

**Institut de Formation et de Recherche  
Interdisciplinaires en Sciences de la Santé et de  
l'Éducation**

**IFRISSE**

# **METROLOGIE**

**Enseignant: M SOUGUE F A Isaac**  
**Ingénieur métrologue instrumentation**



**PLAN**



Définitions et histoires



Domaines de la  
métrologie



Les types de métrologie



Organisation de la métrologie



Outils et concepts de la métrologie



Les référentiels en métrologie



## Définition et histoire

# Définition

- **Que faites-vous dans la vie ? Cette question très simple, à laquelle chacun d'entre nous est soumis des dizaines de fois par an peut très vite se révéler complexe lorsque l'on est... métrologue. En effet, dire en soirée, en famille ou avec des amis : « *je suis métrologue, je fais de la métrologie* » conduit dans 99 cas sur 100 à avoir comme réaction : « *c'est quoi cela ?* » suivi de « *Ah oui, tu travailles à la météo ?* » ou bien « *tu es donc géologue dans le métro ?* ».**

# Définition

- **Le dictionnaire ne nous aide pas non plus : « science des mesures », ce n'est pas par cette voie que l'on pourra être inspiré pour expliquer à nos proches en quoi consiste notre métier.**
- **Le plus simple consiste alors à prendre un exemple du quotidien, quelque chose qui va toucher tout le monde : « *lorsque tu fais ton plein d'essence à la station-service, t'es tu déjà posé la question de savoir si la quantité d'hydrocarbure que tu mets dans ta voiture correspond à celle indiquée sur le compteur de la pompe ?* » Cette question élémentaire pour un métrologue perturbe la plupart de nos concitoyens qui répondent souvent à cette question :**

# Définition

- **« *bah, je ne m'étais jamais posé cette question...Parce que cela peut être faux ?* »** Le simple fait que la plupart des personnes qui nous entourent ne remettent que rarement en question la mesure démontre combien la métrologie d'état (la métrologie légale) remplit bien son rôle : elle apporte la confiance sur le résultat de mesure. Effectivement, si l'on devait donner un synonyme au mot métrologie, on pourrait donner celui de confiance.

# Définition

- **Métrologie = confiance**
- **Notre métrologue d'entreprise a donc pour tâche de mettre en place un système qui apporte la confiance dans la mesure. Un système qui permet de dire à l'utilisateur « *tu peux utiliser ce résultat en toute confiance, n'aie pas peur* ». Cela voudrait donc dire que lorsqu'il n'y pas de métrologie, il n'y a pas de confiance ?**



# Définition

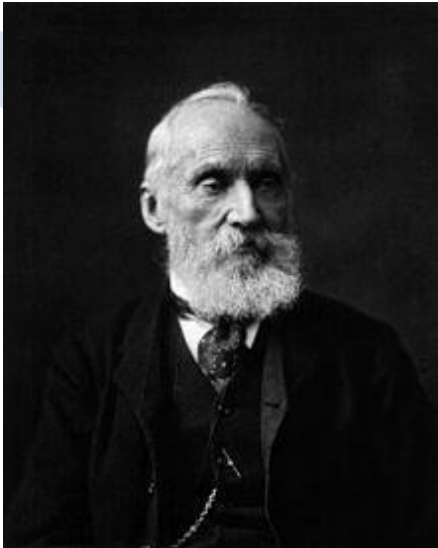
- Ce n'est pas si simple qu'un choix binaire :

**métrologie = confiance, pas de métrologie = absence de confiance. En effet, on observera tout au long de ce cours que les méthodes pour apporter la confiance dans la mesure se construisent, s'évaluent et se modifient en fonction de l'enjeu, du risque associé à la mesure. Il y'aura donc plusieurs manières de faire de la métrologie et en fonction du besoin de l'utilisateur, des méthodes employées, la confiance dans le résultat de mesure sera plus ou moins grande.**

# Définition

- **C'est à partir de résultat de mesure que tout organisme, chaque jour prend des décisions relatives à ces produits, ces processus, ...**
- **La Métrologie : un acteur centrale dans l'économie mondiale**
- **La métrologie : une science d'aujourd'hui au service de l'industrie, du commerce et de la société (santé, environnement) Sans mesure, pas de décision et pas d'indicateur. Sans qualité de la mesure, pas de pertinence quant aux décisions prises et aux informations disponibles**

# Définition



**KELVIN, Lord William  
THOMSON  
( 1824 - 1907 ) Physicien  
Britannique**

**Si vous pouvez mesurer ce dont vous parlez et l'exprimer par un nombre, vous savez quelque chose de votre sujet; mais si vous ne pouvez pas le mesurer, si vous ne pouvez pas l'exprimer par un nombre, vos connaissances sont d'une bien pauvre espèce et bien peu satisfaisantes**

# Définition

**La métrologie est un élément essentiel de la qualité. Elle est un pilier au même titre que la normalisation et la certification.**

**Actuellement, une entreprise ne se contente plus de fabriquer le meilleur produit, elle veut maîtriser le niveau de qualité du produit et ainsi pouvoir le garantir à ses clients. Et afin de répondre aux exigences des clients, les instruments de mesure doivent être maîtrisés suivant les normes ISO9001 et ISO10012.**

# Définition

**Les résultats des mesures servent à prendre des décisions dans de nombreux domaines:**

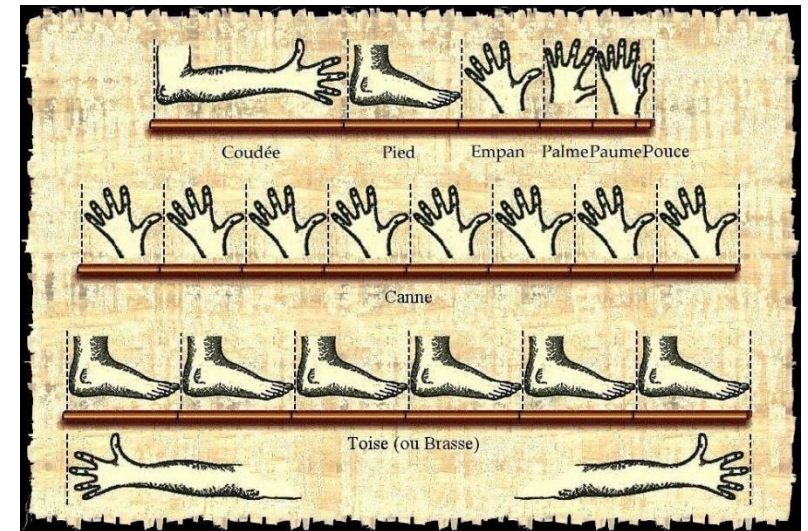
- acceptation d'un produit (mesure de caractéristiques, de performances, conformité à une exigence),**
- Réglage d'un instrument de mesure, validation d'un procédé,**
- Réglage d'un paramètre dans le cadre d'un contrôle d'un procédé de fabrication**
- Validation d'une hypothèse scientifique,**
- Protection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

# Histoire

Jusqu'au XVIIIème siècle, il n'existait aucun système de mesure unifié. Cette situation était propice aux fraudes, à des erreurs et nuisait au développement des Sciences.

1750 : existence de plus de 700 unités de mesure en France. Bon nombre de ces mesures étaient empruntées à la:

Morphologie humaine : la coudée, le pied, la toise,...



# Histoire

## Aux aptitudes humaines

- **journal, ouvrée** (surface qu'une charrue pouvait labourer, ou qu'un homme pouvait travailler, ou la quantité de pré qu'il pouvait faucher, etc. en une journée) environ 32 ares
- **hommée** : superficie de vigne travaillée par un homme/jour
- **galopin** : (quantité de vin bue pendant un repas ...)
- **arpent**: (du gaulois « arepenn », portée de flèche) de 31 à 52 ares
- **verge** : (du préceltique vège, « champ plat » ; vergée, ancienne mesure agraire qui valait 40 perches ; verger : « terrain mesuré à la verge ») surface : 1/4 d'arpent, soit 1 276 m<sup>2</sup> et longueur : 3 pieds.

# Histoire

## À des facteurs naturels

- Le **picotin** (ration d'avoine d'un cheval soit 3,2 L)
- L'**aune** (instaurée par un Edit Royal de François 1er), se divisant en demis, tiers,



# Histoire

**16 février 1791**, une commission est créée, chargée de fixer la base de l'unité de mesure, composée de

Borda, Concorde, Laplace, Lagrange, Monge

**Le 26 mars 1791** naissait le mètre, nom donné par Borda, « unité qui dans sa détermination, ne renfermait rien d'arbitraire ni de particulier à la situation d'aucun peuple sur le globe » : dix millionième partie du quart du méridien terrestre.

Il ne restait plus qu'à établir la longueur exacte du méridien ... Ce fut l'œuvre de deux hommes qui y travaillèrent de **1792 à 1798**, de Dunkerque à Barcelone, procédant par triangulation



Pierre-François MECHAIN  
(1744-1804)



Jean-Baptiste Joseph DELAMBRE  
(1747 - 1822)

# Histoire

- **7 avril 1795** : Le système métrique décimal est institué, loi « relative aux poids et aux mesures » ;

c'était une véritable révolution dans les calculs de surface et de volume

□ **22 juin 1799** : les étalons prototypes du mètre (et du kilogramme) sont présentés au corps législatif et déposés aux Archives de la République dans une armoire de fer où ils sont toujours conservés, dédiés « à tous les hommes et à tous les temps ».

❖ **En 1872**, une commission formée de délégués de 24 gouvernements, adopta le principe de déduire la longueur du nouveau prototype à traits du mètre de celle de la règle déposée aux Archives.

# Histoire

- **En 1875**, lors de la conférence diplomatique du mètre, est créé le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) qui aboutit le 20 mai 1875 à la Convention du mètre.
- **En 1872**, une commission formée de délégués de 24 gouvernements, adopta le principe de déduire la longueur du nouveau prototype à traits du mètre de celle de la règle déposée aux Archives.
- ✓ **En 1875**, lors de la conférence diplomatique du mètre, est créé le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) qui aboutit le 20 mai 1875 à la Convention du mètre.
- o Le système métrique International (SI), successeur du système métrique, est officiellement né en 1960. Ce système permet de rapporter toutes les unités de mesure à un petit nombre d'étalons fondamentaux, et d'améliorer sans cesse leur définition, avec le support des laboratoires nationaux.





# Domaines de la métrologie

# Domaines de la métrologie

## 1. Mesurer c'est comparer

**Mesurer c'est comparer une grandeur inconnue à une grandeur de même nature prise comme référence.**

**Toute comparaison implique donc :**

- **une grandeur inconnue, que l'on appellera mesurande et que l'on souhaite mesurer ;**
- **un comparateur : l'instrument de mesure ;**
- **une référence, l'unité de mesure par exemple.**



# Domaines de la métrologie

## 1. Mesurer c'est comparer

Mesurande (solution aqueuse)



Instrument de mesure pH mètre

Référence

# Domaines de la métrologie

## 1. Mesurer c'est comparer

Nous allons donc mesurer des grandeurs, mais qu'est-ce qu'une grandeur, le **VIM** nous dit qu'une grandeur c'est la propriété :

- d'un phénomène ;
- d'un corps ;
- d'une substance.

Que l'on peut exprimer quantitativement sous forme d'un nombre et d'une référence.

**Grandeur = Nombre x Référence**

# Domaines de la métrologie

## 1. Mesurer c'est comparer

Par exemple, si je veux mesurer la dimension d'une échelle, la grandeur sera la longueur et je l'exprimerai de la façon suivante : **L = 3,4 m**

- **L** est le symbole de la grandeur "Longueur" ;
- **3,4** est la valeur numérique de la grandeur ;
- **m** est le symbole de la référence, et dans ce cas la référence est l'unité de longueur, le mètre dont le symbole est m.

Il existe de très nombreuses grandeurs, la masse, la résistance électrique, le nombre volumique d'érythrocytes dans un spécimen de sang, la concentration en quantité de matière d'éthanol dans un échantillon de vin...



# Domaines de la métrologie

## 2. Grandeur et mesurande

La grandeur que l'on veut mesurer, s'appelle le mesurande. Mais il faut prêter une grande attention aux conditions d'observation de ce mesurande, par exemple, il faut souvent préciser la température à laquelle se trouve l'objet mesuré.

Par exemple, si vous mesurez, la longueur d'une pièce mécanique en alliage léger, il faut préciser la température à laquelle se trouve la pièce, en effet sous l'effet de la dilatation, la valeur de la longueur évolue avec la température. Si la température, n'est pas précisée dans la définition du mesurande, il subsistera un "flou" qui est générateur d'incompréhension et nous le verrons plus tard d'incertitude.

D'une manière générale, plus votre système d'observation : l'instrument de mesure, est "précis", plus les conditions d'observations et la définition du mesurande devront être précises.

# Domaines de la métrologie

## 2. Grandeur et mesurande

Restons avec l'exemple d'une pièce mécanique un peu plus spécifique, par exemple, une cale étalon. Pour une cale étalon, les instruments d'étalonnage ont des incertitudes de l'ordre de  $0,01 \mu\text{m}$  et dans ce cas, la position de la cale par rapport à la gravité a une importance, car en position verticale, la cale est plus "courte" qu'en position "horizontale" ; en effet sous son propre poids elle se "tasse". Donc plus le système d'observation est "fin" plus nous devons définir précisément les conditions d'observation du mesurande.

# Domaines de la métrologie

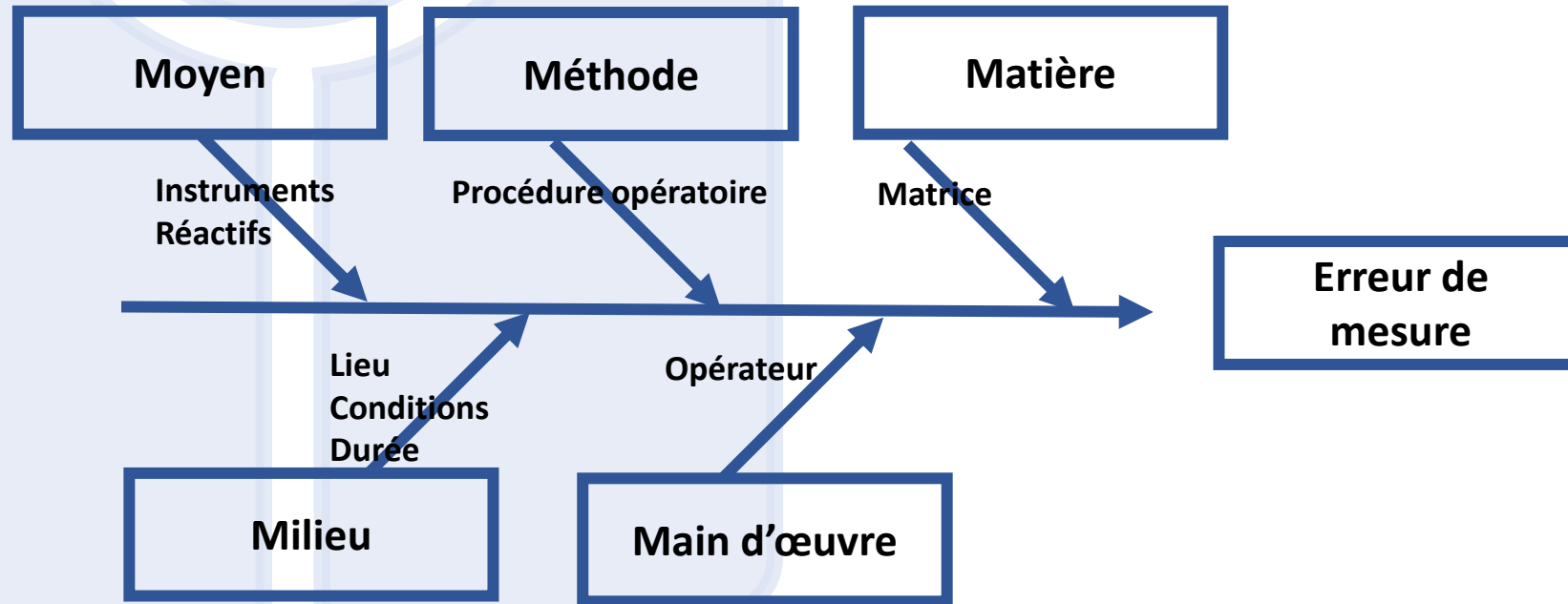
## 3. Mesurage et processus de mesure

Le résultat d'une mesure n'est pas le fruit uniquement d'un instrument de mesure, mais d'un processus complet qui implique :

- l'instrument de mesure et les étalons utilisés ;
- la méthode de mesure ;
- le milieu : l'environnement de la mesure (température, pression atmosphérique...);
- la main d'œuvre : le rôle des opérateurs ;
- la matière (l'objet mesuré).

# Domaines de la métrologie

## 3. Mesurage et processus de mesure



# Domaines de la métrologie

## 4. Qu'est-ce qu'une référence métrologique

Nous venons de voir que l'on exprimait une grandeur sous la forme : **Grandeur = Nombre x**

### **Référence**

Il existe différents types de références :

- une unité de mesure ;
- une procédure de mesure ;
- un matériau de référence.

# Domaines de la métrologie

## 4. Qu'est-ce qu'une référence métrologique

### 4.1. Référence métrologique : unité de mesure

Une unité c'est une grandeur, définie et adoptée par convention, à laquelle on peut comparer toute autre grandeur de même nature pour exprimer le rapport de deux grandeurs sous la forme d'un nombre. **Grandeur / Unité = Nombre**

# Domaines de la métrologie

## 4. Qu'est-ce qu'une référence métrologique

### 4.1.1. Le Système International de grandeurs (ISG)

Le système repose sur la définition de 7 grandeurs de base : longueur, masse, temps, courant électrique, température thermodynamique, quantité de matière, intensité lumineuse.

Les grandeurs dérivées sont formées à partir des 7 grandeurs de base. Par exemple, la grandeur Force est le produit d'une masse par une longueur, divisé par la grandeur temps au carré. En utilisant les symboles des différentes grandeurs on pourra écrire :  **$F = MLT^{-2}$**

# Domaines de la métrologie

## 4. Qu'est-ce qu'une référence métrologique

### 4.1.2. Système International d'unité (SI)

Les unités de base sont définies pour les 7 grandeurs de base, elles ont un nom et un symbole:

Grandeur de base		Unité de base du SI		
Nom	Symbole	Nom	Symbole	Exemple
Longueur	L	mètre	m	Barre transversale d'un but de football : 2,44 m
Masse	M	kilogramm e	kg	1 baguette de pain : 0,250 kg
Temps	T	seconde	s	Temps entre 2 battements du cœur : environ 0,8 s
Courant électrique	I	Ampère	A	Sèche-cheveux : environ 10 A
Température thermodynamiqu e	$\theta$	Kelvin	K	Corps humain : environ 310 K
Quantité de matière	N	mole	mol	Dans une tasse à café remplie d'eau: environ 6 mol
Intensité lumineuse	J	candela	cd	Bougie : environ 1 cd



# Domaines de la métrologie

## 4. Qu'est-ce qu'une référence métrologique

Les unités dérivées sont définies à partir des 7 unités de base. Par exemple l'unité de force est le Newton c'est le produit d'un kilo- gramme que multiplie le mètre et que divise la seconde au carré.

Certaines unités dérivées prennent des noms particuliers par exemple la force avec le Newton (N) ou la pression avec le Pascal (Pa).

Pour former les multiples et les sous-multiples des unités de base ou dérivées on utilise des préfixes, les principaux préfixes sont :

$$N = kg \times m \times s^{-2}$$

Facteur	Nom	Symbole
10 <sup>12</sup>	Téra	T
10 <sup>9</sup>	giga	G
10 <sup>6</sup>	méga	M
10 <sup>3</sup>	kilo	K
10 <sup>2</sup>	hecto	H
10 <sup>1</sup>	deca	da
10 <sup>-1</sup>	déci	d
10 <sup>-2</sup>	centi	c
10 <sup>-3</sup>	milli	m
10 <sup>-6</sup>	micro	μ
10 <sup>-9</sup>	nano	n
10 <sup>-12</sup>	pico	p

# Domaines de la métrologie

## 4. Qu'est-ce qu'une référence métrologique

### 4.2. Référence métrologique : procédure de mesure

Il existe des grandeurs et des unités qui ne sont pas définies dans le SI, mais dont la référence est définie par une procédure de mesure. C'est par exemple le cas de la dureté C Rockwell.

Si l'on a mesuré une dureté en utilisant cette procédure, le résultat s'exprimera en plaçant après la valeur numérique le symbole de la procédure HRC, **Par exemple Dureté C Rockwell : 43,5 HRC.**

# Domaines de la métrologie

## 4. Qu'est-ce qu'une référence métrologique

### 4.3. Référence métrologique : matériau de référence

Certaines grandeurs ne sont pas "traçables" aux unités du système international (SI).

Pour certaines analyses de biologie médicale, par convention, on définira la concentration d'un composé dans un matériau. Par exemple l'OMS Organisation Mondiale pour la Santé (WHO) définit une référence pour les analyses d'HCG : Human Chorionic Gonadotropin.

# Domaines de la métrologie

## 4. Ce qu'il faut retenir

Mesurer c'est comparer une grandeur inconnue à une référence dont la traçabilité est établie dans le cadre du Système International d'unité ou d'une procédure ou d'un matériau de référence reconnus.

Une grandeur s'exprime par le produit d'un nombre et d'une référence.  
La référence peut-être une unité, une procédure, un matériau de référence.

**Pour en savoir plus sur le Système International d'unités**

Sur le site du Bureau International des Poids et Mesure, vous trouverez la brochure du SI

[http://www.bipm.org/fr/si/si\\_brochure/general.html](http://www.bipm.org/fr/si/si_brochure/general.html)

# Domaines de la métrologie

## Masse et grandeurs apparentées(MGA)

- la masse ;
- la force ;
- le couple ;
- le volume\* ;
- la masse volumique ;
- la pression ;
- la viscosité(\*) ;
- le débit\* ;
- l'accélération\* ;
- la vitesse d'air\* ;
- la pression acoustique.

## Longueur et grandeurs dimensionnelles

- La longueur d'onde
- Les grandeurs dimensionnelles
  - les instruments à côtes fixes (étalons à bouts, étalons à traits, calibres, ...)
  - les instruments à côtes variables (pieds à coulisse, micromètres, comparateurs, ...).
- ✓ **Des mesures de longueurs**
- ✓ **Des mesures de formes**
- ✓ **Des mesures d'angles.**

# Domaines de la métrologie

## Température et grandeurs thermiques

- Température
- Humidité
- Propriétés thermophysiques et thermoradiatives des matériaux

## Temps et fréquences

- Métrologie des fréquences
- Les échelles de temps

## Rayonnements optiques

- **La photométrie** est le domaine de la métrologie qui permet d'exprimer l'impression visuelle à partir de mesures physiques
- **La radiométrie** est le domaine des mesures physiques du rayonnement optique

## Rayonnements ionisants

- Radioactivité
- Dosimétrie

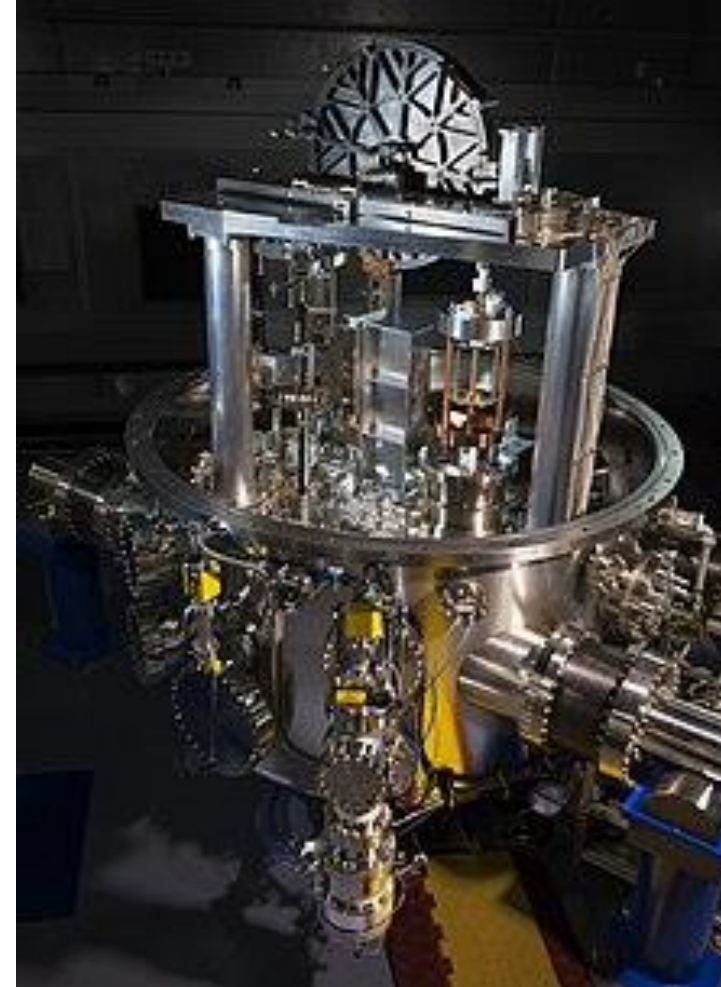


# Les types de métrologie

# Les types de métrologie

## Métrologie scientifique ou fondamentale

- Son rôle est d'assurer la réalisation d'étalon de haut niveau métrologique conformément aux définitions du système international d'unité
- Ce domaine comporte une part importante de recherche fondamentale appliquée vers la réalisation et l'amélioration de techniques de mesure et d'étalons





# Les types de métrologie

## Métrologie industriel

- Son rôle est de garantir la confiance dans les résultats de mesure utilisés pour concevoir, analyser, maintenir un processus de fabrication.
- La méthode industrielle a une approche « produit » des choses, les EMT (Erreur Maximum Tolérée), périodicité, points de contrôle, procédures, étiquetages sont de la responsabilité de l'entreprise
- La validité et la justification des choix dans ces domaines doit être démontrées
- La maîtrise des processus de mesure (métrologie) est une action incontournable dans une démarche qualité type ISO 9001 ou équivalent



# Les types de métrologie

## Métrologie légale

- La métrologie légale est avant tout de la métrologie dont les règles du jeu (EMT, périodicité, mise en service) ont été fixées par l'État
- Le but de la métrologie légale est de protéger le citoyen lorsque ce dernier est concerné à titre judiciaire, commercial, environnemental... par un mesurage.
- La métrologie légale ne s'applique pas qu'aux individus mais aussi aux entreprises ou administrations



# Organisation de la métrologie

# Organisation de la métrologie

**Métrologie**





# Outils et concepts de la métrologie

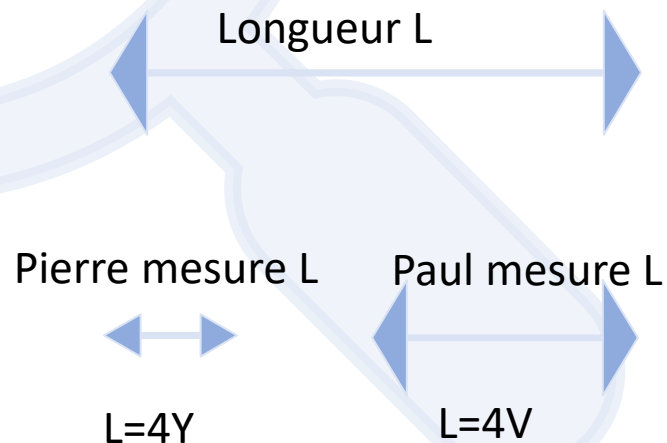
# Outils et concepts de la métrologie

## 1. Traçabilité métrologique

Tout processus de mesure implique de disposer d'une référence.

### 1.1. Que se passerait-il si nous n'utilisions pas des références communes ?

Imaginons que Pierre et Paul doivent mesurer la même longueur  $L$ . Pierre dispose d'une unité de mesure de longueur  $Y$  et Paul de son côté, dispose d'une unité de mesure  $V$ .  $Y$  et  $V$  sont différentes.



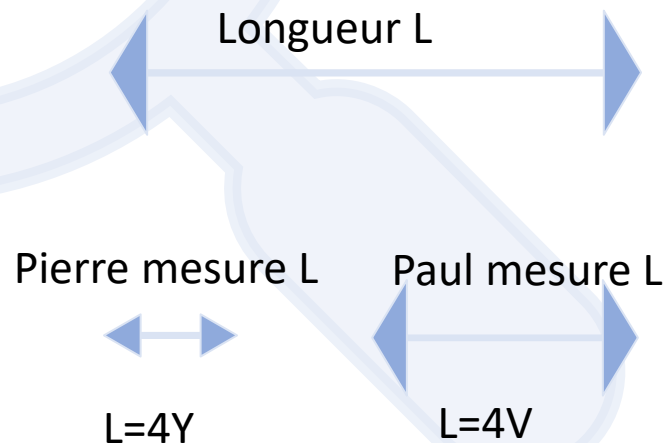
# Outils et concepts de la métrologie

## 1. Traçabilité métrologique

Tout processus de mesure implique de disposer d'une référence.

### 1.1. Que se passerait-il si nous n'utilisions pas des références communes ?

Imaginons que Pierre et Paul doivent mesurer la même longueur  $L$ . Pierre dispose d'une unité de mesure de longueur  $Y$  et Paul de son côté, dispose d'une unité de mesure  $V$ .  $Y$  et  $V$  sont différentes.



# Outils et concepts de la métrologie

## 1. Traçabilité métrologique

### 1.2. Que se passerait-il si les références métrologiques évoluaient dans le temps ?

Réfléchissons ensemble à la question suivante :

Comment être certain que la température de la terre se réchauffe si nos références de température ne sont pas stables et constantes dans le temps ?

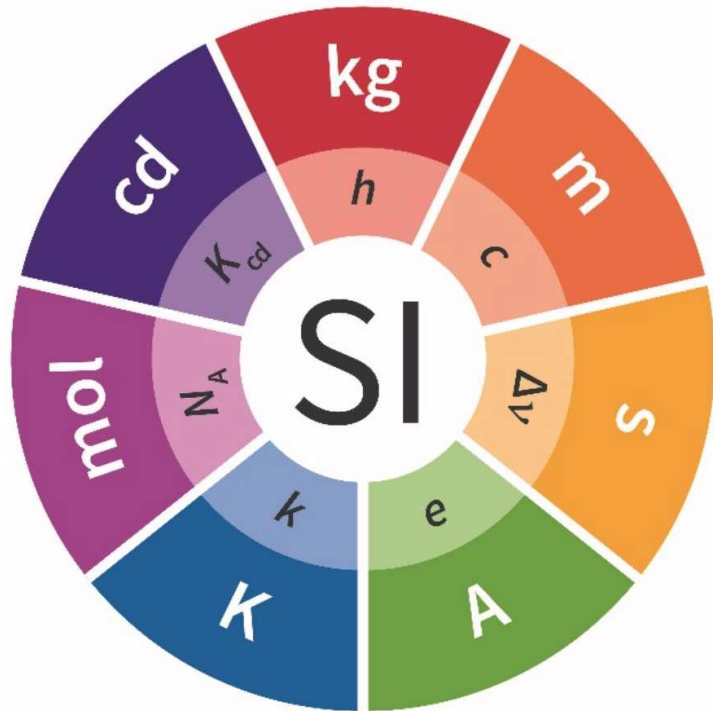
Sans références métrologiques stables dans le temps, impossible de comparer des résultats de mesure obtenus à des instants différents.

Nous venons de voir que les références métrologiques et la traçabilité permettraient d'assurer une cohérence des mesures dans "l'espace et dans le temps".



# Outils et concepts de la métrologie

## 1. Traçabilité métrologique



Constante	Symbole	Valeur numérique exacte	Définition de l'unité du SI
Fréquence de transition entre les deux niveaux de l'atome de césium	$\Delta\nu_{Cs}$	9 192 631 770 Hz (avec Hz = s <sup>-1</sup> )	La seconde (s) est définie en fixant la valeur de $\Delta\nu_{Cs}$ exprimée en s <sup>-1</sup>
Vitesse de la lumière dans le vide	$c$	299 792 458 m/s	A partir de la seconde, le mètre (m) est défini en fixant la valeur de $c$ exprimée en m s <sup>-1</sup>
Constante de Planck	$h$	$6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ J s (avec J = m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> )	A partir de la seconde et du mètre, le kilogramme (kg) est défini en fixant la valeur de $h$ exprimée en kg m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
Charge élémentaire	$e$	$1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ C (avec C = A s)	A partir de la seconde, l'ampère (A) est défini en fixant la valeur de $e$ exprimée en A s
Constante de Boltzmann	$k$	$1,380\ 649 \times 10^{-23}$ J/K (avec J = m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> )	A partir de la seconde, du mètre et du kilogramme, le kelvin (K) est défini en fixant la valeur de $k$ exprimée en K <sup>-1</sup> kg m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
Constante d'Avogadro	$N_A$	$6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ mol <sup>-1</sup>	La mole (mol) est définie en fixant la valeur de $N_A$ exprimée en mol <sup>-1</sup>
Rendement lumineux d'une radiation monochromatique de fréquence 540.10 <sup>12</sup> Hz	$K_{cd}$	683 lm/W (avec lm = cd m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> = cd sr et W = m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> )	A partir de la seconde, du mètre et du kilogramme, la candela (Cd) est définie en fixant la valeur de $K_{cd}$ exprimée en cd sr kg <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> s <sup>3</sup>

# Outils et concepts de la métrologie

## 1. Traçabilité métrologique

En résumé, quelles sont les caractéristiques d'une référence métrologique ?

Être commune entre différents utilisateurs ;

être stable dans le temps ;

et nous rajouterons une troisième caractéristique que nous allons développer maintenant : être accessible facilement.

# Outils et concepts de la métrologie

## 1. Traçabilité métrologique

Nous avons vu que si nous voulons comparer nos résultats de mesure, si nous voulons pouvoir assembler les montages mécaniques, si nous voulons assurer l'interchangeabilité des pièces il faut des références communes.

Mais comment y accéder ? La réponse est dans la chaîne de traçabilité qui est illustrée par le schéma suivant :

# Outils et concepts de la métrologie

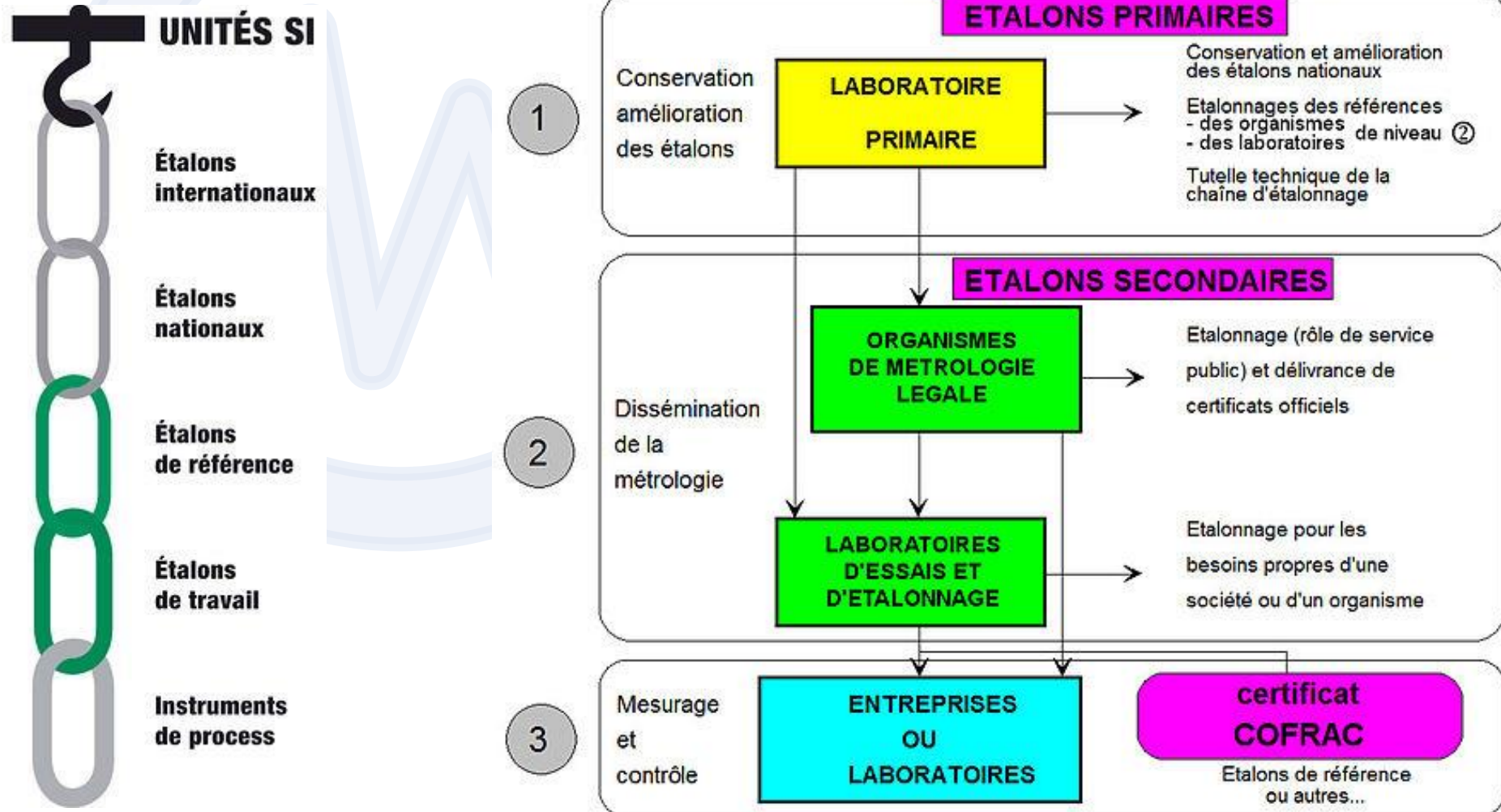
## 1. Traçabilité métrologique

Nous avons vu que si nous voulons comparer nos résultats de mesure, si nous voulons pouvoir assembler les montages mécaniques, si nous voulons assurer l'interchangeabilité des pièces il faut des références communes.

Mais comment y accéder ? La réponse est dans la chaîne de traçabilité qui est illustrée par le schéma suivant :

# Outils et concepts de la métrologie

## 1. Traçabilité métrologique



# Outils et concepts de la métrologie

## 1. Traçabilité métrologique

Envoyer votre instrument pour étalonnage dans un laboratoire. Par exemple si vous envoyez votre instrument dans un laboratoire d'étalonnage accrédité (selon ISO/CEI 17025) par le Cofrac, alors votre traçabilité sera établie. Des informations sur les laboratoires accrédités sont disponibles sur le site du Cofrac. Le Cofrac est l'organisme Français d'accréditation où le SOAC pour ce qui est du contexte du Burkina Faso.

Vous pouvez étalonner vous même votre instrument à condition que vous disposiez d'un étalon qui lui-même devra être étalonné dans un laboratoire accrédité.

# Outils et concepts de la métrologie

## 1. Traçabilité métrologique

Envoyer votre instrument pour étalonnage dans un laboratoire. Par exemple si vous envoyez votre instrument dans un laboratoire d'étalonnage accrédité (selon ISO/CEI 17025) par le Cofrac, alors votre traçabilité sera établie. Des informations sur les laboratoires accrédités sont disponibles sur le site du Cofrac. Le Cofrac est l'organisme Français d'accréditation où le SOAC pour ce qui est du contexte du Burkina Faso.

Vous pouvez étalonner vous même votre instrument à condition que vous disposiez d'un étalon qui lui-même devra être étalonné dans un laboratoire accrédité.

# Outils et concepts de la métrologie

## 2. Comprendre le concept d'incertitude

**Pour aborder le concept d'incertitude, commençons par une question simple : 12 est-il différent de 13 ?**

**Le "mathématicien"** répond oui sans hésitation car le nombre 12 est bien différent du nombre 13.

**Le « opérateur »** lui, n'est pas dans un univers mathématique, dans un monde parfait mais dans l'expérimentation. La question devient donc : est-ce que le résultat 12 est différent du résultat 13 ?



# Outils et concepts de la métrologie

## 2. Comprendre le concept d'incertitude

*Quand on passe des mathématiques à la technique, le résultat "12" ou "13" tient compte de tout le processus de mesure mis en œuvre pour y arriver à cette valeur.*

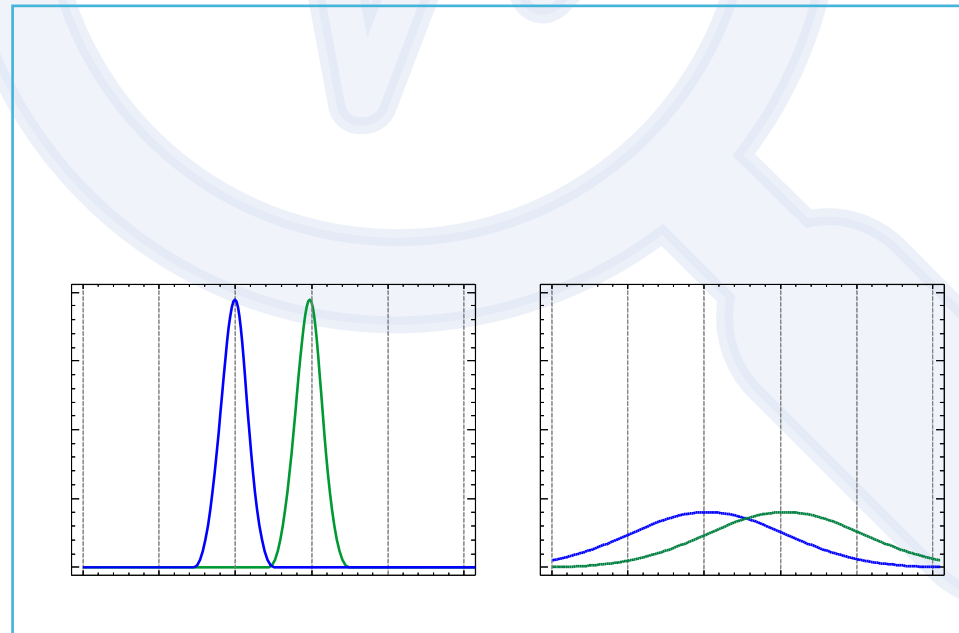
*Pour ne citer que quelques éléments du processus, interviennent : l'instrument de mesure et sa résolution, la méthode de mesure mise en œuvre, l'environnement, les compétences de l'opérateur...*

Tous ces éléments entraînent ce que l'on nomme **une incertitude** sur les résultats de mesure. Cette incertitude, il est nécessaire de l'estimer pour pouvoir comparer des valeurs entre elles ou à une spécification.

# Outils et concepts de la métrologie

## 2. Comprendre le concept d'incertitude

Reprenons l'exemple ci-dessus avec l'appui de la figure 1 :



Supposons que 12 et 13 soient connus à  $\pm 0,4$ , ce qui est noté  $U = 0,4$ . Si de plus on fait l'hypothèse, réaliste, que chaque résultat de mesure suit une loi normale, On obtient la Représentation graphique de gauche. Les 2 courbes de distribution sont très distinctes, elles ne se croisent que sur une petite surface. Le risque de confondre 12 avec 13 est faible. Donc à la question, 12 est-il différent de 13, on répond oui avec une incertitude élargie de 0,4.

# Outils et concepts de la métrologie

## 2. Comprendre le concept d'incertitude

Supposons maintenant que 12 et 13 soient connus à  $\pm 2$ , ce qui est noté  $U = 2$ , on obtient la représentation graphique de droite où l'on voit les 2 courbes de distribution se superposer sur une surface importante.

Le risque de confondre 12 avec 13 est très grand quand j'ai  $12 \pm 2$  et  $13 \pm 2$ .

Cette fois-ci, à la question 12 est-il différent de 13, on répond non, ou plus exactement, 12 n'est pas significativement différent de 13 vu l'incertitude que j'ai sur l'obtention des valeurs 12 et 13.

L'incertitude de mesure permet de comparer des résultats de mesure entre eux ou à des limites.

La méthode de référence universelle (reconnue internationalement et pour tous les domaines) d'évaluation d'incertitude est détaillée dans un document connu sous l'acronyme "GUM" *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* publié en 1995

# Outils et concepts de la métrologie

## 2. Comprendre le concept d'incertitude

### Extrait du GUM (NF ENV 13005)

"Lorsque l'on rend compte du résultat de mesurage d'une grandeur physique, il faut obligatoirement donner une indication quantitative sur la qualité du résultat pour que ceux qui l'utiliseront puissent en estimer sa **fiabilité**. **En l'absence d'une telle indication, les résultats de mesure ne peuvent pas être comparés, soit entre eux, soit par rapport à des valeurs de référence...**"

# Outils et concepts de la métrologie

## 2. Comprendre le concept d'incertitude

Après avoir introduit le concept d'incertitude (pourquoi elle existe et pourquoi il faut l'estimer), continuons avec la définition de résultat de mesure issue du VIM (vocabulaire international de métrologie).

### Extrait du VIM

**Un résultat de mesure est un ensemble de valeurs attribuées à un mesurande,** complété par toute information pertinente disponible.

Un résultat de mesure, a longtemps été considéré comme une valeur unique, un simple point. Puis avec la publication du GUM en 1995, on a pris conscience de la l'incertitude de mesure et exprimé généralement un résultat de mesure par une valeur mesurée et une incertitude de mesure. Notons que le concept d'incertitude existait bien avant le GUM, mais était moins connu.

# Outils et concepts de la métrologie

## 2. Comprendre le concept d'incertitude

En 2008, dans le VIM, est écrit qu'un résultat de mesure peut s'exprimer sous forme d'une fonction de densité de probabilité. Une nouvelle ère est franchie avec les simulations numériques pour estimer les distributions des résultats de mesure. La figure 2 illustre l'évolution de représentation d'un résultat de mesure :

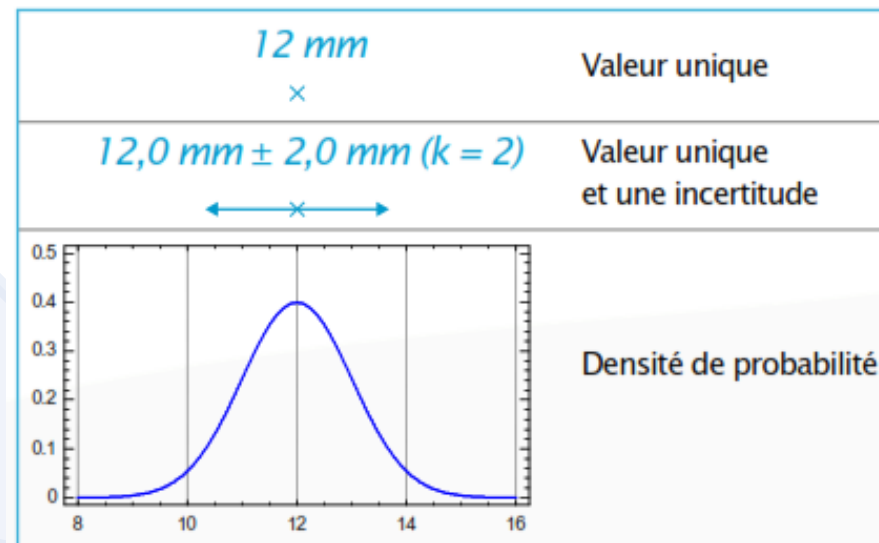


Figure 2 : Évolution de la représentation d'un résultat de mesure

# Outils et concepts de la métrologie

## 3. Étalons, étalonnage, vérification et ajustage

Pour s'assurer qu'une méthode de mesure fournit une méthode de mesurage entachée d'une erreur de mesure la plus faible possible, il est indispensable:

- De disposer d'un ou de plusieurs instruments adaptés à la mesure de la grandeur voulue
- De faire en sorte que ces instruments soient installés et mis en service correctement
- D'étalonner régulièrement ses instruments
- D'étalonner la procédure de mesure si nécessaire
- D'effectuer des vérification entre deux périodes d'étalonnage

# Outils et concepts de la métrologie

## 3.1. Étalons

### 3.1.1 Définition

Un étalon est un objet créé pour obtenir une valeur déterminée d'une grandeur donnée; cette grandeur est associée à une incertitude type de mesure et elle est utilisée comme référence.

L'incertitude associée est généralement faible.

Un étalon est toujours accompagné d'un certificat d'étalonnage indiquant sa valeur conventionnelle et l'incertitude associée.

### 3.1.2 exemple d'étalons



Certificat d'étalonnage n° xxxx-xxx-xxx				
Résultat d'étalonnage				
Masse nominale	marquage	Masse conventionnelle	incertitude $\pm$	opérateur
100 mg		100,001 mg	5 $\mu$ g	xxxxx
Étalonnage du xx/xx/xxxx		l'incertitude mentionnée est une incertitude élargie correspondant à deux fois l'incertitude type		



# Outils et concepts de la métrologie

## 3.1.3 Classification des étalons

### 3.1.3.1. Classification en fonction de la nature de la reconnaissance

- Étalon international: étalon reconnu de niveau international à partir duquel découle toutes les mesures effectuées dans le monde
- Étalon national: étalon reconnu par une autorité nationale pour servir de base à l'attribution de valeurs à d'autres étalons (étalon de masse n° 35 sur les 40 prototype du kg étalon)

# Outils et concepts de la métrologie

## 3.1.3.2. Classification en fonction de la qualité métrologique de l'étalon

- Étalon primaire: il a une valeur acceptée sans comparaison à d'autres étalons, est en général un étalon de la plus grande qualité métrologique, peut être un étalon international ou national, ou un étalon de travail ou de référence
- Étalon secondaire: étalon établi par l'intermédiaire d'un étalonnage par rapport à un étalon primaire



# Outils et concepts de la métrologie

## 3.1.3.3. Classification en fonction de l'utilisation de l'étalon

- Étalon de référence: étalon conçu pour étalonner d'autres étalons de grandeurs de même nature
- Étalon de travail: étalon qui est utilisé pour étalonner ou vérifier des instruments de mesure ou des système de mesure

# Outils et concepts de la métrologie

## 3.2. Opération d'étalonnage

- Étalonnage: opération qui dans des conditions spécifiées en un 1<sup>ere</sup> étape, établie une relation entre les valeurs et les incertitudes de mesure associées et en une 2<sup>nd</sup> étape utilise cette information pour établir une relation permettant d'obtenir un résultat de mesure à partir d'une indication

## 3.2.1 Opération d'étalonnage

- 1. permettre à un appareil de mesure d'obtenir la valeur la plus exacte possible
- 2. attribuer une incertitude de mesure à un étalon ou appareil de mesure
- 3. appliquer les deux ci-dessus cité à une méthode de mesure

## 3.2.2 Périodicité d'étalonnage

# Outils et concepts de la métrologie

## 3.3 Opération de vérification

- Vérification : (VIM 2.44) fourniture de preuves tangibles qu'une entité donnée satisfait aux conditions spécifiées

### 3.3.1 Objectif d'une vérification

- La vérification permet de porter un jugement qualitatif (conforme, non-conforme). C'est une phase décision quant à l'utilisation possible ou non de l'entité

### 3.3.2 Opération d'étalonnage

- L'entité doit satisfaire à des exigences spécifiées qui sont exprimées en EMT, la vérification permet de constater que la différence entre la valeur mesurée et la valeur de référence (étalon) est inférieure à l'EMT

# Outils et concepts de la métrologie

## 3.4 Exemple de réétalonnage de deux thermomètre

Pour étalonner les thermomètres il est nécessaire d'utiliser un thermomètre étalon (par exemple une sonde PT100)

Procédure:

- Immersion 10 fois de suite les thermomètres « A » et « B » ainsi que la sonde étalon dans un bain thermostaté dont la température est stabilisée
- Lecture des températures fournies par les thermomètre à étalonner et par la sonde étalon et calcul de la moyenne des valeurs pour chaque thermomètre

	Sonde étalon	Thermomètre A	Thermomètre B
Moyenne des valeurs mesurées	$\bar{\theta}_{ref}=37,6\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\bar{\theta}_{A\text{ lue}}=37,6\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\bar{\theta}_{B\text{ lue}}=38,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

	Thermomètre A	Thermomètre B
Comparaison avec la valeur de référence	$\bar{\theta}_{A\text{ lue}}=\bar{\theta}_{ref}$	$\bar{\theta}_{B\text{ lue}}>\bar{\theta}_{ref}$
Établissement d'une relation	$\bar{\theta}_{A\text{ lue}}=\bar{\theta}_{ref}$	$\bar{\theta}_{B\text{ lue}}-\bar{\theta}_{ref} = +0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
Calcul de biais éventuel	$Biais = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$Biais = +0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$

# Outils et concepts de la métrologie

## 3.4 Exemple de réétalonnage de deux thermomètre

Le thermomètre A ne présente pas de biais

Le thermomètre B présente un biais à chaque lecture nous devons apporter une correction

	Thermomètre A	Thermomètre B
Relation d'étalonnage	<i>Pas de correction</i> $\bar{\theta}_{A \text{ lue}} = \bar{\theta}_{ref}$	<i>Correction nouvelle relation d'étalonnage</i> $\bar{\theta}_{B \text{ corrigée}} = \bar{\theta}_{lue} = -0,4 \text{ } ^\circ\text{C}$

# Outils et concepts de la métrologie

## 3.5 le certificat d'étalonnage

Le résultat de l'étalonnage est consigné dans un document appelé « certificat d'étalonnage » qui comporte les informations suivantes

Appareil de mesure	
Mesure matérialisée	Autre type d'appareil
Identification de l'appareil Date et identification de l'organisme réalisant l'étalonnage Conditions d'étalonnage Documents de référence	
Résultats obtenus Valeur conventionnelle et son incertitude Correction éventuelle	Résultats obtenus Relation d'étalonnage et incertitude éventuelle Correction éventuelle
Dans le cas particulier dans une mesure matérialisée qui aurait subi un ajustage, certificat d'étalonnage doit présenter les résultats d'étalonnage avant et après ajustage	
Procédure de mesure avec un système de mesure donné	
Information sur la procédure de mesure et identification du système de mesure utilisé Date et personne ayant réalisé l'étalonnage Condition d'étalonnage, moyens et méthode d'étalonnage utilisés Documents de référence	



# Outils et concepts de la métrologie

## 3.6 élargissement du concept d'EMT

D'après la définition du VIM l'erreur maximale tolérée se rapporte à l'erreur de mesure, donc à un mesurage unique. C'est donc une limite d'erreur qui englobe à la fois l'erreur systématique et l'erreur aléatoire

Norme NF EN ISO 8655 « Appareil volumétrique à piston » distingue l'erreur maximale systématique tolérée et l'erreur maximale aléatoire tolérée.

Il y'a donc trois concepts différents:

- l'erreur maximale tolérée: qui s'applique à la comparaison avec l'erreur de mesure, donc à l'étude de l'exactitude de mesure
- maximale systématique tolérée: qui s'applique à la comparaison avec le biais, donc à l'étude de la justesse
- et l'erreur maximale aléatoire tolérée qui s'applique à la comparaison avec l'écart type.



# Outils et concepts de la métrologie

## 3.6 élargissement du concept d'EMT

Des valeurs d'EMT sont données:

- Par des instance officielles (normes, règlements, recommandations)
- Par des fabricants de matériels et de réactifs (spécifications)
- Par les responsables de laboratoires qui fixent des limites maximales à ne pas dépasser selon la procédure

**En pratique, une EMT est choisie en fonction des besoins du client, ce qui peut conduire à des exigences plus grandes que celle des normes**



# Outils et concepts de la métrologie

## 3.7 Constat de vérification

**Instrument de mesure (mesure matérialisée ou autre type d'instrument) ou  
procédure de mesure**

Identification de l'appareil, de mesure matérialisée ou de la procédure  
Date et identification de l'organisme ou de la personne réalisant la vérification  
Conditions, moyens et méthode de vérification  
Documents de référence

Éventuels résultats obtenus  
Conclusion: conforme ou non conforme

# Outils et concepts de la métrologie

## 3.8 Opération d'ajustage

Ajustage: ensemble d'opération sur un système de mesure pour qu'il fournisse des indications prescrites à des valeurs données des grandeurs à mesurer

Il convient de ne pas confondre l'ajustage d'un système de mesure à son étalonnage, qui est un préalable à son ajustage.

Exemple:

- Ajustage de balance
- Ajustage de masse étalon

# Outils et concepts de la métrologie

## 3.8 Les caractéristiques d'un instrument de mesure ou d'un processus de mesure

Les critères essentiels à prendre en compte afin de choisir l'instrument de mesure le plus adapté à un mesurage donné sont:

- Sélectivité et spécificité
- Intervalles des indications
- Sensibilité
- Linéarité
- Fidélité
- Justesse
- Robustesse

Certains de ses critères sont évalués lors des procédures de vérification et d'étalonnage.



# Les référentiels en métrologie

# Les référentiels en métrologie

## 1. ISO 10012



© AFNOR 2003 — Tous droits réservés

PA118340

ISIRI 0335-3931

**norme européenne**

**NF EN ISO 10012**

Septembre 2003

**norme française**

Indice de classement : X 07-009

ICS : 03.120.20 ; 17.020

Systèmes de management de la mesure

**Exigences pour les processus  
et les équipements de mesure**

E : Measurement management systems — Requirements for measurement processes and measuring equipment  
D : Messungsmanagementsysteme — Forderungen für Messvorgänge und Messgeräte

**Norme française homologuée**

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 5 août 2003 pour prendre effet le 5 septembre 2003.

Remplace les normes homologuées NF EN 30012-1 (indice de classement : X 07-009-1) de février 1994, NF ISO 10012-2 (indice de classement : X 07-009-2) de décembre 1997 et NF X 07-010, d'octobre 2001.

**Correspondance**

La Norme européenne EN ISO 10012:2003 a le statut d'une norme française. Elle reproduit intégralement la Norme internationale ISO 10012:2003.

**Analyse**

Le présent document fournit des exigences génériques et des guides d'application pour le management des processus de mesure et pour la confirmation des équipements de mesure utilisés pour démontrer la conformité aux exigences métrologiques. Il spécifie les exigences qualité relatives au système de management de la mesure qu'un organisme effectuant des mesure peut utiliser et intégrer dans le cadre du système de management global pour garantir que les exigences métrologiques sont satisfaites.

**Descripteurs**

**Thésaurus International Technique** : métrologie, mesurage, instrument de mesurage, contrôle de qualité, assurance de qualité, exigence, entreprise.

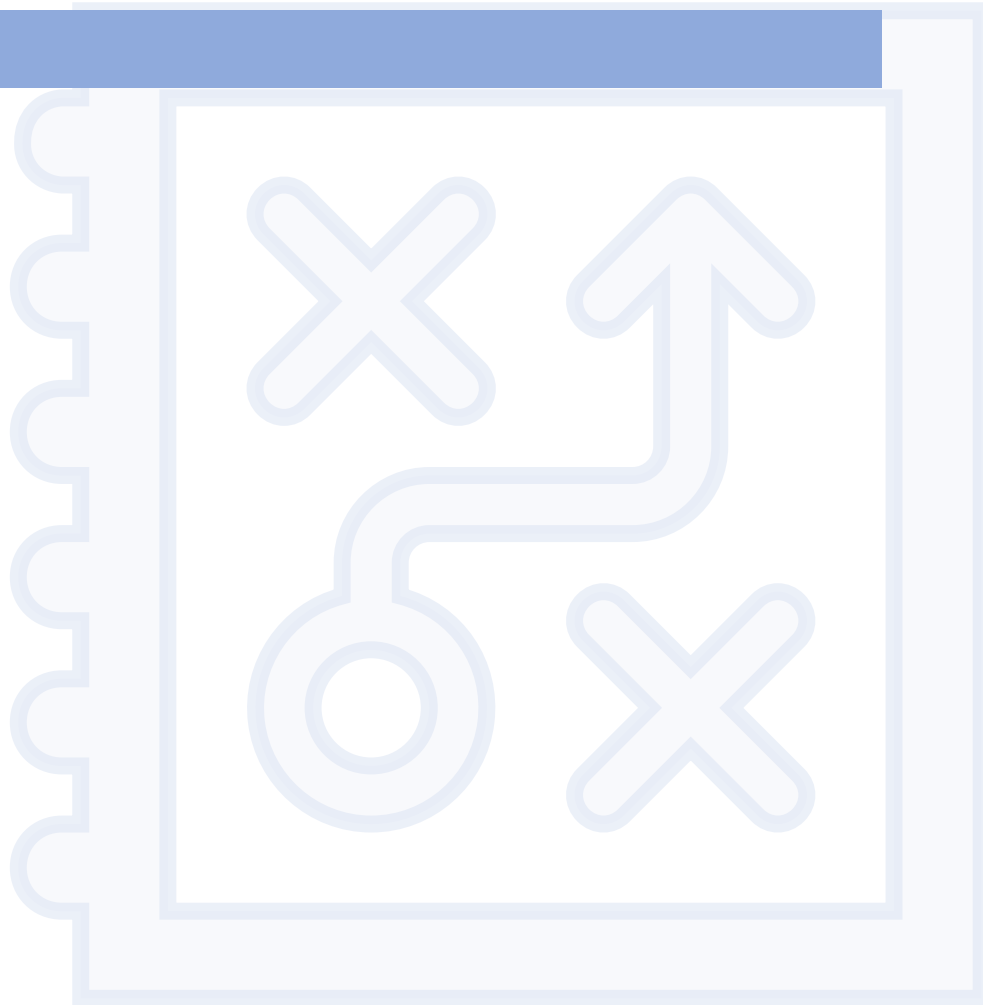
**Modifications**

Par rapport aux documents remplacés, le présent document correspond à la révision et à la fusion des deux documents ISO 10012 précédents. Il intègre maintenant les spécificités de notre norme nationale NF X 07-010 qui n'a plus de raison d'être, si ce n'est à travers une annexe nationale faisant référence à nos fascicules de documentation complémentaires. La révision a consisté, en particulier, à la mise en cohérence avec la nouvelle norme ISO 9001:2000 «Systèmes de management de la qualité — Exigences». Comme cette dernière, il est rédigé en termes de processus.

**Corrections**

# Les référentiels en métrologie

## 2. GUM



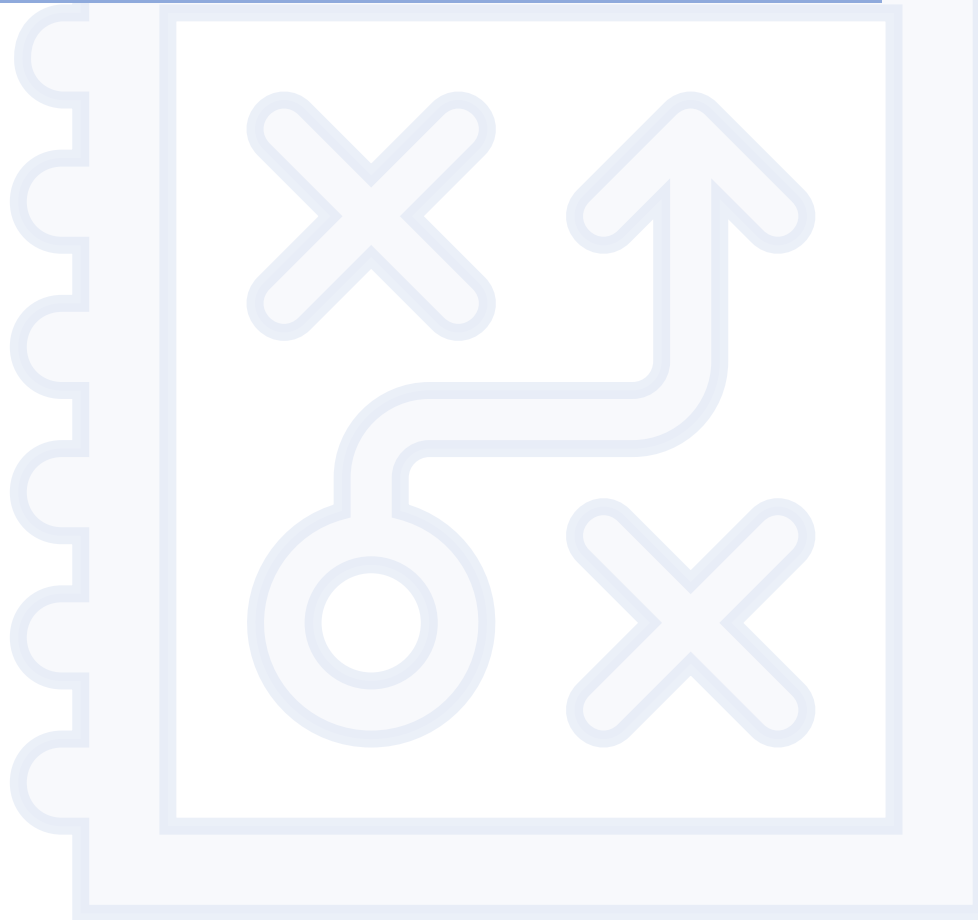
Première édition septembre 2008

© JCGM 2008



# Les référentiels en métrologie

## 3. VIM



# Les référentiels en métrologie

## 3. VIM

- X 07 -007 12/2005 : Guide d'application de l'ISO 10012
- X 07 -011 (12/1994): le constat de vérification
- X 07 -012 (11/1995) : le certificat d'étalonnage
- X 07 -013 (12/1996) : Utilisation et conservation des résultats
- X 07 -014 (11/2006): Optimisation des intervalles de confirmation métrologiques
- X 07 -015 (08/2007): Raccordement des résultats de mesure SI
- X 07 -017-1-2 (12/1997): Etalonnage et Vérification des IPFNA
- X 07 -018 (12/1997): Fiche de vie
- X 07 -019 (12/2000): Relation client fournisseur métrologique
- X 07 -022 (12/2004): Utilisation des incertitudes de mesure
- X 07 -025- (12/2003):Programme technique de vérification des équipement
- X 07 -028/29:procédure d'étalonnage des thermomètres