

Cours de Métrologie



Dr . Chihoub Rima

Université de Jijel

Faculté des sciences et de la
technologie

Département de génie civil et
hydraulique

1.0

septembre 2024

Table des matières

I - Chapitre I: Généralités sur la métrologie	3
1. Définition de la métrologie	3
2. Types de Métrologie	5
3. Vocabulaire métrologique	7
4. Les institutions nationales et internationales de métrologie	10

I Chapitre I: Généralités sur la métrologie

1. Définition de la métrologie

La métrologie est la science des mesures. Elle implique les techniques et les pratiques pour obtenir des mesures précises et fiables. Celle-ci s'intéresse traditionnellement à la détermination de caractéristiques (appelées *grandeurs*) qui peuvent être fondamentales, telles que la longueur, la masse et le temps, sont indépendantes et servent de base à la définition d'autres grandeurs. Par exemple, la surface (mètre carré) et la vitesse (mètre par seconde) sont des grandeurs dérivées, calculées à partir des grandeurs fondamentales.

la métrologie implique également la compréhension et l'évaluation des incertitudes de mesure, ce qui est important pour assurer la qualité des données recueillies grâce à des processus rigoureux de calibrage et d'étalonnage, ainsi qu'au respect des normes internationales.



Les résultats des mesures servent à prendre des décisions tels que :

1. L'acceptation d'un produit (mesure de caractéristiques, de performances, conformité à une exigence) ;
2. Le réglage d'un instrument de mesure, validation d'un procédé ;
3. Le réglage d'un paramètre dans le cadre d'un contrôle d'un procédé de fabrication ;
4. La validation d'une hypothèse ;
5. La protection de l'environnement ;
6. La définition des conditions de sécurité d'un produit ou d'un système .

¶ Remarque

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

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

1-1-Importance de la métrologie

La métrologie est essentielle dans presque tous les domaines de la connaissance et de l'activité humaine. Elle englobe un large éventail de disciplines, allant de la physique à l'ingénierie, en passant par la chimie et même les sciences sociales. La précision et la fiabilité des mesures sont cruciales pour garantir la qualité des produits, la sécurité des processus industriels, et la validité des résultats scientifiques.

La métrologie est importante pour plusieurs raisons essentielles :

- **Assurer la Qualité :**

Des mesures précises et fiables sont fondamentales pour garantir la qualité des produits. Dans des secteurs comme l'industrie alimentaire ou la fabrication de dispositifs médicaux, des écarts de mesure peuvent compromettre l'intégrité du produit final. En établissant des standards de mesure, la métrologie permet de détecter les défauts et d'assurer que les produits répondent aux spécifications requises.

- **Sécurité :**

Dans des domaines sensibles tels que l'aéronautique, la santé ou l'énergie, des mesures inexactes peuvent avoir des conséquences graves. Par exemple, des erreurs dans le dosage de médicaments peuvent mettre en danger la vie des patients, tout comme des défaillances dans la mesure des composants d'un aéronef peuvent entraîner des accidents. La métrologie contribue ainsi à la sécurité des opérations et des utilisateurs en garantissant des mesures fiables.

- **Conformité aux Normes :**

Les entreprises doivent respecter des normes de mesure pour obtenir des certifications et se conformer aux réglementations. Cela est particulièrement important dans des secteurs hautement régulés, comme l'industrie pharmaceutique ou l'automobile, où la conformité aux normes internationales est essentielle pour accéder aux marchés. La métrologie légale assure que les instruments de mesure utilisés sont étalonnés et conformes aux exigences légales.

1-2-La Métrologie : Trois Activités Principales

1. La définition des unités de mesure :

Cela implique l'établissement et la normalisation des unités de mesure. Par exemple, le mètre, le kilogramme, et la seconde sont des unités fondamentales du Système international d'unités (SI). Cela permet d'avoir des références universelles.

2. L'étalonnage et la vérification des instruments de mesure :

Cette activité consiste à s'assurer que les instruments de mesure donnent des résultats précis. L'étalonnage permet de comparer un instrument à une norme établie, et la vérification confirme que l'instrument fonctionne toujours selon les spécifications.

3. La recherche et le développement de nouvelles méthodes de mesure :

Cela inclut l'amélioration des techniques existantes et le développement de nouvelles méthodes de mesure pour répondre à des besoins spécifiques, souvent dans des domaines de recherche scientifique avancée.

2. Types de Métrologie

La métrologie est divisée en trois catégories comprenant différents niveaux de complexité et d'exactitude :

2-1-Métrologie scientifique

La métrologie scientifique (appelée aussi métrologie fondamentale ou de laboratoire) , se concentre sur la définition, le maintien et l'amélioration des étalons de mesure. Elle établit les bases de la précision des mesures dans divers domaines scientifiques. Son objectif est de garantir que toutes les mesures effectuées à travers le monde soient traçables à des étalons reconnus, permettant ainsi la comparabilité des résultats entre différents laboratoires et pays.

La métrologie fondamentale vise le plus haut niveau d'exactitude possible. Cela implique l'utilisation de techniques avancées et de matériel de pointe pour obtenir des résultats de mesure très précis. Les laboratoires de métrologie scientifique sont souvent responsables de la mise à jour et de l'amélioration des standards internationaux de mesure.

Applications :

Recherche scientifique : La métrologie fondamentale est essentielle dans la recherche, où des mesures précises sont nécessaires pour valider des théories et des expériences.

Industrie : Les industries qui nécessitent des mesures précises, comme l'aéronautique, la santé et la chimie, s'appuient sur la métrologie scientifique pour garantir la qualité et la sécurité de leurs produits.



2-2- Métrologie industrielle

La métrologie industrielle est une branche de la métrologie qui se concentre sur l'application de principes de mesure dans le secteur industriel. Elle vise à :

- Assurer le fonctionnement adéquat des instruments de mesure utilisés dans l'industrie, comme dans la production et les processus d'essais.
- Garantir la qualité des produits en assurant des mesures précises tout au long du processus de fabrication.

- Optimiser les processus de production, réduire les déchets, et assurer la conformité des produits aux spécifications techniques.

Techniques de Mesure Utilisées :

- Mesure de Longueur : Utilisation de calipers, micromètres et systèmes de mesure optique.
- Mesure de Poids : Balances industrielles pour vérifier le poids des produits.
- Mesure de Température : Capteurs et thermomètres pour surveiller les conditions de production.
- Mesure de Pression et Débit : Instruments pour surveiller les systèmes hydrauliques et pneumatiques.

Applications Pratiques :

1. Fabrication : Contrôle des dimensions et des tolérances des pièces mécaniques dans la fabrication.
2. Assemblage : Vérification de l'alignement et de l'ajustement des composants dans l'assemblage de produits complexes.
3. Tests de Performance : Évaluation des performances des produits finis par des tests de durabilité, de résistance, et d'efficacité.



2-3-Métrie légal

La métrologie légale concerne les mesures qui ont des implications juridiques, notamment celles utilisées dans le commerce, la santé, l'environnement et la sécurité, elle vise à :

- Protection des Consommateurs : Garantit que les produits mesurés (comme le poids des aliments ou le volume des liquides) respectent les normes, évitant ainsi les fraudes.
- Équité Commerciale : Établit des normes communes pour que toutes les parties prenantes opèrent sur une base équitable.
- Sécurité : Dans des domaines comme la santé, des mesures précises sont cruciales pour assurer la sécurité des patients et l'efficacité des traitements.



Exemple

Les emballages que vous pouvez trouver dans les commerces sont contrôlés par l'État, que ce soient des emballages industriels (conserves, surgelés, boissons, lessives, peintures, etc.) ou des barquettes de produits frais réalisées par le détaillant. Ce contrôle est assuré par les organismes de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes.

La plupart des instruments qui peuvent être utilisés pour établir des procès-verbaux à l'encontre des automobilistes sont contrôlés : cinémomètres ("radars"), analyseurs de gaz d'échappement, opacimètres (noircisseur des fumées des véhicules diesel), éthylomètres (mesure électronique de l'alcoolémie), sonomètres (mesure du niveau de bruit). Ces instruments sont également contrôlés lorsqu'ils sont utilisés pour des usages officiels (expertises, contrôle technique des véhicules, etc.).

Quelques applications des pratiques métrologiques en génie civil

- Analyse des Matériaux : Mesure des propriétés physiques et mécaniques des matériaux (béton, acier, etc.) pour garantir qu'ils répondent aux normes de qualité.
- Tests de Résistance : Utilisation de techniques de mesure pour déterminer la résistance à la compression, à la traction, et à la flexion.
- Déplacements (ouverture de joints, entassements,...)
- Défauts et Déformations (extensométrie en surface des structures et en forage, Inclinaisons...)
- Contraintes (in situ, sur interface)
- Efforts,
- Pressions,
- Vibrations (vitesses et accélérations) ;
- Mesures de Débit et la qualité de l'Eau

3. Vocabulaire métrologique

La métrologie, en tant que science des mesures, repose sur un vocabulaire spécifique qui est essentiel pour garantir la précision et la fiabilité des résultats. Ce vocabulaire international métrologique (VIM) comprend un ensemble de termes et de définitions qui servent de référence pour comprendre les concepts fondamentaux liés à la mesure.

3-1-Métrologie

La métrologie est la science des mesures et ces applications , axée sur la précision et la fiabilité des résultats.

3-2-Matériau de référence

Substance ou échantillon dont les propriétés sont bien caractérisées et qui est utilisé pour évaluer des méthodes de mesure ou pour calibrer des instruments. Il sert de référence pour assurer la qualité et la fiabilité des mesures.

3-3-Grandeur

Propriété physique mesurable d'un objet ou d'un phénomène, qui peut être exprimée par un nombre et une unité. Exemples : la longueur, la masse et la température.

3-4-Valeur d'une grandeur

Quantité attribuée à une grandeur, qui peut être mesurée ou calculée, et qui est exprimée par un nombre associé à une unité.

La valeur d'une grandeur peut être exprimée de différentes manières, selon le type de référence utilisé :

- **Produit d'un Nombre et d'une Unité de Mesure**

Exemple : Température d'un liquide : 25,3 °C ou 298,5 K.

Pression d'un gaz : 101,3 kPa ou 1,013 bar.

- **Nombre et Référence à une Procédure de Mesure**

Exemple : Résistance électrique d'un composant : 2,5 Ω mesurée selon la méthode des 4 fils.

(la mesure a été réalisée selon une méthode spécifique pour assurer la précision).

- **Nombre et Matériau de Référence**

Exemple : Concentration de plomb dans un échantillon de sol, en utilisant le matériau de référence NIST SRM 2709 : 120 mg/kg. (Cela signifie que la mesure a été réalisée en référence à un matériau de référence bien caractérisé).

- **Nombre et Étalon**

Exemple : Teneur en matière organique d'un échantillon de sol, mesurée avec l'étalement de référence ISO 10694 : 5,6 %.

(indique que la mesure a été validée par rapport à un étalon reconnu).

- **Nombre et Condition Spécifique**

Exemple : Viscosité d'un fluide à 25 °C : 15 mPa·s mesurée selon la norme ISO 3219.

- **Nombre et Unité de Mesure avec Estimation d'Incertitude**

Exemple : Masse d'un échantillon : 15,00 ± 0,05 g.

3-5-Étalon

Référence de mesure utilisée pour établir la valeur d'autres mesures. Un étalon peut être un objet physique (comme un poids) ou une définition théorique (comme la seconde pour le temps).

Types d'étaisons :

Étalon de référence : Objet ou mesure de haute précision, souvent utilisé pour définir des unités de mesure. Par exemple, le mètre étalon conservé au Bureau international des poids et mesures (BIPM).

Étalon de travail : Utilisé pour calibrer des instruments dans des conditions normales d'utilisation. Moins précis que l'étalement de référence, il est plus pratique pour un usage quotidien.

3-6-Mesurande

Grandeur physique qui fait l'objet d'une mesure. Par exemple, lorsqu'on mesure la température d'une pièce, **la température** est la mesurande.

3-7-Mesurage

Action de déterminer la valeur d'une mesurande par comparaison avec un étalon

3-8-Méthode de mesure

Ensemble des procédures et des techniques utilisées pour effectuer un mesurage. Elle décrit comment les mesures sont prises et quelles sont les conditions à respecter.

3-9- Valeur mesurée

Résultat d'un mesurage, exprimé en valeur numérique et en unité. Elle représente la valeur obtenue lors d'une mesure spécifique.

3-10-Traçabilité

Propriété d'une mesure qui permet de relier son résultat à des étalons à travers une chaîne de comparaisons documentées.

3-11-Incertitude de mesure

Paramètre qui caractérise la dispersion des valeurs attribuées à une grandeur, reflétant ainsi la fiabilité d'une mesure.

Le résultat de la mesure (x) d'une grandeur (X) n'est pas complètement défini par un seul nombre. Il faut au moins la caractériser par un couple (x, dx) et une unité de mesure. dx est l'incertitude sur x . Les incertitudes proviennent des différentes erreurs liées à la mesure.

Ainsi, on a : $x-dx < X < x+dx$.

Exemple : 3 cm $\pm 10\%$, ou 5m $\pm 1\text{cm}$.

3-12-Calibration

Processus par lequel un instrument de mesure est comparé à un étalon pour vérifier et, si nécessaire, ajuster son exactitude.

3-13-Erreur Absolue

L'erreur absolue est la différence entre la valeur mesurée d'une grandeur et la valeur réelle ou vraie de cette grandeur. Elle est exprimée en unités de la grandeur mesurée.

Formule

$$\text{Erreur Absolue} = |\text{Valeur mesurée} - \text{Valeur réelle}|$$

Exemple : Si la température mesurée d'un liquide est de 80 °C et la température réelle est de 82 °C, l'erreur absolue est de $|80 - 82| = 2$ °C.

3-14-Erreur Relative

L'erreur relative est une mesure de l'exactitude d'une valeur mesurée par rapport à la valeur réelle ou vraie, exprimée en pourcentage. Elle permet d'évaluer la taille de l'erreur absolue par rapport à la grandeur mesurée.

Formule :

Erreur Relative=(Erreur Absolue/ Valeur réelle)×100

Exemple avec une mesure :

Valeur mesurée : 98 kg

Valeur réelle : 100 kg

Erreur absolue : $|98 - 100| = 2\text{kg}$

Erreur relative = $(2/100) \times 100 = 2\%$

3-15-*Erreur systématique*

Différence constante entre la valeur mesurée et la valeur vraie, causée par des biais dans le système de mesure.

L'erreur systématique est une erreur qui se produit de manière répétitive et prévisible lors de la mesure.

3-16-*Erreur aléatoire*

Variabilité des résultats de mesure due à des influences imprévisibles.

3-17-*Norme*

Document établi par un organisme de normalisation, qui fournit des règles, des directives ou des caractéristiques pour garantir que des matériaux, des produits, des processus et des services soient appropriés à leur but.

3-18-*Unité de mesure*

Quantité standard d'une grandeur qui sert de référence pour la mesure.

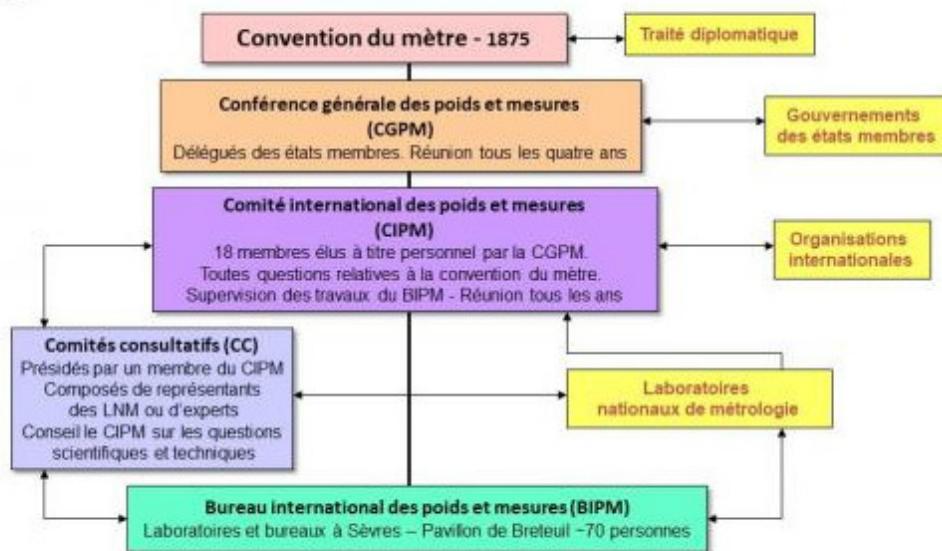
4. Les institutions nationales et internationales de métrologie

4-1-*Au niveau international*

1. **BIPM (Bureau International des Poids et Mesures)**

Créée en 1875 et basée à Sèvres, France, est responsable de l'établissement et de la maintenance du Système international d'unités (SI) et de la coordination des laboratoires nationaux de métrologie. Elle succède ainsi à *la commission internationale du mètre* mise en place en 1870.

Pour ce faire, trois structures ont été créées. la Conférence Générale des Poids et Mesures (**CGPM**), le Comité International des Poids et Mesures (**CIPM**) et le Bureau International des Poids et Mesures (**BIPM**). Ces organes ont reçu le mandat de la Convention pour agir dans le domaine de la métrologie, garantissant ainsi l'harmonisation des définitions des unités des grandeurs physiques. Grâce à leurs travaux, le Système International d'unités (SI) a été créé, offrant un cadre uniforme et reconnu internationalement pour les mesures, facilitant ainsi le commerce et la coopération scientifique à l'échelle mondiale.



2.L'OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale), fondée en 1955 à Paris, élabore des recommandations pour garantir la fiabilité des instruments de mesure utilisés dans le commerce. L'OIML joue un rôle essentiel dans l'harmonisation des exigences légales entre les pays, ce qui contribue à renforcer la confiance dans les transactions commerciales. Ses travaux facilitent l'adoption internationale des normes et améliorent la sécurité économique.

3.L'ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation), fondée en 1977, facilite la reconnaissance internationale des laboratoires d'essai et de calibration.

4.L'ISO (Organisation Internationale de Normalisation), créée en 1947, développe des normes internationales, y compris pour la métrologie, assurant qualité et sécurité des produits.

5.Les NMI (National Metrology Institutes) sont les instituts nationaux chargés de maintenir les étalons de mesure.

6.La WMO (Organisation Météorologique Mondiale), établie en 1950, coordonne les mesures dans le domaine météorologique.

7.L'IAEA (Agence Internationale de l'Énergie Atomique), fondée en 1957, promeut la sécurité dans les applications nucléaires.

8.L'EURAMET (European Association of National Metrology Institutes), créée en 2002, favorise la coopération entre les NMIs européens.

9.l'APMP (Asia-Pacific Metrology Programme), instaurée en 1993, renforce la métrologie dans la région Asie-Pacifique.

10.le GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) fournit des lignes directrices pour exprimer l'incertitude dans les mesures, garantissant ainsi la fiabilité des résultats.

4-2-Au niveau national

Histoire de la métrologie en Algérie :

Avant 1962 : Service des Poids et Mesures, chargé de contrôler les instruments de mesure utilisés dans le commerce.

1962-1980 : Service des Instruments de Mesure, rattaché aux directions de l'Industrie et de l'Énergie, visant à établir des normes de mesure post-indépendance.

1980-1986 : Sous-direction des Instruments de Mesure de Wilaya, où la gestion des instruments de mesure est décentralisée au niveau des wilayas.

1986 : Création de l'Office National de Métrologie Légale, responsable de la métrologie légale et du contrôle des instruments de mesure.

2002 : Création du Conseil National de Métrologie par décret exécutif N°02-220 du 20 juin 2002, visant à coordonner les activités métrologiques au niveau national.

4-2-1-Institutions nationales en métrologie

1. Office National de Métrologie Légale (ONML)

L'Office National de Métrologie Légale (ONML), créé en 1986, a pour mission de garantir la conformité des instruments de mesure utilisés dans le commerce. Cet organisme effectue des vérifications et des contrôles rigoureux afin de s'assurer que les équipements respectent les normes légales en vigueur. En protégeant les consommateurs contre les erreurs de mesure, l'ONML joue un rôle important dans le maintien de l'intégrité du marché et la promotion de la confiance dans les transactions commerciales.

2. Institut National de Métrologie (INM)

L'Institut National de Métrologie (INM) est l'organisme principal en Algérie chargé de la métrologie. Crée en 2001, il a pour mission de développer, maintenir et promouvoir les étalons nationaux de mesure. L'INM collabore avec d'autres institutions et laboratoires pour assurer la traçabilité des mesures aux étalons internationaux. Il participe également à des comparaisons internationales et à des projets de recherche pour améliorer les capacités métrologiques du pays.

3-Conseil National de Métrologie

Le Conseil National de Métrologie a été établi en 2002 pour coordonner les activités métrologiques à l'échelle nationale. Sa création répond à la nécessité d'une approche cohérente et harmonisée dans la mise en œuvre des normes métrologiques en Algérie. Le conseil a pour rôle d'élaborer des politiques et des stratégies qui favorisent le développement d'une métrologie efficace, contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité des produits et services dans le pays.

4. Laboratoire National de Métrologie Légale (LNML)

Le LNML est une division de l'INM qui se concentre spécifiquement sur la métrologie légale. Son rôle est de garantir la conformité des instruments de mesure utilisés dans le commerce et les transactions. Il effectue des vérifications et des contrôles sur les équipements de mesure pour s'assurer qu'ils respectent les normes et réglementations en vigueur.

5. Ministère de l'Industrie et des Mines

Ce ministère supervise l'ensemble des activités industrielles en Algérie, y compris les aspects liés à la métrologie. Il travaille en collaboration avec l'INM pour promouvoir l'importance de la métrologie dans l'industrie et pour garantir la qualité des produits fabriqués.

6. Institut Algérien de Normalisation (IAN)

L'IAN est chargé de l'élaboration et de la mise en œuvre des normes nationales. Bien qu'il ne soit pas exclusivement axé sur la métrologie, il collabore avec l'INM pour établir des normes de mesure qui répondent aux exigences nationales et internationales.

7. Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-Chimiques (CRAPC)

Bien qu'il ne soit pas exclusivement un institut de métrologie, le CRAPC joue un rôle important dans le développement de méthodes de mesure et l'analyse des matériaux. Il collabore avec l'INM pour établir des références et des méthodes d'analyse, contribuant ainsi à l'amélioration des pratiques métrologiques en Algérie.