

# Métrologie 01

Dr. Fateh MAKHLOUFI  
Institut des Sciences et des Techniques Appliquées  
Université des Frères Mentouri Constantine 1



[makhloufi.fateh@gmail.com](mailto:makhloufi.fateh@gmail.com)

# Table des matières

**Objectifs**

**Historique**

**Introduction**

**Chapitre 1: Généralités sur la métrologie**

**Chapitre 2 : Système International d'unité (SI)**

**Chapitre 3 : Systèmes de mesure**

**Chapitre 4 : Instruments des mesures**

**Chapitre 5 : Tolérances et ajustements**

# Objectifs

Dans le présent cours, intitulé « **Métrologie 1** » qui s'adresse aux étudiants de la 1<sup>ère</sup> année licence professionnelle spécialité : **Productique Mécanique et Industrialisation (PMI)**. Ce module traite les fondements technologiques de la métrologie, qui est 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.

L'étudiant aura à s'imprégner de l'ensemble des techniques et des opérations nécessaires, ainsi que des notions de base en fabrication technologique, ou sont mis en évidence, les notions fondamentales des tolérances et ajustements ainsi que les états de surfaces, car étant des connaissances de base, impératives pour la fabrication en technologie.

A l'issue de ce cours l'apprenant sera capable de :

- Mettre en œuvre des techniques de mesurages élémentaires ;
- Connaître les différents moyens et outils de mesure ;
- Choix du procédé et des outils adaptés à la mesure ou au contrôle à réaliser ;
- Étalonnage des instruments de mesure ;
- Maîtrise des différents outils de mesure (mesure directe et mesure indirecte) ;

# Historique

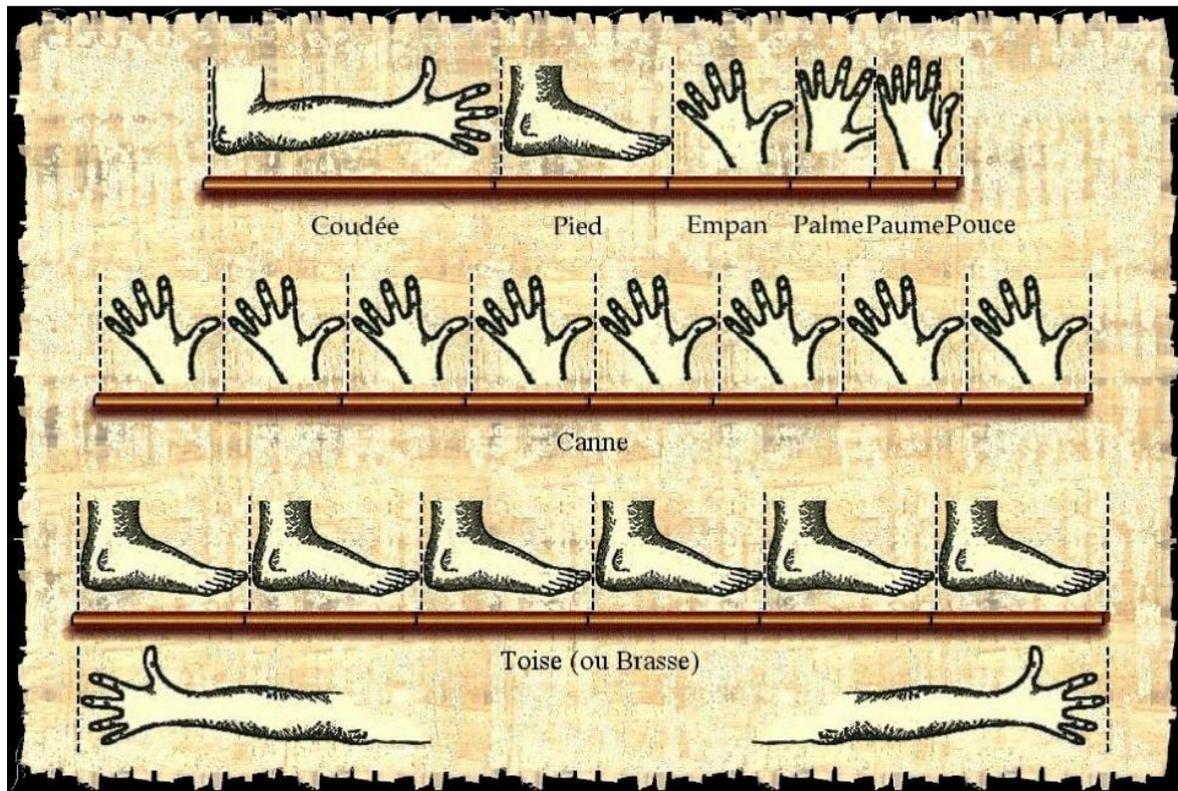
Dès les premières civilisations, il a été nécessaire d'effectuer des mesures (poids, longueurs), pour les échanges entre tiers ou par exemple les impôts. Pour éviter les contestations entre parties prenantes, sont très rapidement apparues des « mesures de référence » que nous appelons aujourd'hui **étalons**. Tel est le cas des poids mésopotamiens et égyptiens et de la coudée royale dite de « Maya » de l'Égypte ancienne. Jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, les grandeurs sont souvent évaluées en comparaison avec des références humaines, comme le pied ou le pouce pour les longueurs (souvent les organes des rois et empereurs), ou encore le journal pour la surface (grandeur d'un champ correspondant à la quantité de travail - moissonnage par exemple - que peut fournir une personne en une journée).

Chaque pays, chaque province même, dispose de ses propres unités de mesure ; ainsi le dictionnaire de Godefroy cite plus de quatre-vingt mesures agraires employées au Moyen Âge. Ceci complique les échanges commerciaux et gêne la diffusion des connaissances. Les scientifiques français, inspirés par l'esprit des Lumières et la Révolution française, conçoivent un système de référence basé sur des références naturelles ayant la même valeur pour tous, sans rapport à une personne particulière, bref universel — « universel » dans le sens « invariable, accessible à tous et reconnu par tous ». C'est ainsi que l'on prend la longueur du méridien terrestre comme référence de longueur pour bâtir le mètre. De multiples textes de lois vont poser les assises de la métrologie. Ce sont, pour les deux textes les plus importants :

- la loi du 18 germinal an III (7 avril 1795) qui met en place les unités du système métrique.
- le 20 mai 1875, dix-sept états signent à Paris la Convention du mètre qui crée le **Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)**. La convention, modifiée en 1921, régit l'organisation fonctionnelle des institutions de métrologie : BIPM, CGPM, CIPM.

Au XX<sup>e</sup> siècle, la métrologie a su évoluer dans tous les domaines la concernant, notamment dans le changement de certaines définitions d'unités de base (longueur, temps...) ; elle a aussi favorisé les démarches normalisées pour étalonner les instruments de mesure...

Dans ces dernières décennies elle a enfin proposé que la variabilité des valeurs mesurées soit considérée comme une dispersion et que cette incertitude métrologique soit traitée par des méthodes statistiques reconnues. Pour ce faire elle a favorisé la diffusion des guides VIM et GUM déjà cités dans les sections précédentes. C'est maintenant à tous les acteurs concernés de mettre en application ces recommandations.



Depuis l'antiquité, des unités basées sur des données anthropomorphiques, de préférence impériales ou royales

**Avant la Révolution Française :** Les mesures ont été caractérisés par :

Instabilité dans le temps, variabilité d'une région à l'autre, complexité de conversions,

En France, avant la révolution on distingue :

- Les mesures de longueur
- Les mesures de surfaces
- Les mesures de capacité
- Les poids

### 1) Mesures de longueur

Le pied de roi, le pouce, la ligne, le point, L'aune, la brasse, la toise, la canne, le pas, la perche de Paris (la Perche ordinaire la perche des eaux et forêts).

### 2) Mesures de surface

Le journal (le journal de Paris, le journal de Bordeaux), l'arpent, la perche (la perche des forêts, la perche de Paris), la toise carrée, le pied carré, le pouce carré, la verge, l'acre, l'ânée, le bonnier.

### 3) Mesures de capacité

Le litron, le boisseau "creux de la main", le boisseau de Paris (environ 16 litrons, soit 13 litres), le boisseau de Bordeaux (78,808 litres), le boisseau de Saint-Brieuc (33,86 litres), le setier, le minot, le muid, l'hémine, la foudre, le scandale (de 12 à 20 litres en Provence, selon les localités).

### 4) Poids

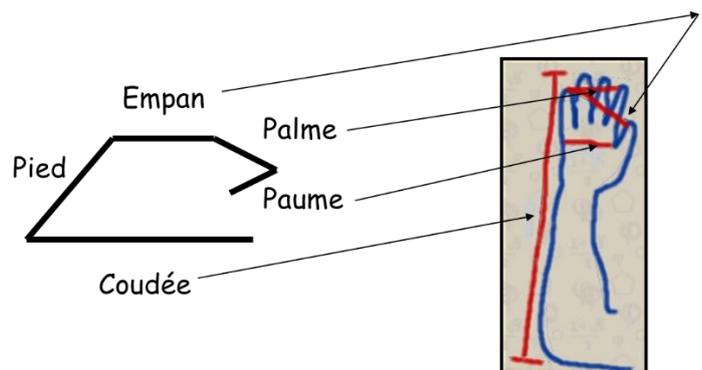
La livre (489,5 grammes), l'once, le gros, le quarteron, le grain (53 mg, soit 0,053 g), le denier ou scrupule (24 grains, soit 1,275 g), le quintal (100 livres, soit 48,95 kg), le millier (1 000 livres, soit 489,5 kg), le tonneau de mer (2 000 livres, soit 979 kg).



Pile de (13) poids pesant en tout 50 marcs (25 livres) dite « Pile de Charlemagne » - 1460/1510



Le boisseau dérivé de boisse, bas-latin bostia et gaulois bosta, « creux de la main »



Le quine (la pige) des bâtisseurs de cathédrales

## Après La révolution

Lors de la séance du 9 mai 1790 l'Assemblée Nationale décréta la suppression des anciennes unités et la création d'un système stable, uniforme et simple : le **système métrique** devenu par la suite le **système international**.

## Introduction

Aucun moyen de production de pièces ne permet d'obtenir des cotes rigoureusement exactes ou des surfaces géométriquement parfaites. La métrologie est l'ensemble des opérations nécessaires pour déterminer avec précision la valeur d'une grandeur à mesurer ou pour réaliser un contrôle. Elle est la science et technique de la mesure, elle permet de s'adapter aux exigences changeantes des marchés tout en respectant des règles de plus précises sur les caractéristiques du produit et de sa fabrication. On trouve deux types de technique de mesure.

- Mesurage dimensionnel.
- Mesurage géométrique.

# Chapitre 1

## Généralités sur la métrologie

### Objectifs spécifiques :

A l'issue de ce chapitre l'étudiant sera capable de :

- Comprendre les notions de base de la métrologie.
- Comprendre l'importance de la métrologie.
- Connaître les différents types de métrologie.

Le temps alloué à ce chapitre est : 1h30

### 1. Introduction

L'amélioration de la qualité que ce soit des produits ou des processus est devenue une préoccupation majeure des entreprises industrielles. Relever ce défi, impose aux entreprises de mieux maîtriser les instruments de mesure qu'elles utilisent. Toute erreur de conception ou de fabrication d'un produit peut avoir des conséquences désastreuses pour l'entreprise.

La mesure est devenue de plus en plus indispensable dans tous les secteurs d'activité. Elle permet de garantir les propriétés d'usage des produits, des échanges commerciaux, de maîtriser le processus de fabrication et de protéger la santé. Toutefois les instruments de mesure n'ont de signification que si les valeurs qu'ils indiquent sont exactes, c'est pourquoi l'organisation de la fonction métrologique dans l'entreprise est primordiale. Elle oriente la gestion des moyens de mesure en fonction des besoins réels de l'entreprise et permet de s'assurer, à tout moment, que les instruments sont encore en état de bon fonctionnement et que toute éventuelle dérive reste maîtrisée et connue et ce à travers les opérations de vérification et de raccordement aux étalons nationaux ou internationaux.

La fonction métrologique est l'un des instruments centraux de la démarche qualité des entreprises et prend toute son importance aussi bien en tant que démarche volontaire interne à l'entreprise qu'en tant que démarche contractuelle pouvant aboutir à la certification, C'est un point de passage obligé pour l'obtention de la qualité des produits. La qualité ne se contrôle pas, elle se fabrique, pour cela il faut donner au producteur les moyens d'effectuer les mesures indispensables à la qualification du produit. La mesure dimensionnelle doit intervenir à chaque phase de l'élaboration d'une pièce, par son intégration sur le poste de travail. De plus il faut surveiller le processus de fabrication pour prévenir les défaillances.

## La métrologie à quoi ça sert ?

La métrologie au sens étymologique du terme se traduit par « science de la mesure ». La métrologie s'intéresse traditionnellement à la détermination de caractéristiques (appelées grandeurs) qui peuvent être fondamentales comme par exemple une longueur, une masse, un temps, ou dérivées des grandeurs fondamentales comme par exemple une surface, une vitesse. Cependant, dans les domaines courants des essais, il existe de nombreuses caractéristiques n'ayant qu'une relation indirecte avec ces grandeurs. C'est le cas, par exemple, de la dureté, de la viscosité, qui peut poser des problèmes dans l'interprétation.

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

Les résultats des mesures servent à prendre des décisions dans de nombreux domaines, tels que :

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

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

En effet sans incertitude les résultats de mesure ne peuvent plus être comparés :

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

## 2. Définition de la Métrologie

La métrologie peut se définir comme étant " la science de la mesure associée à l'évaluation de son incertitude ". La spécificité de la discipline métrologique n'est pas dans la mesure elle-même, mais dans la validation du résultat. Au sens large ; c'est une science de la **mesure**.



### 3. Vocabulaire métrologique

Si la gestion de la fonction métrologique dans les entreprises reste accessible, elle demande un minimum de connaissances relatives à son vocabulaire, sa terminologie ou encore aux mathématiques. Il ne s'agit pas ici de revenir sur les concepts mathématiques, mais de définir les principales notions employées lorsque l'on évoque la fonction métrologique. L'un des prérequis pour appréhender la métrologie et ses concepts est de se familiariser avec le vocabulaire. Dans ce qui suit sont définies les principales notions métrologiques tirées du **VIM** (Vocabulaire International de la Métrologie).

#### Mesure et mesurage :

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

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

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

#### Définition du mesurage :

Processus consistant à obtenir expérimentalement une ou plusieurs valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur. Ou bien : c'est l'ensemble des opérations permettant d'attribuer une valeur à la grandeur mesurée.

#### Définition d'une grandeur (mesurable) :

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

**Étalonnage** : les valeurs obtenues dans un mesurage sont le résultat de mesures effectuées dans un processus de mesure comportant un instrument de mesure ; cet appareil, susceptible de variabilité dans le temps doit être étalonné avec un étalon et vérifié. D'une autre façon : c'est l'ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure, ou les valeurs représentées par une mesure matérialisée et les valeurs connues correspondantes d'une grandeur mesurée.

**Incertitude** : la variabilité des valeurs obtenues dans un mesurage est ce qu'on appelle l'incertitude de mesure. Cette incertitude doit être déterminée comme une dispersion, avec des règles complémentaires appliquées aux incertitudes. La méthode de détermination de l'incertitude de mesure fait l'objet d'un fascicule métrologique appelé Guide pour l'expression de l'Incertitude de Mesure ou **GUM**.

**Étalon :** Une mesure n'est jamais exacte. Elle est toujours établie en comparaison avec une unité, un étalon invariable, ou avec une référence dérivée de cet étalon. Un étalon est un instrument de mesurage destiné à définir ou matérialiser, conserver ou reproduire l'unité de mesure d'une grandeur. Les cales étalon sont des parallélépipèdes généralement en acier dont la longueur entre deux des faces (appelées mesurandes) est parfaitement connue. Les cales étalons sont utilisées pour étalonner ou régler des appareils de mesure de longueur.

#### **4. Différents types de métrologie**

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

##### **1) La métrologie légale :**

Elle concerne toutes les activités de mesure relatives aux d'exigences définies par une réglementation (imposées par l'état). Ce sont, par exemple :

- Les mesures effectuées dans le cadre des transactions commerciales (mesure du volume du carburant que vous achetez dans une station-service, mesure des quantités de produits pré-emballés, mesure des masses de bagages avant de monter à bord d'un avion, mesure de l'énergie électrique consommée par une habitation).
- Les mesures effectuées pour définir le prix d'une taxe ou l'importance d'une sanction (cinémomètre : mesure des vitesses de voitures par les radars sur l'autoroute) ;
- Les mesures des rejets de polluants.

##### **2) La métrologie industrielle :**

La métrologie industrielle joue le rôle d'interface entre les laboratoires nationaux de métrologie et les citoyens i.e. les utilisateurs finaux des instruments de mesure : les écoliers avec leurs règles et rapporteurs, les industriels, les commerçants, les artisans, etc. Elle assure notamment le raccordement aux étalons nationaux.

##### **3) La métrologie fondamentale (dite de laboratoire, scientifique) :**

Science des mesurages et ses applications.

La métrologie étudie donc, tous les aspects théoriques et pratiques (règles, méthodes, instruments) des mesurages, quels que soient l'incertitude de mesure et le domaine d'application.

#### **5. Utilité de la métrologie**

La fonction métrologie dans l'entreprise est un investissement important qui concourt à la qualité des différents produits, de façon simple, efficace, économique et sûre. Le service métrologie est partie intégrante au service contrôle qualité. Les entreprises de production et les laboratoires opérationnels utilisent des instruments de mesure. Ils doivent s'assurer, dans le cadre des échanges « clients - fournisseurs » du suivi métrologique de leurs instruments. Dans ce cadre, ils sont amenés à entretenir des relations métrologiques avec les instances nationales, soit directement, soit par l'intermédiaire d'organismes de métrologie légale ou de laboratoire

d'essais et d'étalonnage accrédités. La série des normes **ISO 9001** fixent aussi les procédures à respecter par les entreprises dans le domaine de la métrologie. L'utilité de la métrologie inclut :

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