3.2 : Chaîne d'étalonnage. [1]

### III.8 Confirmation métrologique périodique éventuels

Les équipements faisant l'objet d'un suivi métrologique sont déterminés selon le logigramme suivant :

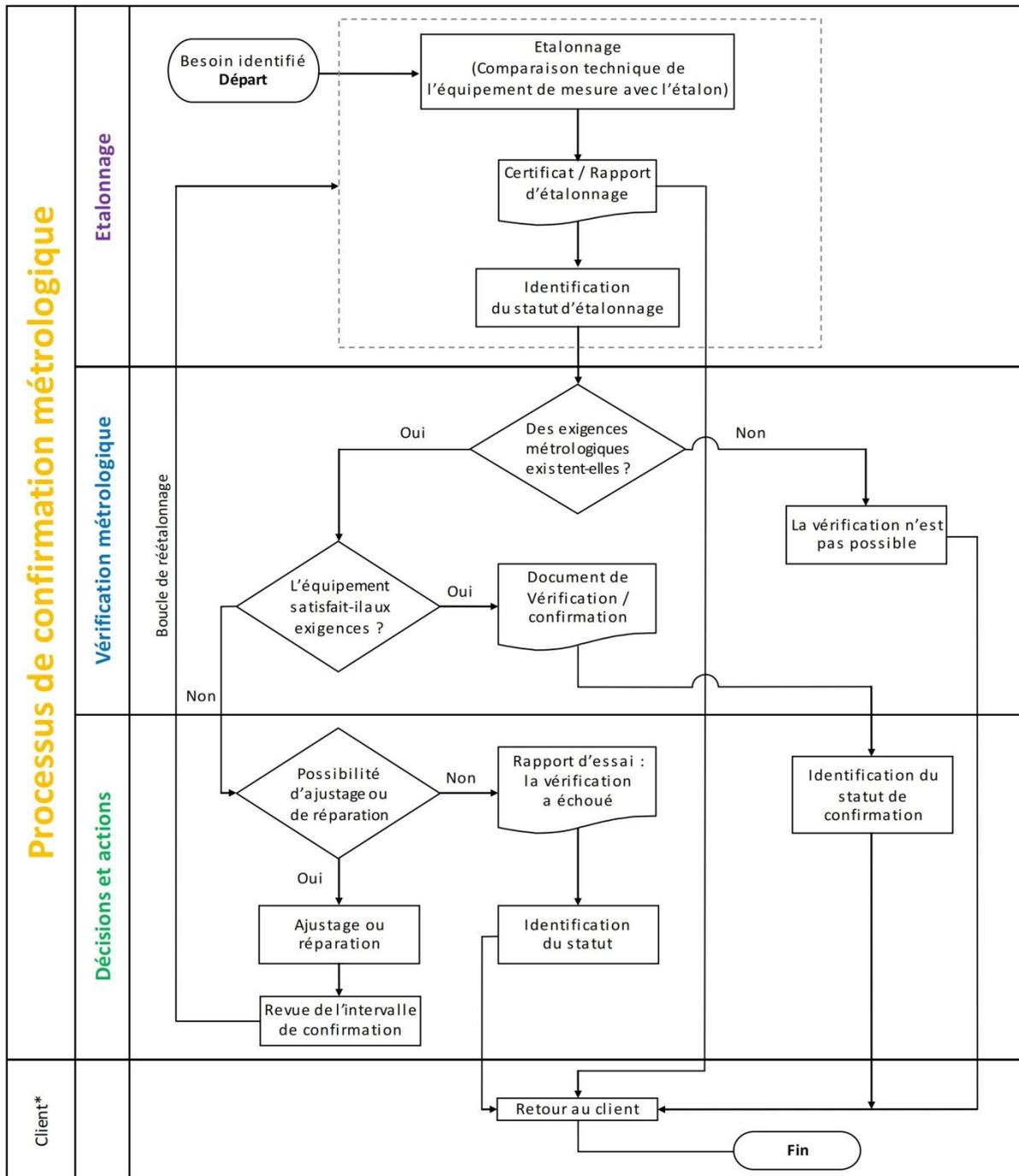


Figure 3.3 : Organigramme de décision de la conformité d'un équipement. [15]

-Le laboratoire fait appel uniquement à des prestataires accrédités afin d'assurer le raccordement métrologique de ses équipements. Toute prestation de raccordement métrologique doit se traduire par la remise d'un certificat d'étalonnage et/ou d'un constat de vérification couvert par l'accréditation COFRAC. Après étalonnage et/ou vérification, le responsable de la métrologie est en charge d'assurer la confirmation métrologique, en

collaboration avec le biologiste responsable d'unité médicale. Cette confirmation devra établir ou non la conformité de l'équipement en fonction de son utilisation.

### III.9 Acquisition d'un appareil :

Systèmes d'acquisition de mesure multifonctionnels intégrant jusqu'à 99 ou 190 entrées de mesure, Précision de mesure et stabilité accrues, Cadence de mesure élevée, jusqu'à 50 mesures/s Avec carte mémoire SD jusqu'à 100 mesures/s, en option pour 1 canal jusqu'à 400 mesures/s, Augmentation de la cadence de mesure à plus de 100 canaux/seconde avec plusieurs cartes de circuit de mesure: Les cartes de circuit de mesure fonctionnent en parallèle, ce qui permet d'atteindre de brefs temps de scrutation pour un nombre de canaux élevé, Plus de 65 plages de mesure standard.

En option, ajustage multipoints autonome ou linéarisations spécifiques en 30 points programmables ainsi que gestion des données d'étalonnage sauvegardées dans le connecteur de l'appareil et sur l'appareil de mesure (option KL).Qualité de mesure supérieure grâce à la séparation galvanique entre entrées de mesure et alimentation de l'appareil (masse de l'appareil), Meilleure compensation de soudure froide avec 2 capteurs CSF / carte d'entrée

Fonctionnement en tant que centrale d'acquisition (mémoire interne EEPROM/RAM ou carte mémoire SD, mode veille pour enregistrements à long terme) ou en tant qu'interface pour exploitation par PC en ligne.[18]

#### III.9.1 Etablir un cahier de charge :

##### A/- Définition d'un cahier charge :

Un cahier des charges (parfois abrégé en CDC) est un document qui doit être respecté lors de la conception d'un projet. Cette expression est ancienne ; elle était par exemple utilisée sous l'Ancien Régime pour préciser la manière dont le bois devait être coupé et sorti de la forêt.

##### B/- Assurer du respect du cahier de charge :

###### -Contexte :

Expliquez en quelques mots le fondement de la demande. Il ne suffit pas simplement d'exprimer l'aspect technique d'un projet, une vue générale aidera les prestataires à comprendre mieux et plus rapidement les tenants et aboutissants du projet. Exemple : Pour un site web, ne décrivez pas seulement vos attentes, parlez également des ressorts qui vous ont poussé à opérer un changement de site web ou encore la typologie de vos clients par exemple.[17]

###### -Objectif :

Expliquez de façon complète les différents objectifs du projet. Quelle seront les finalités du projet pour votre entreprise. Exemple : Pour un site web, l'objectifs commerciaux et/ou marketing du site doivent être clairement rédigés. Ces objectifs ont une influence majeure sur les différents travaux qui seront mis en place pour réaliser le projet.[17]

### **-Périmètre :**

Expliquez de façon succincte les limites de votre projet. Vous répondrez ainsi aux questions : À qui s'adresse-t-il ? À quel moment ? Exemple : Le projet implique-t-il tous les partenaires ? Tous les clients sont-ils concernés ? Tous les pays ?...[17]

### **-Fonctionnement :**

Décrivez de manière exhaustive les différents leviers du projet à travers une description fonctionnelle qui consiste à expliquer les besoins en termes de fonctionnalités. Exemple : Expliquez en quelques mots ce que doit faire votre site web : récupérer des contacts, vendre des produits, proposer une inscription à la newsletter... (En savoir plus : Qu'est ce que le cahier des charges fonctionnel ?)[17]

### **-Ressource :**

Listez l'ensemble des ressources disponibles ainsi que les contraintes pour la réalisation du projet. Exemple : Le nombre d'employés qui s'occupera de la gestion du site web ou encore leur faible connaissance des outils informatique.[17]

### **-Budget :**

Établir un budget est important pour aiguiller les prestataires et éviter une déconvenue lors de la réception des premiers devis. Exemple : Donnez le budget total d'un projet de création de site avec la rédaction, l'hébergement, le webdesign et le développement.

### **-Délais :**

Autre variable déterminante, les délais de réalisation et la date de livraison. Elle permet au prestataire d'évaluer la durée de travail et de s'organiser. Pour vous, le délai indiqué sur le cahier des charges sert de preuve. Exemple : la durée inscrite sur le CDC peut être inscrite sur le devis et la facture du prestataire.[2]

### **C/- Etablir un exemple du cahier de charge :**

#### **-Présenter le projet :**

Je demande des équipements de mesure a l'université de technologie Abou Bakr Belkaid Tlemcen, branche de métrologie.

#### **-Besoins et contrainte liée au projet :**

Le produit c'est des pieds à coulisse à couleur gris

Caractéristique métrologie :

-résolution : 0.01 mm ;

-précision : 0.02 mm ;

-température de travail : 0 a40°C ;

-longueur : 235 mm ;

-largeur : 40mm ;

### **-Résultat attendue :**

Résultats attendus : création de maquettes, intégration, développement effectif de l'application mobile, mise en ligne sur les Applications Stores.

Exigences : livraison des fichiers PSD / Sketch, respect de la charte graphique.

### **III.10 Conclusion :**

La fonction métrologique dépend au moyen de mesure, liée a étalonnage et assurance du vérification, a condition de détermination des incertitudes et assurer les éliminations des matériels en fin de vie.

**Chapitre 4 : Capabilité d'un moyen de contrôle.  
Cas du pc501.**

### IV.1 Introduction :

En 1929 Shewart présente sa célèbre « Control Chart » carte de contrôle dans l'industrie militaire, ouvrant la voie à une nouvelle discipline appelée la « maîtrise statistique des Processus » (MSP). A 1960 Deming reprend cette technique en l'appliquant à l'industrie japonaise.[13]

On parle souvent de la « Capabilité du moyen de contrôle » (Cmc) ou de la « Capabilité du moyen de mesure ». Mais pour déterminer cette capabilité, on doit faire mesurer plusieurs fois la même pièce par plusieurs opérateurs et on constate que les paramètres les plus influents sur la dispersion des résultats de la mesure sont liés au 5M :

- la main-d'œuvre : l'opérateur qui mesure ;
- la méthode : la façon de mesurer.
- matière : matières premières
- milieu (environnements, contexte.....) ;
- Matériel : équipements, outils, .....

### IV.2 Mode opératoire :

Les mesures doivent être élaborées suivant le mode opératoire suivant :

- Deux ou trois opérateurs ;
- Dix mesures par chaque opération suivant les conditions « R&R »
- calculer la moyenne des valeurs mesurées pour chaque opérateur ;
- calculer l'étendue de mesure ;
- calculer la moyenne des valeurs moyennes "M"
- calculer la moyenne des étendues  $\bar{R}$ .

### IV.3 Méthode R&R :

La méthode Répétabilité & Reproductibilité (R&R) permet de calculer la capabilité du moyen de contrôle Cmc d'un procédé. Elle évalue la dispersion de l'instrument de mesure. La capabilité Cmc est fonction des dispersions de la répétabilité et de la reproductibilité.[3]

Et cela définit :

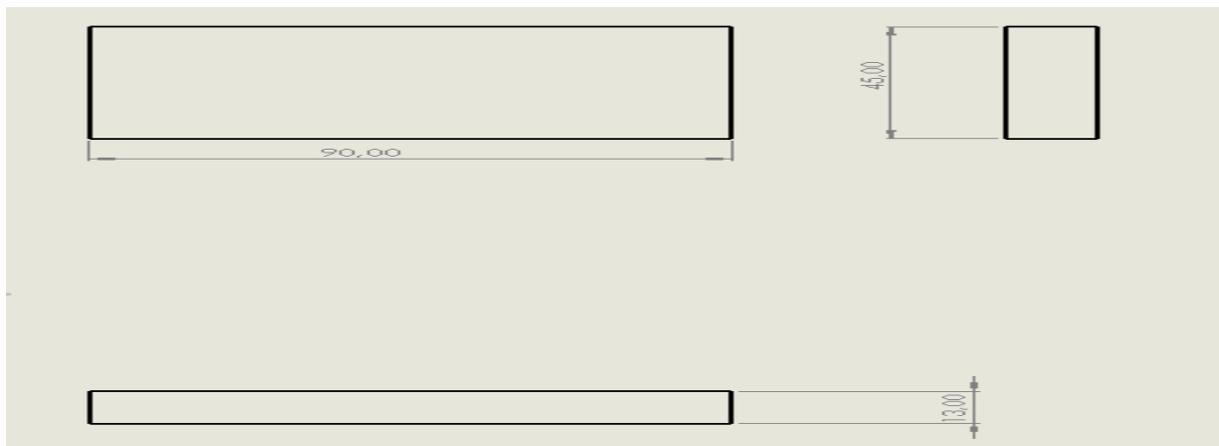


Figure 4.1 : Dessin de la pièce mesurée.

On doit réaliser une dizaine de mesure pour la même épaisseur, avec le même pied à coulisse, respecté deux fois. Ces mesures doivent être prise de telle manière à respecter les conditions répétabilité & reproductibilité.

**Reproductibilité**

répétabilité

N° mesur e	Operateur A [mm]		LA moyenne M [mm]	Etendue R [mm]	OPERATEUR B [mm]		La moyenne M [mm]	Etendue R [mm]	OPERATEUR C [mm]		La moyenne M[mm]	Etende R [mm]
	Xa <sub>11</sub>	Xa <sub>21</sub>	(Xa <sub>11</sub> +Xa <sub>21</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xb <sub>11</sub>	Xb <sub>21</sub>	(Xb <sub>11</sub> +Xb <sub>21</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xc <sub>11</sub>	Xc <sub>21</sub>	(Xa <sub>11</sub> +Xa <sub>21</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>
1	Xa <sub>11</sub>	Xa <sub>21</sub>	(Xa <sub>11</sub> +Xa <sub>21</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xb <sub>11</sub>	Xb <sub>21</sub>	(Xb <sub>11</sub> +Xb <sub>21</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xc <sub>11</sub>	Xc <sub>21</sub>	(Xa <sub>11</sub> +Xa <sub>21</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>
2	Xa <sub>12</sub>	Xa <sub>22</sub>	(Xa <sub>12</sub> +Xa <sub>22</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xb <sub>12</sub>	Xb <sub>22</sub>	(Xb <sub>12</sub> +Xb <sub>22</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xc <sub>12</sub>	Xc <sub>22</sub>	(Xa <sub>12</sub> +Xa <sub>22</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>
3	Xa <sub>13</sub>	Xa <sub>23</sub>	(Xa <sub>13</sub> +Xa <sub>23</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xb <sub>13</sub>	Xb <sub>23</sub>	(Xb <sub>13</sub> +Xb <sub>23</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xc <sub>13</sub>	Xc <sub>23</sub>	(Xa <sub>13</sub> +Xa <sub>23</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>
4	Xa <sub>14</sub>	Xa <sub>24</sub>	(Xa <sub>14</sub> +Xa <sub>24</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xb <sub>14</sub>	Xb <sub>24</sub>	(Xb <sub>14</sub> +Xb <sub>24</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xc <sub>14</sub>	Xc <sub>24</sub>	(Xa <sub>14</sub> +Xa <sub>24</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>
5	Xa <sub>15</sub>	Xa <sub>25</sub>	(Xa <sub>15</sub> +Xa <sub>25</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xb <sub>15</sub>	Xb <sub>25</sub>	(Xb <sub>15</sub> +Xb <sub>25</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xc <sub>15</sub>	Xc <sub>25</sub>	(Xa <sub>15</sub> +Xa <sub>25</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>
6	Xa <sub>16</sub>	Xa <sub>26</sub>	(Xa <sub>16</sub> +Xa <sub>26</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xb <sub>16</sub>	Xb <sub>26</sub>	(Xb <sub>16</sub> +Xb <sub>26</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xc <sub>16</sub>	Xc <sub>26</sub>	(Xa <sub>16</sub> +Xa <sub>26</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>
7	Xa <sub>17</sub>	Xa <sub>27</sub>	(Xa <sub>17</sub> +Xa <sub>27</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xb <sub>17</sub>	Xb <sub>27</sub>	(Xb <sub>17</sub> +Xb <sub>27</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xc <sub>17</sub>	Xc <sub>27</sub>	(Xa <sub>17</sub> +Xa <sub>27</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>
8	Xa <sub>18</sub>	Xa <sub>28</sub>	(Xa <sub>18</sub> +Xa <sub>28</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xb <sub>18</sub>	Xb <sub>28</sub>	(Xb <sub>18</sub> +Xb <sub>28</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xc <sub>18</sub>	Xc <sub>28</sub>	(Xa <sub>18</sub> +Xa <sub>28</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>
9	Xa <sub>19</sub>	Xa <sub>29</sub>	(Xa <sub>19</sub> +Xa <sub>29</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xb <sub>19</sub>	Xb <sub>29</sub>	(Xb <sub>19</sub> +Xb <sub>29</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xc <sub>19</sub>	Xc <sub>29</sub>	(Xa <sub>19</sub> +Xa <sub>29</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>
10	Xa <sub>110</sub>	Xa <sub>210</sub>	(Xa <sub>110</sub> +Xa <sub>210</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xb <sub>110</sub>	Xb <sub>210</sub>	(Xb <sub>110</sub> +Xb <sub>210</sub> )/2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>	Xc <sub>110</sub>	Xc <sub>210</sub>	(Xa <sub>110</sub> +Xa <sub>210</sub> )/ 2	M <sub>max</sub> -M <sub>min</sub>
			M <sub>moy</sub> =∑ mi/N	Rm=∑ Ri/ N			M <sub>moy</sub> =∑ mi/N	Rm=∑ Ri/ N			M <sub>moy</sub> =∑ mi/N	Rm=∑ Ri/N

Tableau 4.1 : tableau de mesure par trois operateurs.

Reproductibilité



N° mesure	Operateur A [mm]		LA moyenne M [mm]	Etendue R [mm]	OPERATEUR B [mm]		La moyenne M [mm]	Etendue R [mm]	OPERATEUR C [mm]		La moyenne M[mm]	Etendue R [mm]
1	13.08	13.08	13.08	0	13.14	13.14	13.14	0	13.14	13.14	13.14	0
2	13.12	13.10	13.11	0.02	13.16	13.12	13.14	0.04	13.15	13.18	13.16	0.03
3	13.15	13.17	13.16	0.02	13.10	13.10	13.10	0	13.10	13.10	13.10	0
4	13.14	13.14	13.14	0	13.18	13.14	13.16	0.04	13.14	13.10	13.12	0.04
5	13.17	13.19	13.18	0.01	13.18	13.18	13.18	0	13.18	13.18	13.18	0
6	13.22	13.22	13.22	0	13.20	13.20	13.20	0	13.20	13.20	13.20	0
7	13.20	13.16	13.18	0.04	13.15	13.17	13.16	0.02	13.18	13.14	13.16	0.04
8	13.14	13.14	13.14	0	13.16	13.16	13.16	0	13.18	13.18	13.18	0
9	13.11	13.09	13.10	0.02	13.16	13.12	13.14	0.04	13.14	13.14	13.14	0
10	13.14	13.14	13.14	0	13.14	13.14	13.14	0	13.16	13.12	13.14	0.04
			M <sub>moy</sub> = 13.14	Rm=0.011			M <sub>moy</sub> = 13.15	Rm=0.014			M <sub>moy</sub> = 13.16	Rm=0.015

Tableau 4.2 : mesure d'une pièce par trois operateurs.



### IV.3.1 Répétabilité :

La répétabilité peut être liée à un système (machine), un procédé ou une personne. Cette notion quantifie la capacité à reproduire une action ou une série d'actions.

La répétabilité est une notion utilisée en productique pour optimiser un procédé. Plus la répétabilité d'un organe est élevée plus la qualité de l'action est stable.

Ce calque de l'anglais repeatability n'existe pas dans le dictionnaire, mais il a été normalisé par l'AFNOR. [10]

AFNOR : association française de normalisation.

#### IV.3.1.a Condition de calcul de Répétabilité :

Les conditions de répétabilité sont :

**-Même mode opératoire :**

On applique la même méthode de travail.

**-Même observateur :**

Même opérateur à faire toutes les mesures.

**-Même instrument de mesure utilisée, dans la même condition :**

Il faut mesurer par un seul instrument par exemple un pied à coulisse de référence pc501, dans une même température, ...

**-Même lieu :**

Faire opération obtenue dans un seul laboratoire (même place).

**-Répétition durant une courte période de temps :**

Le temps entre les opérations que va faire très court.

La répétabilité peut exprimer quantitativement à l'aide des caractéristiques de dispersion des résultats.

#### A.1 - Calcul de la dispersion de la répétabilité :

$$\sigma_{\text{Répétabilité}} = \bar{R} / d_2 \dots \dots \dots (11)$$

Avec :

$\bar{R}$  = la moyenne des étendues. Soit :

$$\bar{R} = \sum R_i/k \dots\dots\dots(12)$$

Où k est le nombre d'opérateurs

d2= Facteur tabulé en fonction du nombre d'échantillon par prélèvement, ici d2=2 (Cette formule est possible si le nombre de pièces multiplierTapez une équation ici. par le nombre d'opérateurs k est au moins égal à 15.)

$$n.k \geq 15 \dots\dots\dots(13)$$

### IV.3.2 Reproductibilité :

La reproductibilité d'une expérience scientifique est une des conditions qui permettent d'inclure les observations réalisées durant cette expérience dans le processus d'amélioration perpétuelle des connaissances scientifiques.[3]

#### IV.3.2.a Condition de calcul de Reproductibilité

Les conditions de reproductibilité sont :

- **Principe de mesure (déférent labo) :**

On fait opération dans un plusieurs laboratoire.

- **Méthode de mesure (déférent operateur) :**

Au moins 2 ou 3 personne faire cette opération.

- **Déférent instrument de mesure :**

Pour respecter cette condition il faut prend des instruments déférent par exemple (pc502, pc504,...).

- **Etalon de référence :**

Étalons de grandeurs de même nature dans une organisation donnée ou en un laboratoire donné.

\* **Déférent lieu ;**

\* **Répétition durant une long période de temps :**

Le temps entre les opérations que va faire très long.

Les résultats considérer ici sont habituellement les résultats corrigée.

### A.1 Calcul de la dispersion de la reproductibilité

La reproductibilité est composée de la variabilité due à l'opérateur à laquelle on soustrait la répétabilité que celle-ci contient pour éviter une redondance lors du calcul du Cmc.

$$\sigma_{\text{Reproductibilité}} = \sqrt{\sigma^2_{\text{opérateur}} - \sigma^2_{\text{répétabilité}}/N} \dots\dots\dots(14).$$

Où :

N = le nombre total de mesures par pièce et par opérateur ;

$\sigma_{\text{Opérateur}}$  : on a définit par ce relation :

$$\sigma_{\text{Opérateur}} = \sqrt{(Xi - M)^2 / \sqrt{k}} \dots\dots\dots(15).$$

Ou :

$$\sigma_{\text{Opérateur}} = R_m / d_2 \dots\dots\dots(16)$$

Avec :

$$R_m = M_{\text{max}} - M_{\text{min}} \dots\dots\dots(17)$$

### IV.4 Capabilité :

On a définit par cette relation :

$$Cmc = \frac{IT}{6\sigma} \dots\dots\dots(18)$$

Avec :

Cmc : la capabilité d'un moyen de contrôle ;

IT : intervalle de tolérance ;

$\sigma$  : définit par :

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2_{rep} + \sigma^2_{repro}} \dots \dots \dots (19).$$

**III.4 Partie expérimentale : mesures réalisées a l'aide du pied a coulisse référence PC501.**

**III.4.1 Tableau de mesure :**

Operateur A fait un mesure expérimentale d'une pièce dans laboratoire de métrologie il a fait dix essais par le pied à coulisse (pc 501) est trouve cette résultat qui est appliqué dans le tableau 4.3.

**\*Operateur A**

	Mesure A (mm)	Et (µm)	Ea (µm)	Esys (µm)	F(x <sub>i</sub> )
1	13.08	80	-60	140	4.201
2	13.11	110	-30	140	9.125
3	13.16	160	20	140	5.213
4	13.14	140	0	140	9.5
5	13.18	180	40	140	2.536
6	13.22	220	80	140	1.575
7	13.18	180	40	140	2.536
8	13.14	140	0	140	9.5
9	13.10	100	-40	140	9.1
10	13.14	140	0	140	9.5
M	13.14				
$\sigma$	0.0422				

**Tableau 4.3 : Mesure d'operateur A**

**\* Valeur moyenne :**

$$M = \sum Xi / N$$

$$M = (X_{1a} + X_{2a} + X_{3a} + X_{4a} + X_{5a} + X_{6a} + X_{7a} + X_{8a} + X_{9a} + X_{10a}) / N$$

**AN:**

$$M = (13,08 + 13,11 + 13,16 + 13,14 + 13,18 + 13,22 + 13,18 + 13,14 + 13,10 + 13,14) / 10$$

$$\Rightarrow M = \mathbf{13.14} \quad \text{[mm]}$$

**\* Déviation standard :**

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\sum (X_i - M)^2}$$

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{N-1}} \sqrt{((X_{1a} - M)^2 + (X_{2a} - M)^2 + (X_{3a} - M)^2 + (X_{4a} - M)^2 + (X_{5a} - M)^2 + (X_{6a} - M)^2 + (X_{7a} - M)^2 + (X_{8a} - M)^2 + (X_{9a} - M)^2 + (X_{10a} - M)^2)}$$

Application numérique :

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{10-1}} \sqrt{((13.08 - 13.14)^2 + (13.11 - 13.14)^2 + (13.16 - 13.14)^2 + (13.14 - 13.14)^2 + (13.18 - 13.14)^2 + (13.22 - 13.14)^2 + (13.18 - 13.14)^2 + (13.14 - 13.14)^2 + (13.10 - 13.14)^2 + (13.14 - 13.14)^2)}$$

$$\Rightarrow \sigma = \mathbf{0.042}$$

#### **IV.4.2 Calcul d'erreur :**

**À/- Calcul l'erreur systématique (Es) :**

Autre méthode :

En prend le résultat de la variance moyenne M

$$\Rightarrow M = \mathbf{13.14} \quad \text{[mm]} ;$$

Erreur systématique dans un cas c'est 0.14 mm, elle reste constante.

$$\Rightarrow E_s = \mathbf{140} \quad \text{[}\mu\text{m]}.$$

**- Formule de densité de probabilité:**

$$F(x_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-(x_i - M)^2 / 2\sigma^2}$$

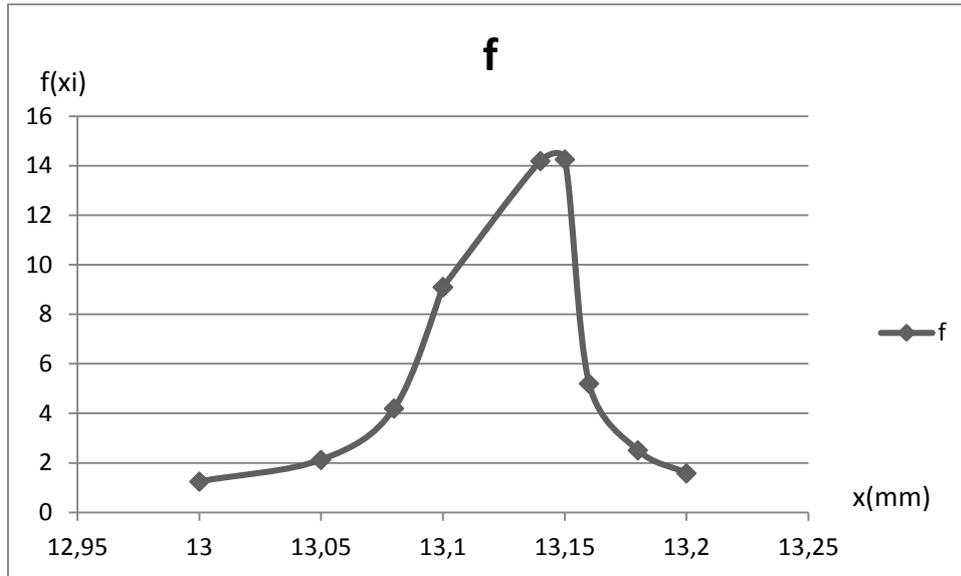


Figure 4.1 : Graphe Densité de probabilité en fonction de mesure Xa

**\*OPERATEUR B**

Pour l'opérateur B fait le même essai que fait l'opérateur A et le résultat trouvé applique dans le tableau 4.4

	Mesure B (mm)	Et (µm)	Ea (µm)	Esys (µm)	F(xi)
1	13.14	140	-10	150	12.2178
2	13.14	140	-10	150	12.2178
3	13.10	100	-50	150	9.1
4	13.16	160	10	150	5.2
5	13.18	180	30	150	2.512
6	13.20	200	50	150	1.588
7	13.16	160	10	150	5.2
8	13.16	160	10	150	5.2
9	13.14	140	-10	150	12.2178
10	13.14	140	-10	150	12.2178
M	13.15				
$\sigma$	0.0316				

Tableau 4.4 : Mesure opérateur B

- Valeur moyenne « M » :

$$M = \sum xi / N \dots\dots\dots(8)$$

$$M = (X_{1b} + X_{2b} + X_{3b} + X_{4b} + X_{5b} + X_{6b} + X_{7b} + X_{8b} + X_{9b} + X_{10b}) / N$$

AN:

$$M = (13,14 + 13,14 + 13,10 + 13,16 + 13,18 + 13,20 + 13,16 + 13,16 + 13,14 + 13,14) / 10$$

$$\Rightarrow M = 13.15 \text{ mm}$$

- Déviation standard :

$$(9) \Leftrightarrow \sigma = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\sum (X_i - M)^2}$$

$$\sigma = 1/3 * \sqrt{((X_{1b} - M)^2 + (X_{2b} - M)^2 + (X_{3b} - M)^2 + (X_{4b} - M)^2 + (X_{5b} - M)^2 + (X_{6b} - M)^2 + (X_{7b} - M)^2 + (X_{8b} - M)^2 + (X_{9b} - M)^2 + (X_{10b} - M)^2)}$$

Application numérique :

$$\sigma = 1/3 * \sqrt{((13.14 - 13.15)^2 + (13.14 - 13.15)^2 + (13.10 - 13.15)^2 + (13.16 - 13.15)^2 + (13.16 - 13.15)^2 + (13.18 - 13.15)^2 + (13.20 - 13.15)^2 + (13.16 - 13.15)^2 + (13.14 - 13.15)^2 + (13.14 - 13.15)^2)}$$

$$\Rightarrow \sigma_b = 0.0316$$

A/- Calcul l'erreur systématique (Es) :

$$E_s = X - M$$

Avec :

X : Valeur mesurer ;

M : Valeur moyenne.

Autre méthode :

En prend le résultat de la valeur moyenne M

$$\Rightarrow M = 13.15 \quad [\text{mm}] ;$$

Erreur systématique dans un cas c'est 0.15 mm, elle reste constante.

$$\Rightarrow E_s = 150 \quad [\mu\text{m}].$$

**B/- Calcul l'erreur aléatoire :(E<sub>a</sub>)**

$$E_a = E_t - E_s$$

Avec :

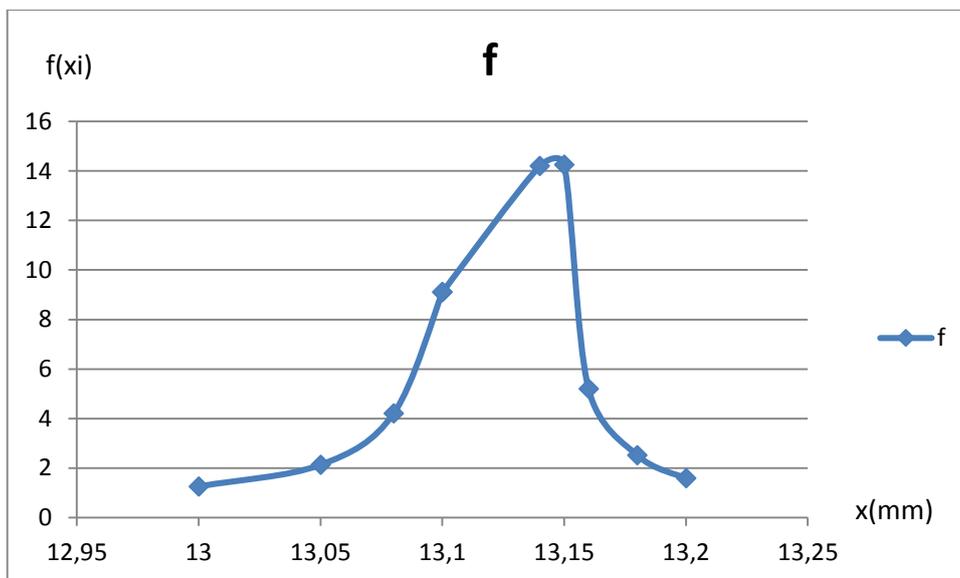
E<sub>t</sub> : Erreur totale ;

E<sub>s</sub> : Erreur systématique.

**- Formule de densité de probabilité:**

$$F(x_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x_i - M)^2}{2\sigma^2}}$$

$$F(x_1) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x_1 - M)^2}{2\sigma^2}}$$



**Figure 4.2 :** Graphe Densité de probabilité en fonction de mesure X<sub>b</sub>.

**\*Opérateur C**

Pour l'opérateur C fait le même essai que fait l'opérateur A,B et le résultat trouvé applique dans le tableau 4.5

	Mesure C(mm)	Et (µm)	Ea (µm)	Esys (µm)	F(x <sub>i</sub> )
1	13.14	140	-10	150	14.8552
2	13.16	160	10	150	15.8525
3	13.10	100	-50	150	8.2365
4	13.12	120	30	150	12.8892
5	13.18	180	30	150	6.5451
6	13.20	200	50	150	2.2554
7	13.16	160	10	150	15.8525
8	13.18	180	30	150	6.5451
9	13.14	140	-10	150	14.8552
10	13.14	140	-10	150	14.8552
M	13.16				
σ	0.034				

**Tableau 4.5 : Mesure d'opérateur C**

**- Valeur moyenne M :**

$$M = \sum Xi / N \dots\dots\dots(8)$$

$$M = (X_{1c} + X_{2c} + X_{3c} + X_{4c} + X_{5c} + X_{6c} + X_{7c} + X_{8c} + X_{9c} + X_{10c}) / N$$

AN:

$$M = (13,14 + 13,16 + 13,10 + 13,12 + 13,18 + 13,20 + 13,16 + 13,18 + 13,14 + 13,14) / 10$$

$$\Rightarrow M = 13.16 \text{ mm}$$

**- Déviation standard :**

$$(9) \Leftrightarrow \sigma = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\sum (Xi - M)^2}$$

AN :

$$\sigma = 1/3 * \sqrt{((X_{1c} - M)^2 + (X_{2c} - M)^2 + (X_{3c} - M)^2 + (X_{4c} - M)^2 + (X_{5c} - M)^2 + (X_{6c} - M)^2 + (X_{7c} - M)^2 + (X_{8c} - M)^2 + (X_{9c} - M)^2 + (X_{10c} - M)^2)}$$

Application numérique :

$$\sigma = 1/3 * \sqrt{((13.14 - 13.16)^2 + (13.16 - 13.16)^2 + (13.10 - 13.16)^2 + (13.12 - 13.16)^2 + (13.18 - 13.16)^2 + (13.20 - 13.16)^2 + (13.16 - 13.16)^2 + (13.18 - 13.16)^2 + (13.14 - 13.16)^2 + (13.14 - 13.16)^2)}$$

$$\Rightarrow \sigma_c = 0.034$$

**A/- Calcul l'erreur systématique (Es) :**

$$Es = X - M$$

Avec :

X : Valeur mesurer ;

M : Valeur moyenne.

Autre méthode :

En prend le résultat de la valeur moyenne M

$$\Rightarrow M = 13.16 \quad [\text{mm}] ;$$

Erreur systématique dans un cas c'est 0.14 mm, elle reste constante.

$$\Rightarrow Es = 160 \quad [\mu\text{m}].$$

**B/- Calcul l'erreur aléatoire :(Ea)**

$$Ea = Et - Es$$

Avec :

Et : Erreur totale ;

Es : Erreur systématique.

**- Formule de densité de probabilité:**

$$F(x_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-(x_i - X)^2 / 2\sigma^2}$$

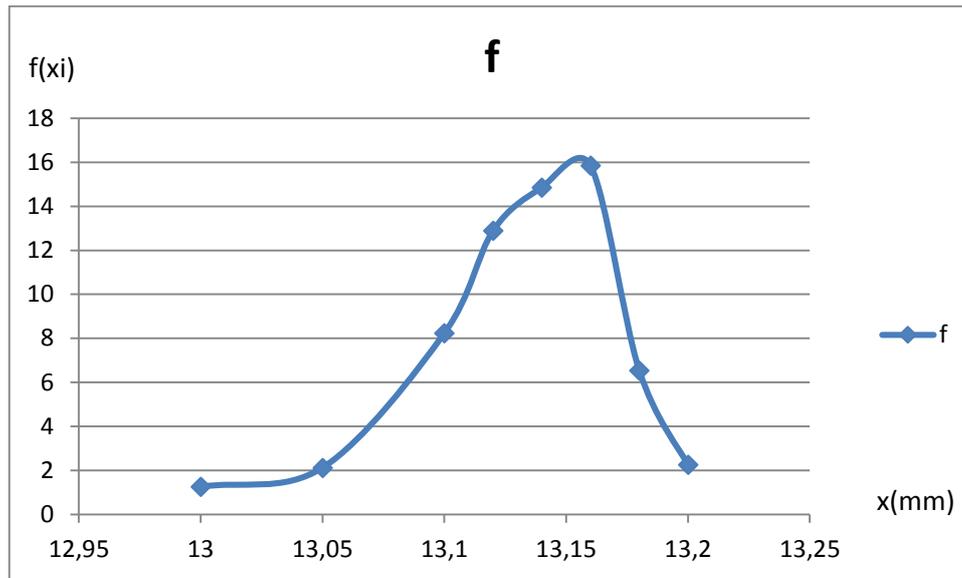


Figure 4.3 : Graphe Densité de probabilité en fonction de mesure Xc.

#### IV.5 Calcul la capabilité d'un moyen de contrôle "Cmc" :

##### IV.5.1 Calcul $\sigma_{rep}$ :

$$(11) \Leftrightarrow \sigma_{rep} = \bar{R}/d_2$$

- Calcul  $\bar{R}$ :

$$(12) \Leftrightarrow \bar{R} = \sum ri/k$$

$$r_i = r_1 + r_2 + r_3$$

Ou :

r<sub>1</sub> : Somme de la différence entre les mesures d'opérateur A ;

r<sub>2</sub> : Somme de la différence entre les mesures d'opérateur A ;

r<sub>3</sub> : Somme de la différence entre les mesures d'opérateur A.

AN:

$$r_i = 0,11 + 0,14 + 0,15$$

$$\Rightarrow r_i = 0,4 \quad [\text{mm}]$$

\*Pour  $k=3$

$$\Rightarrow R=0.40/3$$

$$\Rightarrow \bar{R} = 0.133$$

$$\Rightarrow \sigma_{\text{rep}} = \bar{R}/d_2$$

$d_2$  = Facteur tabulé en fonction du nombre d'échantillon par prélèvement

N° échantillon	$d_2$
2	1.128
3	1.693
4	2.059
5	2.326
6	2.534
7	2.704
8	2.847
9	2.970
10	3.078
11	3.173
12	3.258
13	3.336
14	3.407
15	3.472
20	3.735

**Tableau 4.5** : taille l'échantillon  $d_2$  [15]

\*Pour  $d_2=2.059$

Application numérique :

$$\sigma_{\text{Rep}} = 0.133/2.059$$

J'ai trouve :

$$\Rightarrow \sigma_{\text{Rep}} = 0.0645 \quad [\text{mm}]$$

#### IV.5.2 Calcul de $\sigma_{\text{Reproductibilité}}$ :

$$(14) \Leftrightarrow \sigma_{\text{Reproductibilité}} = \sqrt{\sigma^2_{\text{opérateur}} - \sigma^2_{\text{repetabilité}}/N}$$

#### - Calcul de $\sigma_{\text{opérateur}}$ :

$$(16) \Leftrightarrow \sigma_{\text{opérateur}} = R_m / d_2$$

Avec :

$$(17) \Leftrightarrow R_m = M_{\text{max}} - M_{\text{min}}$$

$$R_m = (M_{\text{amax}} - M_{\text{amin}}) + (M_{\text{bmax}} - M_{\text{bmin}}) + (M_{\text{cmax}} - M_{\text{cmin}})$$

$$R_m = (13.22 - 13.08) + (13.20 - 13.10) + (13.20 - 13.10)$$

$$\Rightarrow R_m = 0.34 \quad [\text{mm}]$$

Donc:

$$\sigma_{\text{opérateur}} = 0.34 / 2.059$$

$$\Rightarrow \sigma_{\text{opérateur}} = 0.165 \quad [\text{mm}]$$

Donc :

$$\sigma_{\text{Reproductibilité}} = \sqrt{0.17^2 - 0.0665^2 / 10}$$

$$\Rightarrow \sigma_{\text{Reproductibilité}} = 0.171 \quad [\text{mm}]$$

### IV.5.3 Calcul $\sigma_t$ :

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma^2 \text{Repro} + \sigma^2 \text{rep}} \dots\dots\dots(19)$$

Application numérique :

$$\sigma_t = \sqrt{0.0665^2 + 0.169^2}$$

$$\Rightarrow \sigma_t = 0.184 \text{ [mm]}$$

$$(18) \Leftrightarrow C_{mc} = IT/6\sigma$$

Pour  $IT=0.02$  donne par le constructeur ;

Application numérique :

$$C_{mc} = 0.02/(6*0.184)$$

$$\Rightarrow C_{mc} = 0.018 < 4$$

### IV.5.4 Valeur limité de la capabilité du moyen de mesure :

La limite de la norme ISO 14253 et de la notion de capabilité dans la cadre de la déclaration de conformité.

Le pied à coulisse PC501 est donc capable de répondre aux spécifications qui lui ont été confère par le constructeur.

### IV.6 Conclusion :

L'évaluation de La capabilité prévisionnelle a été adaptée à un type de pied à coulisse (pc501) et pouvait éventuellement être appliquée pour les autres types d'instruments de mesure.

Ainsi on peut faire une vérification de conformité de tous les instruments de mesure existant au labo de mesure ; et réaliser une classification .On décalcification suivant les valeurs de la capabilité d'un moyen de contrôle trouvées.

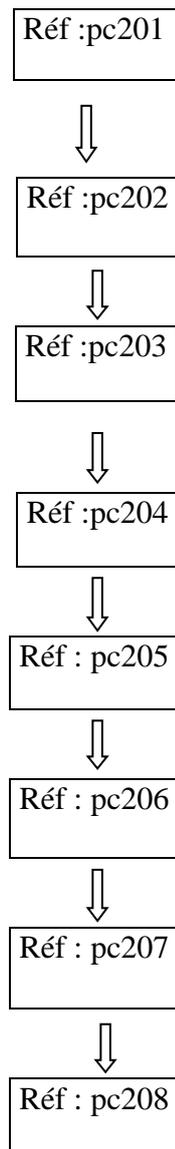
Si la capabilité du moyen de contrôle supérieur à quatre, le pied à coulisse ne répond plus à spécifications initiales, donc il faut le déclasser à une classe de précision inferieure, et refaire les mêmes calcules.

## **Introduction**

Le labo de métrologie dans université é de Tlemcen, faculté de technologie il ya des plusieurs d'équipements de mesures et moi j'ai décidée pour organise ces équipements a cause des références obtenue de chef labo pour prendre l'ordre. Ce labo constitue à des pieds à coulisse, micromètre, boîte de l'instrument, comparateur et des moyens de contrôle.

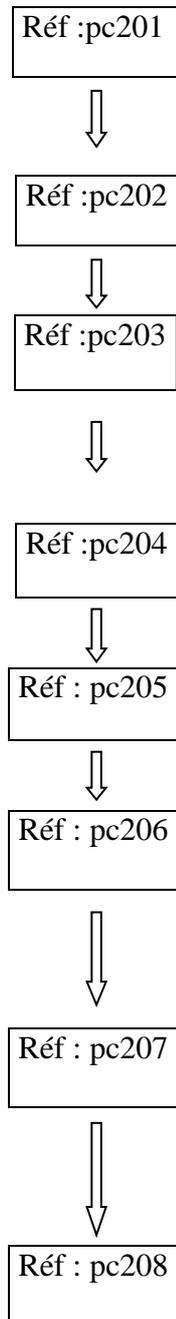
### **B.1 Case de pied à coulisse**

#### **B.1.1 Pied à coulisse 1/20<sup>eme</sup> a précision de 0.05mm grand masse :**



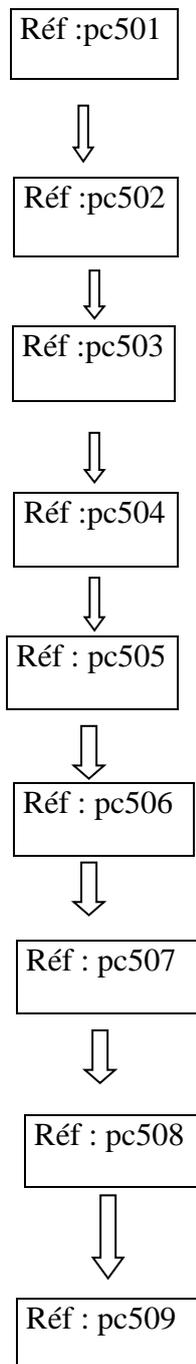
- Nombre total d'un pied a coulisse GM est huit pièces.

B.1.2 Pied à coulisse 1/20<sup>ème</sup> petit masse :



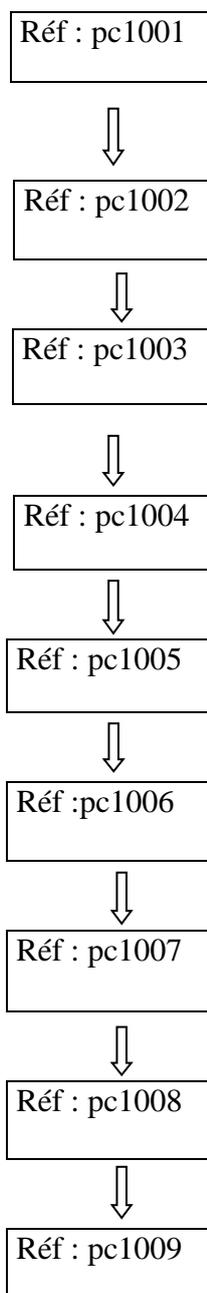
- Nombre total d'un pied a coulisse 1/20<sup>ème</sup> "PM " c'est huit pièces.

**B.1.3 Pied a coulisse 1/50<sup>eme</sup> a précision de 0.02mm :**



- Nombre total d'un pied a coulisse 1/50<sup>eme</sup> c'est neuf pièces.

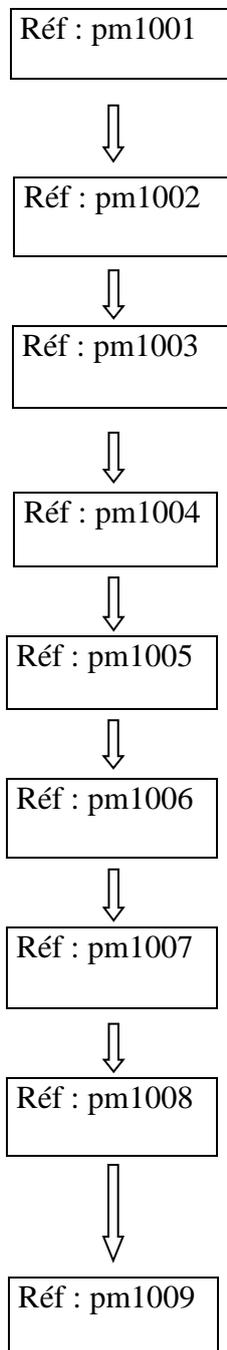
**B.1.4 Pied a coulisse 1/100<sup>eme</sup> a précision de 0.01mm**



- Nombre total d'un pied a coulisse 1/100<sup>eme</sup> est neuf pièces.

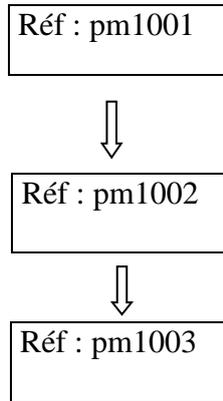
## B.2 Case de micromètre (palmer) :

### B.2.1 Palmer 1/100<sup>ème</sup> a précision de 0.01mm



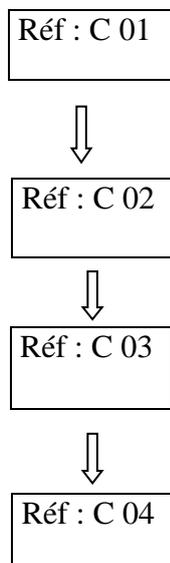
- Nombre total du palmer 1/100<sup>ème</sup> est neuf pièces.

**B.2.2 Palmer géométrie spécifique a précision 0.01mm**



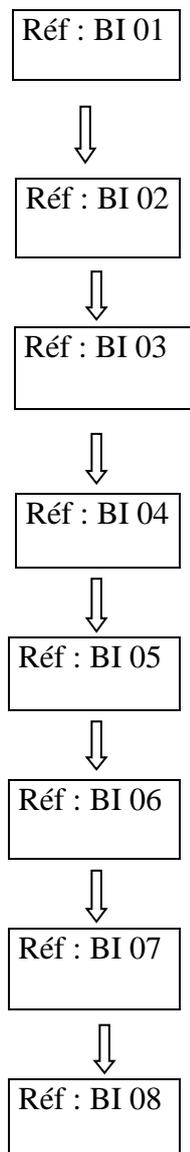
- Nombre de micromètre spécifique géométrie est trois pièces.

**B.3 CALIBRES :**



-Le nombre des boites de calibre est 4 boites.

#### B.4 Boite instrument (pied a coulisse, micromètre, comparateur)



- Nombre de boite d'instrument est 8 boites.

#### **Conclusion :**

La classification des instruments dans laboratoire de métrologie de faculté de technologie Abou Bakr Belkaid sous condition de lecture précision.

## Conclusion générale et Perspective

Le travail présenté dans ce mémoire de master concerne principalement sur évaluation prévisionnelle de la capabilité des équipements de mesure cas du pied à coulisse (PC501) dans laboratoire de métrologie du hall de technologie.

Nous avons essayé de décrire le contexte générale de problème, alors nous avons fourni une notion fondamentale sur le système international ensuite nous avons expliquée l'étalon et la chaine étalonnage et la relation entre eux.

L'évaluation des différents types d'erreurs de mesure qu'on ne peut pas évité a été évalué par des méthodes statistiques. L'application numérique a été appliquée au pied à coulisse PC501 du laboratoire de métrologie.

Les résultats obtenue montrent clairement que la densité de probabilité des mesures effectuées suit une distribution gaussienne montrent ainsi la position de chaque type d'erreur à savoir l'erreur systématique et erreur aléatoire. La nécessité de gérer convenablement du laboratoire de métrologie, une importance de la prise de décision, nous avons proposé comment implanté une fonction métrologique au sein d'un laboratoire. La prise de décision dépend étroitement de la qualité de mesure, il est donc très important de s'assurer de la conformité des appareils de mesure, en vérifiant périodiquement leur capabilité prévisionnelle qui dépend de sa précision, donne par le constructeur (IT) et son incertitude de mesure que nous avons évalué en fonction de l'intervalle de confiance. Prescrite par la norme ISO14253 qui stipule que la capabilité prévisionnelle Cmc doit être inférieure à quatre.

Il s'avère quelle cas étudié (PC501) est capable de répondre à ses spécifications initiales données par le constructeur.

Comme perspective, prévoyons de faire l'évaluation de la capabilité du moyen de mesure de tous les équipements de mesure existant au laboratoire de métrologie, pour une meilleure classification et une bonne gestion.

## ***Références bibliographiques :***

### ***Livre et document :***

- [2] Fiche technique wika ct 70.30 10/2018.
- [5] Document évaluation de la donnée de la mesure.
- [7] Livre Gilles Saporta, Probabilités, analyse de données et statistique, « Intervalle de confiance pour une proportion p », Éditions TECHNIP, Paris 2011.
- [8] Document ressource pour les probabilités [archive] de la classe de terminale en France, page 32, réalisé par le Ministère de l'éducation nationale en février 2012.
- [11] Publication d'ERIC FARGIER, MARC PRIEL 10.2007
- [12] Livre de mathew.A- Pratique métrologie, livret 3, octobre 2019.
- [19] Livre jean Michel pou, parc technologique la paradium 25rue joseph desaynard. octobre 2015

### ***Référence normalisé***

- [3] VIM collectifs, JCGM 2008 : vocabulaire internationale de métrologie.
- [4] Bureau international des poids et de mesure 2006.
- [15] ISO 9001 information sur la norme et interet, certification QSE. 21 janvier 2017.

### ***Site web***

- [1] [Http://www.cfmetrologie.com/images/cfm/pdf/Publicationcollege/Question-de-métrologie---Quelle-est-la-différence-entre-vérification-et-étalonnage---CEM.pdf](http://www.cfmetrologie.com/images/cfm/pdf/Publicationcollege/Question-de-metrologie---Quelle-est-la-différence-entre-vérification-et-étalonnage---CEM.pdf)
- [6] [Http://www.qualiteperformance.org/lexique/5-m](http://www.qualiteperformance.org/lexique/5-m).
- [9] [Https://media4.obspm.fr/public/AAM/pages\\_stat/mpa-err.html](https://media4.obspm.fr/public/AAM/pages_stat/mpa-err.html).
- [10] AFNOR. Livre métrologie.
- [13] DOC Player. Fr /1466671- cour métrologie –assurance qualité.html
- [14] Slide share.net /slides- capture.
- [16] [WWW.heafner.de/fr/suivi](http://WWW.heafner.de/fr/suivi) des moyen de contrôle et service.html
- [17] [WWW.seomix.fr/cahier](http://WWW.seomix.fr/cahier) charge -web

## **Annexes**

**Annexe A : Description et principe de mesure du  
pied à coulisse et du micromètre.**

## **Introduction : [3]**

Les compas d'épaisseur sans échelle de vernier remontent à la chine ancien dès la dynastie Qin. La gamme secondaire qui apportée un périsicien supplémentaire a été inventée en 1631 par le mathématicien pierre vernier (1580-1637).

Son utilisation a été d'écrit en détail en anglais dans navigation britannica 1750 par le mathématicien et historien John Barrow. Bien que les compas d'épaisseur soient l'utilisation la plus typique de balance vernier aujourd'hui, ils sont été développée à l'origine pour l'instrument de mesure d'angle tel que le quadrant astronomique dans certain langue échelle de vernier s'appel (un Nonius), précurseur de échelle de vernier développée par le mathématicien portugais cosmographe Pedro Nunes (1502-1578), latinise par Petrus Nonius, il était connu sous ce nom en anglais jusqu'à la fin de 18<sup>ème</sup> siècle.

Le nom vernier a été popularisé par astronome français Jérôme Lalande (1732-1807) dans son traite astronomie.

### **I. Pied à coulisse :**

Un pied à coulisse (ou calibre à coulisse) est un instrument de mesure de longueur composé essentiellement de deux parties coulissantes l'une par rapport à l'autre. Cet instrument, très utilisé en mécanique, permet de mesurer facilement les cotes extérieures d'une pièce, le diamètre d'un cylindre ou d'un alésage, une profondeur.



**Figure A.1 : Pied à coulisse**

#### **I.1 Description :**

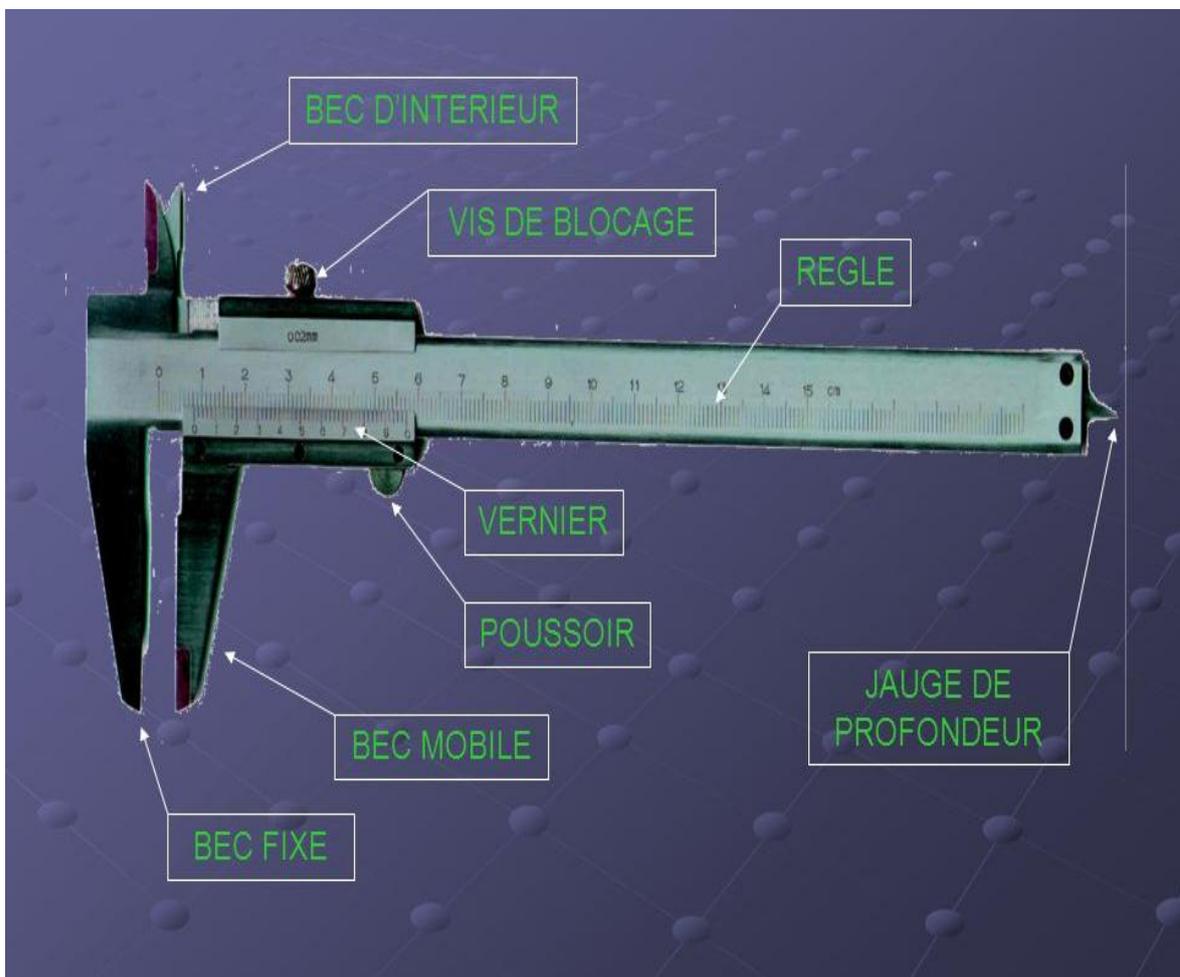
## **Annexe A : Description et principe de mesure du pied à coulisse et du micromètre.**

Il est composé essentiellement :

-d'une règle fixe graduée, munie d'une tête comportant une face plate correspondant à la position de référence 0, et un curseur, muni d'une tête présentant une surface plate en opposition avec la face de référence.

-suivant le type, on trouve soit des becs arrondis pour les mesures intérieures ou des petits becs en opposition sur la partie supérieure.

-les mesures de profondeur peuvent être assurées par une jauge prolongeant le curseur, coulissant à l'arrière de la règle principale, affleurant le bout de la règle en position 0.



**Figure A.2** : Composants du pied a coulisse.

### **I.1.1 Principe de précision**

Le pied à coulisse est ferme, bec contre bec.

## **Annexe A : Description et principe de mesure du pied à coulisse et du micromètre.**

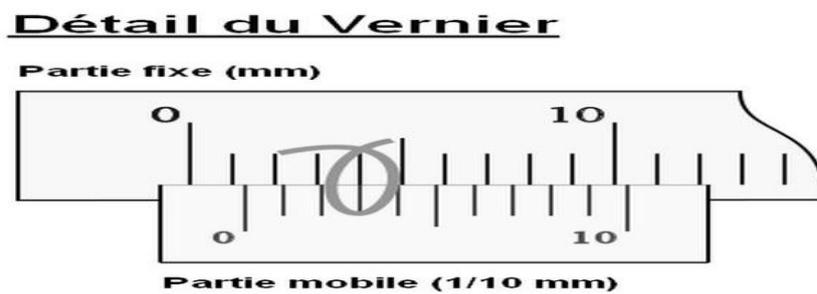
Déterminer le nombre de graduations présentes sur le vernier gradué et à la correspondance sur la règle graduée.

Diviser le nombre obtenu sur la règle par le nombre obtenu sur le vernier pour avoir la précision.

### **I.1.1.1 Précision au dixième ( $1/10^{\text{ème}}$ )**

Si la graduation du vernier s'étendent de 0 à 9 sur la règle graduée, alors le pied à coulisse a une précision de  $1/10$  mm ou 0.1mm.

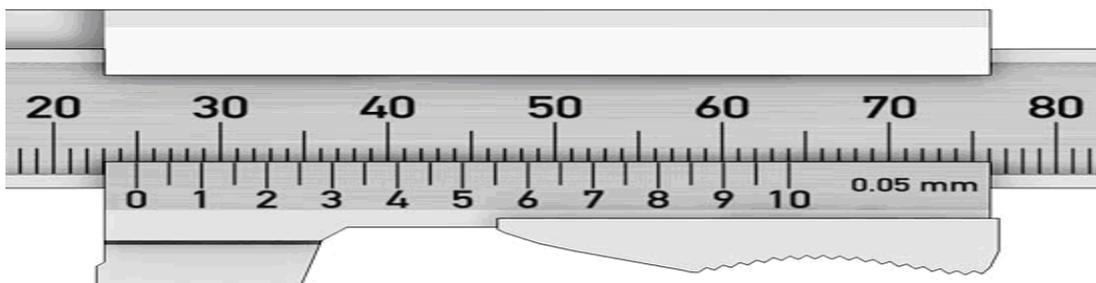
-LE ZERO DU VERNIER EST EN FACE D'UNE GRADUATION DE LA REGLE Lire sur la règle le nombre de mm correspondant cette graduation.



**Figure A.3 :** Vernier a précision  $1/10^{\text{ème}}$

### **I.1.1.2 Précision au vingtième ( $1/20^{\text{ème}}$ )**

Si la graduation du vernier s'étendent de 0 à 19 sur la règle graduée, alors le pied à coulisse a une précision de  $1/20$  mm ou 0.05mm.



**Figure A.4 :** Vernier a précision  $1/20^{\text{ème}}$

### **I.1.1.3 Précision au cinquantième ( $1/50^{\text{ème}}$ )**

## **Annexe A : Description et principe de mesure du pied à coulisse et du micromètre.**

Si la graduation du vernier s'étendent de 0 à 49 sur la règle graduée, alors le pied à coulisse a une précision de 1/50 mm ou 0.02mm.



**Figure A.5 :** Vernier au 1/50<sup>ème</sup>

### **I.1.1.4 Précision au centième (1/100<sup>ème</sup>)**

Si la graduation du vernier s'étendent de 0 à 99 sur la règle graduée, alors le pied à coulisse a une précision de 1/100mm ou 0.01mm.



**Figure A.6 :** Pied à coulisse 1/100<sup>ème</sup>

## I.2 Différentes positions du pied à coulisse en fonction :

Les différentes positions du pied à coulisse en fonction du type de mesure sont :

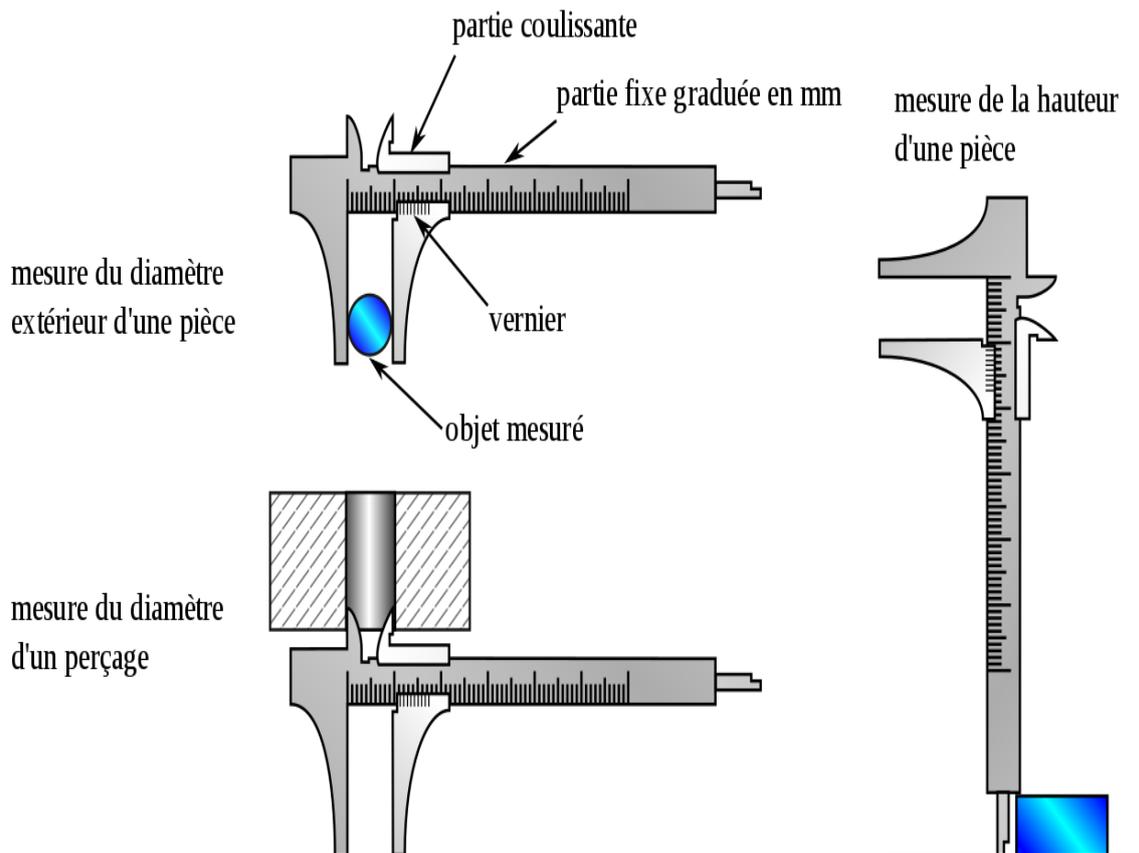
a-mesure extérieure

b) mesure intérieure bec fin.

c) mesure intérieure (tenir compte de l'épaisseur des becs). Type de pied à coulisse différent du votre.

d) mesure d'un cylindre.

e) mesure d'une profondeur (peu précise).



**Figure A.7** : Positions de P.C à fonction. [3]

## II. Micromètre

## **II.1 Historique :**

Un micromètre parfois appelé jauge micrométrique à vis, est un dispositif intégrant une vis calibrée largement utilisée pour la mesure précise de composants [1] en génie mécanique et en usinage, ainsi métiers, ainsi que d'autres instruments de métrologie tels que les compas à cadran, vernier et numériques. Les micromètres sont généralement, mais pas toujours, sous la forme d'étriers (extrémités opposées réunies par un cadre). La broche est une vis usinée très précisément et l'objet à mesurer est placé entre la broche et l'enclume. La broche est déplacée en tournant le bouton à cliquet ou la bague jusqu'à ce que l'objet à mesurer soit légèrement touché par la broche et l'enclume.

Les micromètres sont également utilisés dans les télescopes ou les microscopes pour mesurer le diamètre apparent des corps célestes ou des objets microscopiques. Le micromètre utilisé avec un télescope a été inventé vers 1638 par William Gascoigne, un astronome anglais.

## **II.2 Principes de fonctionnement :[3]**

Les micromètres utilisent la vis pour transformer de petites distances (trop petites pour pouvoir mesurer directement) en grandes rotations de la vis suffisamment grandes pour pouvoir lire à partir d'une échelle. La précision d'un micromètre découle de la précision des formes de filetage qui sont au cœur de sa conception. Dans certains cas, il s'agit d'une vis différentielle. Les principes de fonctionnement de base d'un micromètre sont les suivants:

La quantité de rotation d'une vis fabriquée avec précision peut être directement et précisément corrélée à une certaine quantité de mouvement axial (et inversement), par la constante connue sous le nom de avance de la vis. Le pas d'une vis est la distance sur laquelle il avance axialement d'un tour complet (360 °). (Dans la plupart des threads [c'est-à-dire dans tous les threads à démarrage unique].

Avec une avance appropriée et un diamètre majeur de la vis, une quantité donnée de mouvement axial sera amplifiée dans le mouvement circonférentiel résultant.

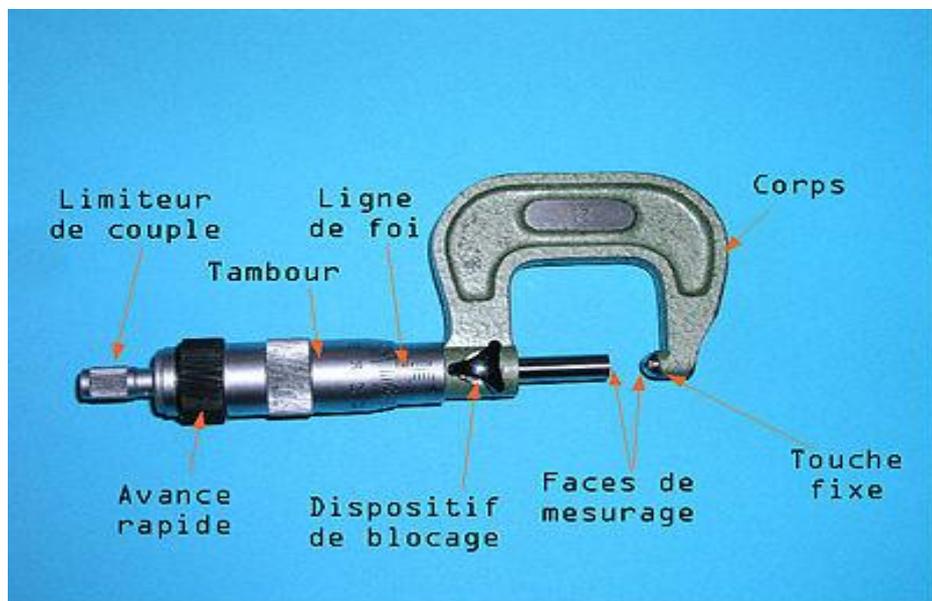
## **II.3 Description du micromètre (palmer) :[3]**

Le micromètre d'extérieur est composé d'un corps nu généralement métallique, qui peut être recouvert de matière plastique, sur lequel sont montées une touche fixe et une touche mobile. La touche mobile est actionnée par un mécanisme de vis micrométrique. Un limiteur de couple permet d'exercer sur la pièce un serrage sensiblement identique pour chaque mesure.

Un micromètre (ou palmer) est constitué d'un corps en U possédant une touche fixe et une touche mobile actionnée par un tambour qui utilise le système-vis écrou. Pour éviter les déformations des pièces mesurées ou des touches, on utilise un limiteur de couple qui assure une pression constante lors des mesures. Il doit être étalonné à l'aide d'une cale de référence. Sa précision est de 0.01 à 0.001 mm.



**Figure A.8 : Micromètre (palmer)**



**Figure A.9 : Composant de palmer**

## II.4 Etalonnage

Les micromètres contrairement aux calibres à coulisse, ne permettent de faire des mesures que dans un intervalle de : 0-25mm ; 25-50mm ;...

### - Micromètre 0-25mm :

L'étalonnage se fait par contact de deux touches bien nettoyées. Le zéro du tambour doit coïncider avec l'index, sinon il faut effectuer le réglage soit en déplaçant la touche fixe, soit en faisant tourner la douille ou le tambour (par rapport à la vis) selon les modèles.

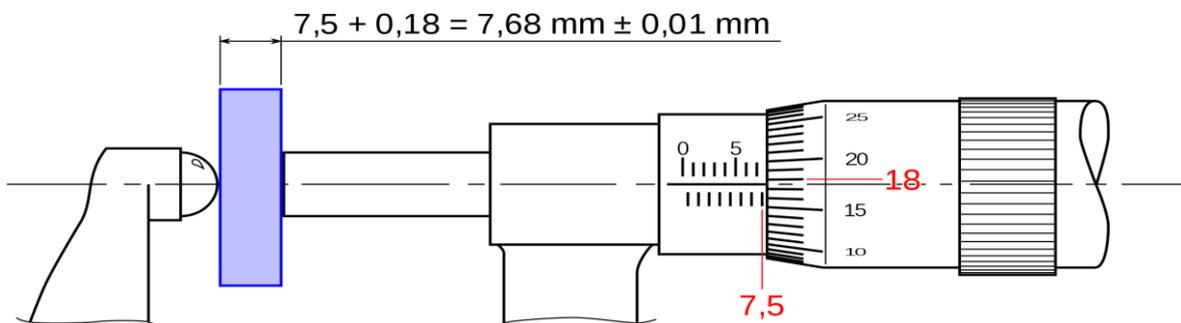
### -Micromètre 25-50mm :

Dans ce cas, il est nécessaire de disposer de cales étalons de 25mm, 50mm, etc..., dont les dimensions sont garanties par le constructeur. Les touches sont mises en butées contre les cales et le réglage s'effectue éventuellement comme il est indiqué ci-dessus.

## II.5 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 (0.5mm/50=0.01mm).

Le serrage sur l'objet se fait uniquement en manipulant le limiteur de couple : cela permet d'éviter de déformer l'objet déformation élastique qui fausserait la mesure, voire déformation plastique qui dégraderait la surface ou de dérégler le micromètre. L'appareil doit être régulièrement étalonné ; on utilise pour cela une cale étalon (micromètre d'extérieur) ou une bague de réglage (micromètre d'intérieur), l'appareil disposant d'une vis de réglage. En raison du phénomène de dilatation, la mesure étant précise, il convient de maîtriser la température à laquelle elle se fait, et en particulier la température de l'objet mesuré ; les procédés de fabrication classiques provoquent souvent un échauffement de la matière.



**Figure A.10** : exemple sur la procédure de mesure de palmer

**Annexe A : Description et principe de mesure du pied à coulisse et du micromètre.**

---