

Introduction

« Si vous pouvez mesurer ce dont vous parlez, et l'exprimer par un nombre, alors vous connaissez quelque chose de votre sujet. Si vous ne le pouvez, votre connaissance est d'une bien pauvre espèce et bien incertaine ».

Lord Kelvin

► Qu'est-ce que ce guide ?

Ce document qui s'appuie sur les exigences de la norme **ISO 10012** [1], a pour objectif de compléter la définition pratique de mise en place de la fonction **métrologique** dans l'entreprise, et de présenter des exemples industriels applicables.

► A qui est-il destiné ?

Ce guide est destiné aux métrologues, les utilisateurs d'instruments de mesure ou toute personne en charge de la fonction métrologique dans l'entreprise.

► Où s'en servir ?

Dans tout les entreprises, candidat ou non à une reconnaissance de son système qualité.

► Quand s'en servir ?

Ce guide est utile lors de la mise en place de la fonction métrologique dans l'entreprise ou lors d'une révision de celle-ci.

➤ Définition des besoins

Avant d'appliquer ce guide : l'entreprise doit réfléchir à ses nécessités et besoins en terme de métrologie.

C'est en effet à l'entreprise de mener sa réflexion sur ce qu'il doit être raccordé, et sur le choix en termes d'équipements et de raccordements métrologiques adéquats. Cette responsabilisation étant de la norme **ISO/CEI 17025** [2].

Ne sont concernés par ce guide que les éléments ayant une incidence sur la qualité ou le résultat des mesures, des analyses ou d'essais et que l'on ne peut pas détecter autrement (contrôle qualité interne ou externe).

La question doit se poser à chaque étape du déroulement de fabrication ou des analyses, et pour chaque instrument ou partie de matériel utilisé.

Il faut faire une analyse des objectifs et intérêts et définir les besoins. L'utilisation de la méthodologie du type 5M peut être utile pour la recherche des sources d'incertitudes, en cas de dérive, ou anomalie...

A découvrir dans ce guide...

- 1.** Vocabulaires.....
- 2.** La fonction Métrologie dans l'entreprise.....
- 3.** Le raccordement des résultats de mesure aux étalons.....
- 4.** Etalonnage et/ou vérification d'un instrument de mesure.....
- 5.** Erreurs et Incertitudes de mesure – Conformité.....
- 6.** Gestion des Equipements.....
- 7.** Exemples de calcul d'Incertitudes d'étalonnage.....
- 8.** Annexe.....
- 9.** Bibliographie.....

Qu'est-ce que la métrologie (2.2 VIM) [3] ?

La Métrologie = Science de mesurage

Ainsi la métrologie étudie :

- La mesure des grandeurs
- L'emploi des unités
- La réalisation des étalonnages
- Les calculs d'incertitudes
- L'organisation des comparaisons inter laboratoires à l'échelle nationale et internationale, et ce dans le but de garantir une parfaite unicité des résultats de mesure.

Note : La métrologie embrasse tous les aspects aussi bien théoriques que pratiques se rapportant aux mesurages, quelle que soit l'incertitude associée à ceux-ci, dans quelque domaine de la science et de la technologie que ce soit. .

Le **VIM** dont sont extraits les termes officiels qui suivent, est le **Vocabulaire International des termes fondamentaux et généraux de Métrologie [3]**.

Les termes de ce vocabulaire sont prévus pour s'appliquer aussi bien en métrologie fondamentale que pour les mesures les plus courantes.

Termes officiels (Origine : VIM)	Langage courant / Explications Exemples
Grandeurs et unités	
<p>➤ Grandeur (mesurable) (1.1 VIM) Attribut d'un phénomène, d'un corps ou d'une substance qui est susceptible d'être distingué qualitativement et déterminé quantitativement.</p>	<p>Paramètre mesurable Ex : temps, longueur, masse, quantité de matière, température, énergie.</p>
<p>➤ Unité de mesure (1.9 VIM) Grandeur particulière, définie et adoptée par convention, à laquelle on compare les autres grandeurs de même nature pour les exprimer quantitativement par rapport à cette grandeur.</p>	<p>Ex : mètre, kelvin</p>
<p>➤ Symbole d'une unité (1.13 VIM) Signe conventionnel désignant une unité de mesure.</p>	<p>Ex : A est le symbole de l'Ampère.</p>
<p>➤ Valeur Varie (d'une grandeur) (2.11 VIM) Valeur d'une grandeur compatible avec la définition d'une grandeur.</p>	<p>La valeur théorique que l'on obtiendrait par un mesurage parfait (valeur ne contenant ni erreur ni incertitude)</p>

Termes officiels (Origine : VIM)	Langage courant / Explications Exemples
Mesurages	
<p>➤ Mesurage (2.1 VIM)</p> <p>Processus consistant à obtenir expérimentalement une ou plusieurs valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur.</p>	Action de mesurer.
<p>➤ Mode opératoire (2.5 VIM)</p> <p>Ensemble des opérations décrite d'une manière spécifique, mises en œuvre lors de l'exécution de mesurages particuliers selon une méthode donnée.</p>	<p>Il s'agit tout simplement des modes opératoires pour effectuer un mesurage sans avoir besoin d'autres informations.</p> <p>Ensemble d'opérations élémentaires permettant d'obtenir un résultat une information ou un produit.</p>
<p>➤ Mesurande (2.3 VIM)</p> <p>Grandeur que l'on veut mesurer</p>	Exemple : volume distribué par une pipette, température d'une étuve ou d'une enceinte
<p>➤ Grandeur d'influence (2.52 VIM)</p> <p>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.</p>	<p>Grandeur ou paramètre pouvant interférer dans un résultat.</p> <p>Ex : pression atmosphérique, température de l'eau pour le contrôle des pipettes.</p>
Résultats de mesures	
<p>➤ Exactitude de mesure (2.13 VIM)</p> <p>Etroitesse de l'accord entre une valeur mesurée et une valeur vraie de mesurande.</p>	<p>La différence entre le résultat de la mesure et la valeur conventionnellement vraie</p> <p>Ce critère fournit une indication sur les écarts l'exactitude ne doit pas être confondue avec la précision ou fidélité (cf. annexe 0)</p>
<p>➤ Répétabilité (2.21 VIM)</p> <p>Fidélité de mesure selon un ensemble de conditions de répétabilité.</p>	Différence entre les résultats des pesées répétées du même essai dans les mêmes conditions.
<p>➤ Reproductibilité (2.25 VIM)</p> <p>fidélité de mesure selon un ensemble de conditions de reproductibilité.</p>	Différence entre les résultats des pesées répétées du même essai dans des conditions différentes.
<p>➤ Incertitude de mesure (2.26 VIM)</p> <p>Paramètre non négatif qui caractérise la dispersion des valeurs attribuées à un mesurande, à partir des informations utilisées.</p>	Estimation de la dispersion des résultats, qui tient compte de l'erreur aléatoire et systématique.

1.

VOCABULAIRE

Termes officiels (Origine : VIM)	Langage courant / Explications Exemples
Dispositifs de mesure	
<p>➤ Instruments de mesure (3.1 VIM)</p> <p>Dispositif destiné à être utilisé pour faire des mesurages, seul ou associé à un ou plusieurs dispositifs annexes.</p>	Appareil, appareillage, automate, système analytique
<p>➤ Capteur (3.8 VIM)</p> <p>Élément d'un système de mesure qui est directement soumis à l'action du phénomène, du corps ou de la substance portant la grandeur à mesurer.</p>	Ex : jauge de contrainte, couple thermo électrique
<p>➤ Chaîne de mesure (3.10 VIM)</p> <p>Suite d'éléments d'un système de mesure qui constitue un seul chemin du signal depuis le capteur jusqu'à l'élément de sortie.</p>	Ex : une chaîne de mesure de la température peut être composée d'une sonde à résistance de platine associé à un indicateur de température.
<p>➤ Réglage de zéro (3.12 VIM)</p> <p>Ajustage d'un système de mesure pour que le système fournisse une indication égale à zéro correspondant à une valeur égale à zéro de la grandeur à mesurer.</p>	
Propriétés des dispositifs de mesure	
<p>➤ Valeur nominale (4.6 VIM)</p> <p>Valeur arrondie ou approximative d'une caractéristique d'un instrument de mesure qui sert de guide pour son utilisation.</p>	Ex : la valeur 100 mm marquée sur une cale étalon, la valeur 1 L marquée sur une fiole jaugée à un trait.
<p>➤ Erreurs maximales tolérées (4.26 VIM)</p> <p>Valeur extrême de l'erreur de mesure, par rapport à une valeur de référence connue, qui est tolérée par les spécifications ou règlements pour un mesurage, un instrument de mesure ou un système de mesure donné.</p>	Conservation des poches de sang : $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$ Microbiologie : volumes délivrés à $\pm 5\%$ pour les mélanges
<p>➤ Stabilité (4.19 VIM)</p> <p>Propriété d'un instrument de mesure selon laquelle celui-ci conserve ses propriétés métrologiques constantes au cours du temps.</p>	
<p>➤ Dérive instrumentale (4.21 VIM)</p> <p>Variation continue ou incrémentale dans le temps d'une indication, due à des variations des propriétés métrologiques d'un instrument de mesure.</p>	Ex : un manomètre de résolution 1 Bar varie de 0,1 bar par an

1.

VOCABULAIRE

Termes officiels (Origine : VIM)	Langage courant / Explications Exemples
Etalons	
<p>➤ Etalon (5.1VIM)</p> <p>Réalisation de la définition d'une grandeur donnée, avec une valeur déterminée et une incertitude de mesure associée, utilisée comme référence</p>	<p><i>Ex : étalon de masse de 1 kg, résistance étalon de 10Ω</i></p>
<p>➤ Etalon international (5.2 VIM)</p> <p>Etalon reconnu par les signataires d'un accord international pour une utilisation mondiale</p>	
<p>➤ Etalon national (5.3 VIM)</p> <p>Etalon reconnu par une autorité nationale pour servir, dans un état ou une économie, comme base à l'attribution de valeurs à d'autres étalons de grandeurs de la même nature.</p>	
<p>➤ Etalon de référence (5.6 VIM)</p> <p>Etalon conçu pour l'étalonnage d'autres étalons de grandeurs de même nature dans une organisation donnée ou en un lieu donné.</p>	



La mise en place d'une démarche qualité dans l'entreprise suppose de définir notamment un politique en matière de gestion des équipements, dans laquelle s'intègre la fonction métrologie.

La rédaction d'un document dit « Procédure Générale de Métrologie » en est le point de départ.

2.1 Procédure générale de métrologie

Une procédure type doit contenir au moins l'ensemble des chapitres suivants. Pour chaque chapitre les items principaux sont détaillés.

C'est un descriptif sommaire qui vous est proposé, pour de plus amples renseignements : cf, normes, NF X07-016 [4] et NF ISO 10012-2 [5].

Domaine d'application

- Les secteurs concernés
- Les instruments concernés

Responsabilités

- Le rôle des différents responsables intervenants

Définitions

- Définition de l'étalonnage / vérification
- Définition de la confirmation métrologique

Descriptif

Politique en matière de métrologie :

- Définir le choix du domaine d'application et les objectifs

Moyens

- Personnel : formation, habilitation, fiche de poste ...
- Matériel : liste du matériel, procédures, modes opératoires

Gestion

- Achats
- Réception
- Qualification
- Identification
- Fiche de vie
- Fiche signalétique
- Stockage

Etalonnage/vérification

- Choix entre étalonnage et vérification
- Ajustement
- Dérive
- Incertitudes
- Tolérance
- Décision après vérification
- Document de traçabilité

Archivage

- Responsabilité
- Liste des documents à archiver
- Durée
- Lieux

Liste des annexes

- Liste de matériel
- Liste de personnel habilité aux contrôles
- Liste des mots de passe des logiciels
- Modèle de fiche de vie
- Modèle de fiche d'intervention

2.2 Responsabilités

La fonction métrologique doit être clairement définie et pouvoir justifier d'une compétence et d'une indépendance.

Elle doit être identifiée par la nomination d'un responsable.

Elle peut faire l'objet de création d'un service spécifique.

Le personnel en charge de son application est habilité, les fonctions sont décrites dans des fiches de poste (attribution et compétence).

2.3 Locaux

Les conditions ambiantes doivent être connues et surveillées lorsqu'elles ont une influence sur les résultats (exemple : pression atmosphérique, hygrométrie et température lors de l'étalonnage des pipettes, d'une balance, ...). L'influence des conditions d'environnement doit être prise en compte dans l'évaluation des incertitudes.

3.

Le raccordement des résultats de mesure aux étalons

Introduction

Dans le cadre d'une démarche qualité, l'entreprise doit maîtriser ses moyens de mesure et d'analyse (essai = analyse pour la norme ISO/CEI 17025 [1]) et s'assurer que les incertitudes de ces mesures sont compatibles avec les tolérances spécifiées.

3.1 Domaine concerne

Le raccordement aux étalons concerne :

- Les paramètres physiques, physico-chimiques, et ceux bénéficiant d'un raccordement par des matériaux de référence certifié.
- L'ensemble des paramètres influençant le résultat d'une mesure (exemple : pression atmosphérique du laboratoire dans le cas d'une pesée)

3.2 Raccordement a des étalons existants

3.2.1 Les niveaux de raccordement

Exemple : Raccordement pour le paramètre température

Limite supérieure	}	étalon primaire approprié ou considéré comme tel
Niveau 1		
Niveau 2	}	Ex : Thermomètre de référence du laboratoire (Raccordé au niveau 1)
Niveau n – 1		
Limite inférieure		Thermomètre du bain marie (Raccordé au niveau immédiatement supérieur)

3.2.2 Les valeurs d'incertitude

La traçabilité métrologique et l'évaluation des incertitudes de mesure constituent les deux concepts de base de la métrologie.

A chaque niveau du raccordement, la détermination de l'incertitude doit prendre en compte en compte l'incertitude du niveau immédiatement supérieur.

L'incertitude finale est d'autant plus grande qu'il a de niveaux entra la mesure et l'étalon de niveau 1.

3.

Le raccordement des résultats de mesure aux étalons

➔ Exemple : Raccordement pour le paramètre température

Laboratoire de métrologie accrédité (étalon national)
Niveau 1 : $U = \pm 0,003 \text{ °C}$ avec ($k = 2$)

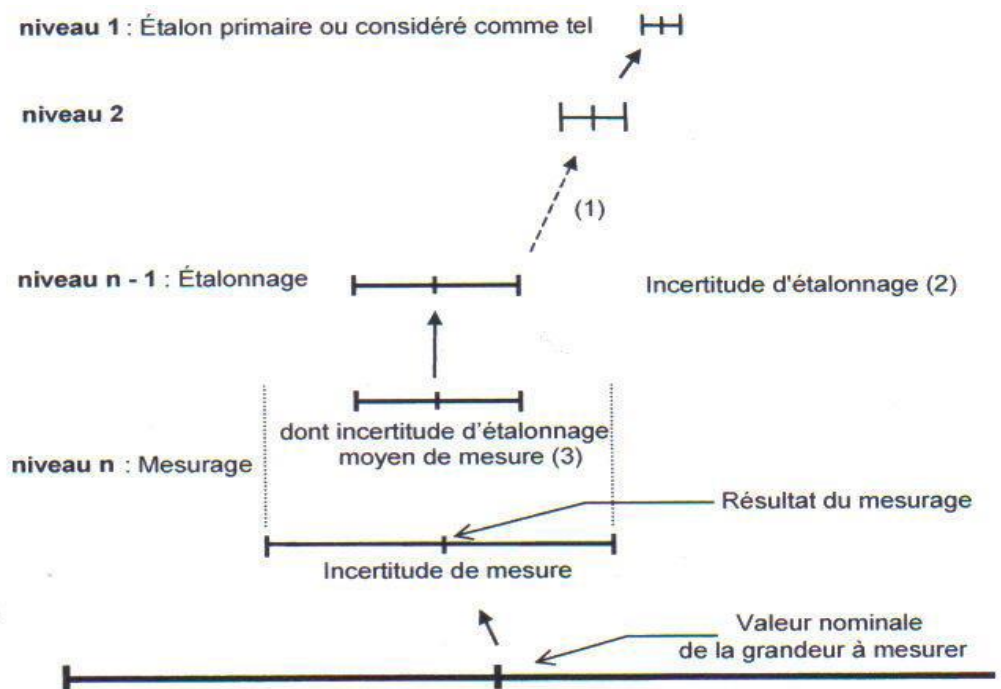
Ex : Thermomètre de référence du laboratoire
Niveau 2 : $U = \pm 0,04 \text{ °C}$ avec ($k = 2$)

Ex : Thermomètre du secteur
Niveau $n - 1$: $U = \pm 0,1 \text{ °C}$ avec ($k = 2$)

Thermomètre du bain marie
Limite inférieure : $U = 0,6 \text{ °C}$ avec ($k = 2$)

U : l'incertitude élargie est obtenue en multipliant l'incertitude type composé $u_c(y)$, par un facteur d'élargissement k ($k=2$ pour un intervalle de confiance de 95%).

Un laboratoire accrédité est un laboratoire d'un organisme dont la compétence technique est reconnue officiellement par le TUNAC.



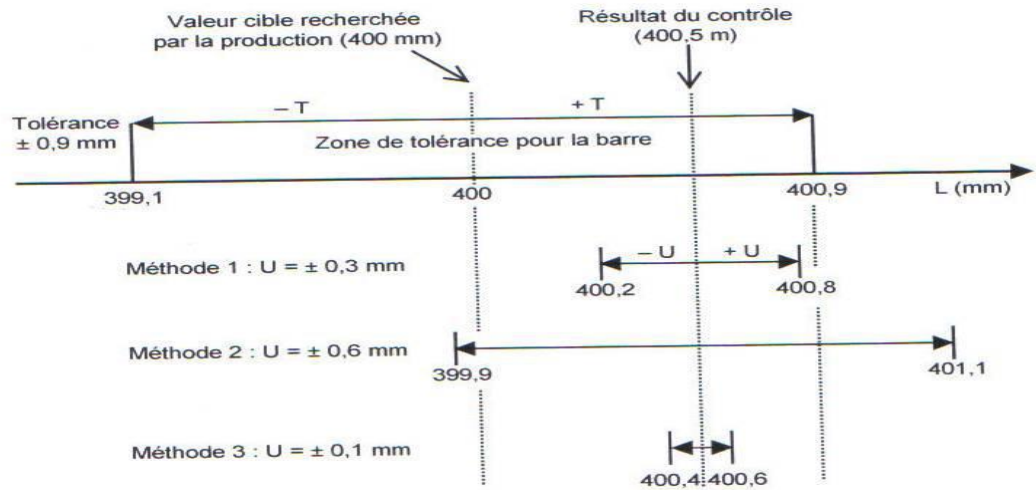
3.

Le raccordement des résultats de mesure aux étalons

3.3.3 Incertitude et décision de conformité

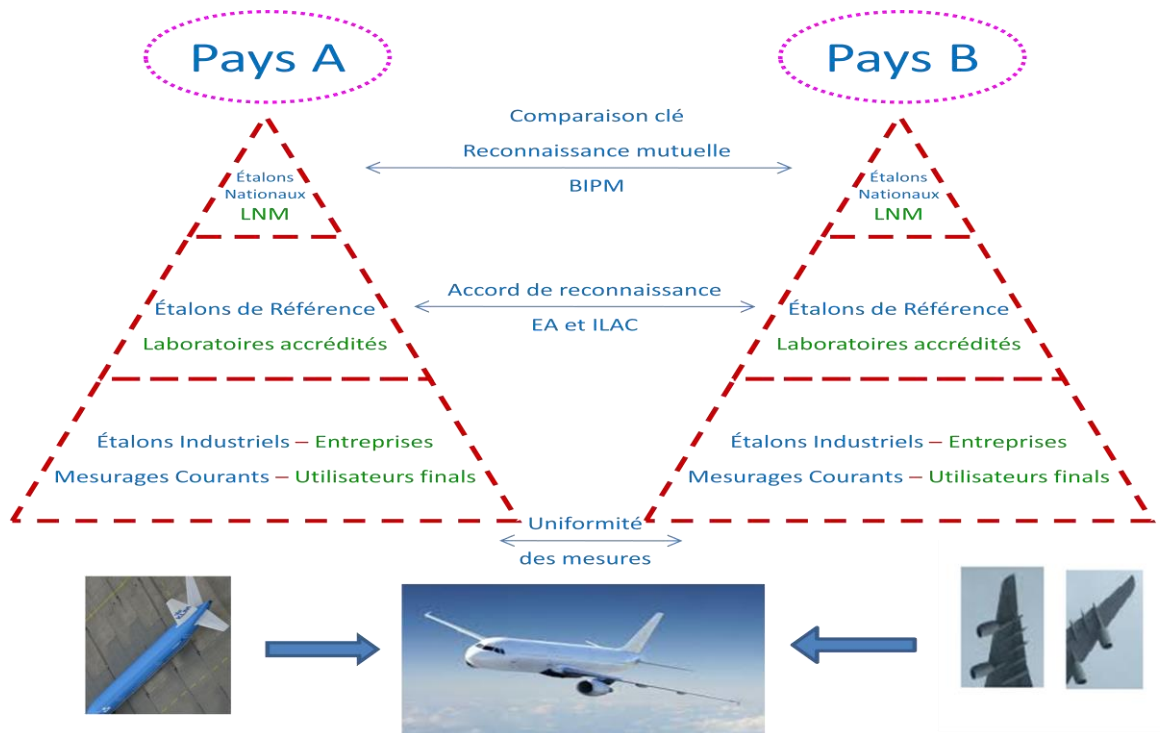
Plus l'incertitude du moyen de mesure sera petite, plus la zone de conformité sera grande.

Exemple : Fabriquer des barres de longueur : $l = (400 \pm 0,9) \text{ mm}$



3.3.4 Raccordement à un étalon national

Le schéma ci-dessous représente les systèmes de traçabilité et les systèmes de reconnaissance mutuelle mis en place au plan mondial.



3.

Le raccordement des résultats de mesure aux étalons

Introduction

Il existe en fait une série d'accords entre les organismes d'accréditation au niveau de leur groupement Européen EA « European Co-operation for accreditation » ou au niveau mondial avec l'ILAC « International Laboratory Co-operation ». Ces accords facilitent la reconnaissance des certificats d'étalonnage émis par les laboratoires d'étalonnage accrédités.

L'Arrangement de Reconnaissance Mutuelle (MRA) a été signé par les Laboratoires Nationaux de Métrologie sous l'égide de BIPM. Il concerne la reconnaissance des certificats d'étalonnage émis par les Laboratoires Nationaux de Métrologie et l'équivalence des étalons nationaux. Pour plus d'informations consulter www.bipm.org

3.4 Sous-traitance du raccordement

A un certain niveau de la chaîne d'étalonnage, le laboratoire qui relie ses résultats de mesure aux étalons appropriés est amené à sous-traiter l'étalonnage ou la vérification de ses moyens de mesure.

Dans le choix de sous-traitant, il convient de mettre une adéquation le besoin métrologique de l'entreprise à l'offre de prestataire : il est important entre autre de comparer, la méthode mise en œuvre, l'incertitude d'étalonnage, le nombre de points par rapport à ses besoins.

Limiter chaque fois que cela est possible et nécessaire, son choix aux seuls laboratoires accrédités par le TUNAC ou un organisme accréditeur ayant signé l'accord de reconnaissance mutuelle des étalonnages EA.



pourquoi se limiter à un laboratoire accrédité ?

- Garantie sur les ressources employées :
 - + personnel compétent (apte) pour l'exécution des prestations et l'interprétation des résultats
 - + équipements et locaux adaptés à l'activité
- Garantie sur la validité des méthodes employées :
 - + méthodes adaptées aux objets à tester et à l'objectif des demandes
 - + performance suivie en continu (utilisation de comparaison inter laboratoires)
- Garantie d'une organisation adaptée, conforme à un modèle normatif centré sur la prise en compte des besoins du client et sur l'amélioration continue

⇒ Une évaluation correcte des sous-traitants potentiels doit être faite.

3.5 Raccordement en interne

Le raccordement en interne nécessite entre autre :

- Du personnel compétent,
- Des étalons de travail (cf. annexe1),
- Des modes opératoires d'étalonnage des moyens de mesure,
- Des méthodes validées,
- Calcul d'incertitude relatif à chaque type d'étalonnage,
- Un local approprié et contrôlé en conditions environnementales.

5.

Erreurs et Incertitudes de mesure – Conformité

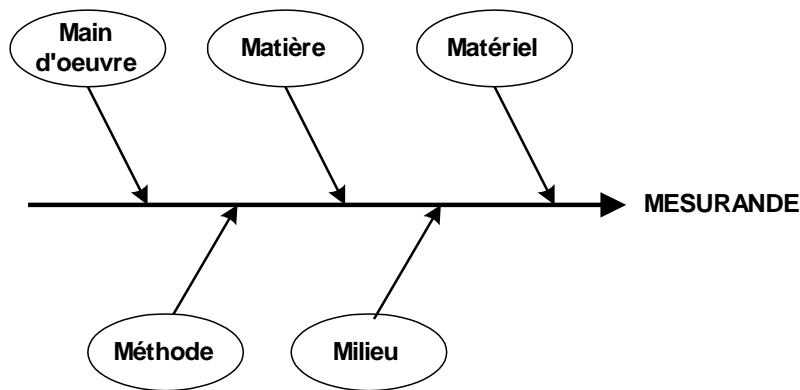
Introduction

Les multiples besoins de la société moderne, basée sur la technologie, nécessitent d'effectuer toute sorte de mesures. Leurs domaines d'applications vont des expériences compliquées requises pour développer et tester les plus récentes théories scientifiques jusqu'aux utilisations quotidiennes dans l'industrie, le commerce et notre environnement immédiat. Et pourtant, à l'insu de la plupart des utilisateurs, les renseignements fournis par les mesures effectuées sont rarement complets. En effet, tout résultat de mesure n'est en général qu'une estimation de la valeur de la quantité mesurée, la « vraie » valeur reste inconnue. Pour cette raison, on devrait évaluer la dispersion des valeurs de cette « valeur estimée » qui pourrait être attribuées au mesurande.

En terme de métrologie, la mesure de ce paramètre de dispersion est appelée l'incertitude de mesure. Lorsque l'utilisateur connaît la valeur de ce paramètre, il peut évaluer la confiance dans le résultat de la mesure effectuée. Malheureusement, il n'existe pas de moyen unique et universel d'exprimer quantitativement le « doute » que représente l'incertitude. Cette situation a conduit à l'élaboration de différentes procédures d'évaluation de l'incertitude.

5.1 Les causes d'incertitude

Elles sont identifiables selon une méthode similaire à celle des 5M :



Ce digramme permet d'identifier les facteurs qui influencent le résultat de mesure (causes d'erreurs), en dresser une liste aussi exhaustive que possible.

Main d'œuvre

- Formation
- Aptitude
- Interpolation
- Stress
- Ect...

Matière

- Propriétés physicochimiques
- Géométrie
- Dilatation
- Pureté
- Ect...

Méthode

- Nombre de mesure
- Choix de la méthode
- Courbe de lissage
- Ect...

Milieu

- Température
- Pression atmosphérique
- Hygrométrie
- Poussière
- Magnétisme
- Ect...

Matériel

- Résolution
- Justesse
- Fidélité
- Etalonnage
- Dérivé
- Ect...

5.

Erreurs et Incertitudes de mesure – Conformité

5.2 Incertitudes

L'incertitude de mesure comprend, en général, plusieurs composantes. Certaines peuvent être évaluées à partir de la distribution statistique des résultats de séries de mesurages et peuvent être caractérisées par des écarts-types expérimentaux. Les autres composantes, qui peuvent aussi être caractérisées par des écarts-types, sont évaluées en admettant des distributions de probabilité, d'après l'expérience acquise ou d'après d'autres informations.

Il est entendu que le résultat du mesurage est la meilleure estimation de la valeur du mesurande, et que toutes les composantes de l'incertitude, y compris celles qui proviennent d'effets systématiques, telles que les composantes associées aux corrections et aux étalons de référence, contribuent à la dispersion

Le paramètre peut être, par exemple, un écart-type appelé incertitude-type (ou un des ses multiples) ou la demi-étendue d'un intervalle ayant un niveau de confiance déterminé

◆ 5.2.1 Méthode de type A

L'erreur est égale à la différence entre la valeur mesurée et la moyenne d'un nombre x de mesures effectuées dans les mêmes conditions.

$$Erreur = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Une évaluation de type A de l'incertitude à partir de la distribution statistiques des valeurs provenant de séries de mesurage et peuvent être caractérisées par des écarts-types expérimentaux.

La variabilité des résultats est estimée par l'écart-type expérimental :

$$s(x_i) = \left[\frac{1}{n-1} \times \sum_{k=1}^n (x_{i,k} - \bar{x}_i)^2 \right]^{1/2}$$

Des mesures dans des conditions de répétabilité, ainsi effectuées se défini donc une valeur moyenne, entourée d'un facteur de variabilité : l'écart-type s de la répétabilité.

◆ 5.2.2 Méthode de type B

Une évaluation de type B de l'incertitude-type s'effectue par un jugement scientifique fondé sur toutes les informations disponibles qui peuvent comprendre :

- ✓ des résultats de mesures antérieures
- ✓ l'expérience ou la connaissance générale du comportement des matériaux et des instruments utilisés
- ✓ des spécifications du fabricant
- ✓ des données fournies par des certificats d'étalonnage et d'autres documents
- ✓ l'incertitude assignée à des valeurs de référence provenant d'ouvrages et manuels

Les incertitudes répondant à plusieurs lois de distribution amenant à des formules de calcul différentes. Les principales sont citées ci-après :

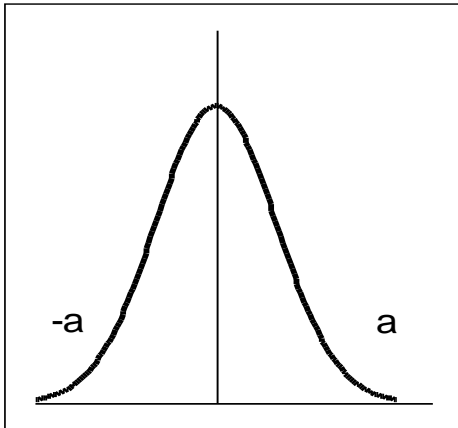
5.

Erreurs et Incertitudes de mesure – Conformité



5.2.2.1 Loi Normale

Courbe de répartition :



(Utilisation de la normale à 99,8% : $a = 3 \sigma$)

Formule de calcul de l'incertitude type : $u = \frac{a}{3}$

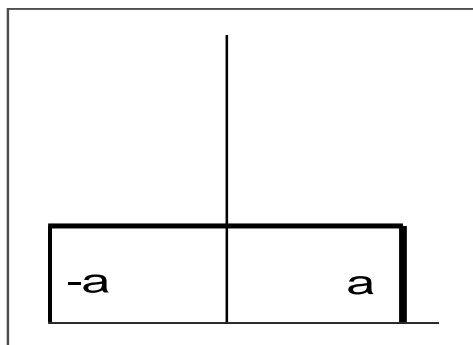
Cette loi s'applique à tout type d'erreurs, dépendantes d'un nombre important de caractères, chacun étant de faible individuel.

Peut être utilisée en l'absence d'informations sur les phénomènes physiques engendrant ces erreurs.



5.2.2.2 Loi rectangle ou loi uniforme

Courbe de répartition :



Formule de calcul de l'incertitude type : $u = \frac{a}{\sqrt{3}}$

Exemples type :

- Résolution d'un appareil,
- Instrument vérifié et conforme à une classe (balance, pipettes de classe A ou B).

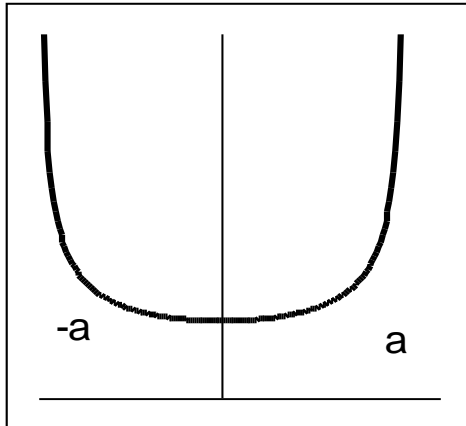
5.

Erreurs et Incertitudes de mesure – Conformité



5.2.2.3 Loi Arc sinus

Courbe de répartition :



Formule de calcul de l'incertitude type : $u = \frac{a}{\sqrt{2}}$

Exemples type :

- Erreur variant entre deux extremums de façon sensiblement sinusoïdale,
- Température d'un local climatisé, d'une enceinte (régulation).

5.2.2.4 Correction d'étalonnage

Résultat du certificat d'étalonnage : incertitude à 2σ ($k=2$) : $U = xx$

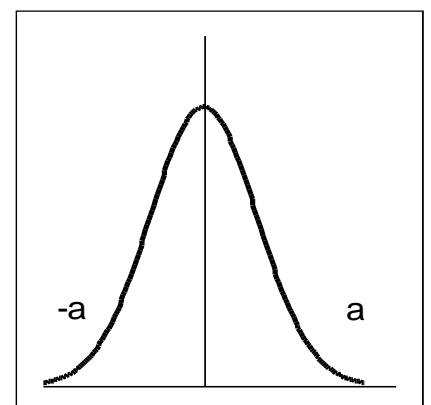
Incertitude sur la correction d'étalonnage : $u = \frac{U}{k}$

Exemple type : soit un thermomètre de référence avec un certificat d'étalonnage indiquant une correction de $0,02\text{ }^\circ\text{C}$, avec une incertitude de $0,01\text{ }^\circ\text{C}$ à la température de test de $10\text{ }^\circ\text{C}$, avec une valeur de $K=2$.

L'incertitude d'étalonnage sera égale à : $\frac{0,01}{2} = 0,05\text{ }^\circ\text{C}$, la correction de $0,02\text{ }^\circ\text{C}$ étant appliquée sur les mesures.

(Utilisation de la normale à 95% : $a = 2\sigma$)

Formule de calcul de l'incertitude type : $u = \frac{a}{2}$



Courbe de répartition

5.

Erreurs et Incertitudes de mesure – Conformité

• 5.2.3 Méthode de type B

Deux types d'évaluation sont employés :

- Méthode d'évaluation de type A
Qualification des incertitudes à partir d'observations répétées.
- Méthode d'évaluation de type B
Qualification des incertitudes des différentes composantes intervenant dans le modèle du processus de mesure à partir des connaissances que nous en avons.
- On calcul la somme des carrés des incertitudes :

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2 = u^2(\bar{x}) + u^2(x_1) + u^2(x_n)$$

- De cette formule nous calculons l'incertitude compose

$$u_c(y) = \sqrt{u_c^2(y)}$$

- Puis calculons l'incertitude élargie, notant U l'incertitude élargie et k le facteur d'élargissement.

Pour un niveau de confiance voisin de 95 % et la grande majorité des nombres effectifs de degrés de liberté ($k = 2$).

$$U = ku_c(y)$$

- On exprime alors le résultat d'un mesurage sous la forme $Y = y \pm U$

5.3 Rapport incertitude / Tolérance/Conformité

La décision de conformité se fait dans l'intervalle de tolérance réduit de l'incertitude à ses deux extrémités.

En métrologie dimensionnelle, une règle couramment appliquée est que lorsque le facteur d'élargissement $k = 2$, le rapport entre l'intervalle $2U$ et la tolérance T respecte la fameuse règle du quart :

$$2.U \leq \frac{T}{4}$$

6.

Gestion des équipements

Introduction

La qualité des produits fabriqués dans les entreprises et la qualité des essais effectués dans les laboratoires sont dépendantes de la qualité des mesures effectuées pour élaborer ces produits ou pour effectuer les essais. La qualité des mesures dépend d'un certain nombre de paramètres parmi lesquels figurent les conditions d'environnement, des opérateurs chargés des mesures et de l'instrument de mesure utilisé (qui sera dénommé équipement de mesure, de contrôle et d'essai) qui doit être juste.

6.1 Identification

Les équipements de mesure ou d'essais doivent faire l'objet d'une identification claire et individuelle. Le code attribué, qui peut être une identification interne, propre au laboratoire ou la reprise du numéro série, doit être unique.

L'ensemble de la documentation associée à un matériel désigné reprendra ce code.

6.2 Etiquetage

L'état de confirmation métrologique des équipements doit être identifié par une étiquette, une inscription ou tout autre moyen. Cette identification devra être fixe.

6.3 Protection stockage manutention

- Des mesures doivent être prises pour éviter l'accès aux dispositifs d'ajustage des instruments de mesure lorsque ceux-ci peuvent jouer sur la qualité des résultats.
- Les instruments de mesure doivent être stockés dans un environnement adapté et maîtrisé.
- Le matériel hors service doit être clairement identifié.
- Des mesures doivent être prises lors de la manutention ou transport du matériel pour éviter tout risque de dérèglement, dommage ou modification des caractéristiques métrologiques.

6.4 Fiche de vie

L'utilisateur doit pouvoir être rapidement renseigné sur l'ensemble des opérations effectuées sur un instrument de mesure ou d'essai : étalonnage, vérification, maintenance...il est courant donc de tenir à disposition des « fiches de vie de matériel » disponible à proximité des appareils.

6.

Gestion des équipements

6.5 Périodicité de raccordement

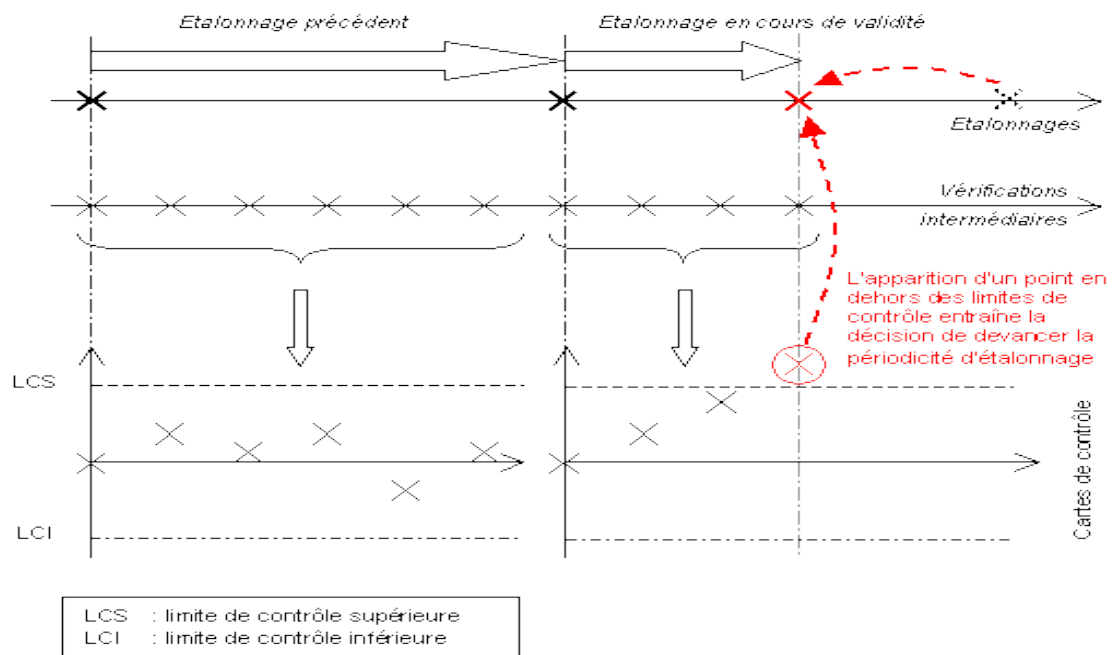
Il n'existe pas de définition précise de l'intervalle de confirmation des équipements de mesure ou d'essais.

Le choix de la périodicité est donc de la responsabilité de l'entreprise, elle peut être déterminé en tenant compte de :

- Fréquence d'utilisation,
- Conditions d'utilisation,
- Recommandations de constructeur,
- Connaissance d'un historique de l'appareil,
- Ect...

Des méthodes pratiques ont été mis pour déterminer les intervalles d'étalonnage des équipements, tel que :

- Ajustement automatique ou en « escalier » ;
- Temps d'utilisation ;
- Contrôle en cours d'utilisation ou essai à l'aide d'une boîte noire ;
- Les cartes de contrôles ;
- Approches statistique.



Carte de contrôle d'un instrument de mesure

7.

Exemples de calcul d'incertitudes d'étalonnage

7.1 Etalonnage d'une balance

L'objectif est d'apprécier la performance de la pesée obtenue avec une balance [7], suivant le guide COFRAC n° 2089 [8]

- 1 : Réaliser les essais métrologiques : Justesse (E_I), excentration et répétabilité ;
- 2 : Déterminer l'incertitude élargie (avec un facteur d'élargissement $K=2$) $U(E_I)$ des erreurs d'indication ;
- 3 : Déterminer l'incertitude élargie (avec $K=2$) $U(IP)$ de la balance. Cette opération consiste à exploiter les résultats de l'étape 2 et à prendre en compte les conditions d'utilisation et de travail de la balance ;

7.1.1 Mesurande

Lorsqu'une balance est ajustée avec des poids étalons, les deux équilibres réalisés pour peser un corps (à vide puis en charge) conduisent à la relation suivante :

$$M \cdot \left(1 - \frac{a}{r}\right) = (x - E_I) \cdot \left(1 - \frac{a}{r_0}\right) ;$$

Avec :

- M : masse du corps pesé ;
- r : masse volumique du corps pesé ;
- a : masse volumique de l'air ambiant lors de la pesée ;
- x : résultat de la pesée ;
- E_I : erreur d'indication de l'instrument de pesage pour x , pour les conditions a et r_0 ;
- $r_0 = 8\,000 \text{ kg.m}^{-3}$, masse volumique conventionnelle de l'étalon utilisé pour déterminer l'erreur d'indication de l'instrument de pesage.

Lors de la pesée d'un corps, pour pouvoir associer au résultat de la pesée l'incertitude du résultat de la pesée, il est nécessaire d'avoir l'erreur de justesse (ou la correction) de la balance et son incertitude. On l'obtient avec l'étalonnage de la balance, en partie, car elle intervient sur le résultat de la pesée.

7.1.2 Etape n°1 : essais métrologiques

7.1.2.1 Méthode d'étalonnage

La méthode consiste à comparer, sur le lieu d'utilisation habituel, les indications de la balance aux valeurs conventionnellement vraies des étalons.

7.1.2.2 Conditions d'environnement et d'installation

- La balance est sous tension avant le début des essais, depuis au moins une demi-heure, plus suivant les données du constructeur.
- La balance doit être installée de façon à ce que les perturbations électriques ou magnétiques, les vibrations, les courants d'air soient minimaux et ne gênent pas son bon fonctionnement.
- L'environnement (température, humidité) des essais doit être stable, si possible, durant les essais.
- Les moyens et la balance à étalonner sont à la température de la pièce où s'effectue l'étalonnage.

7.

Exemples de calcul d'Incertitudes d'étalonnage

7.1.2.3 Opérations préliminaires

La balance est de niveau.

Une charge équivalente à la portée maximale est déposée sur le plateau de la balance puis retirée. L'affichage de la balance est réglé à zéro, si nécessaire au début de chaque essai.

La balance est réglée avant l'étalonnage pour limiter ses composantes d'incertitude (ex : appuyer sur la touche de régalage interne).

L'identification de la balance est vérifiée.

S'assurer de l'absence de défaut visible (ex : plateau sale, instabilité du zéro, dérive du zéro, ect...).

La validité du certificat d'étalonnage des moyens étalons est vérifiée.

La température avant et après les essais métrologiques est enregistrée.

La pression et l'humidité relative avant et après les essais métrologiques sont notées.

7.1.2.4 Poids étalons

➤ **Raccordement**

Les poids utilisés doivent être raccordés aux étalons nationaux avec un certificat d'étalonnage émis par un laboratoire d'étalonnage accrédité par le TUNAC ou son équivalent.

➤ **Masse conventionnelle**

Conformément au document OIML D28, les poids sont étalonnés en masse conventionnelle avec des incertitudes élargies du tiers des EMT sur les étalons (pour rendre négligeables les corrections de poussée aérostatique due aux étalons).

➤ **Classe de précision**

Pour minimiser l'incidence de l'incertitude des poids, la classe de précision des poids pour étalonner une balance d'analyse doit être de classe E₂. Pour étalonner une balance de précision, la classe de précision F1 suffit.

7.1.2.5 Autres moyens

➤ **Thermomètre**

Le thermomètre sert à mesurer la température au début et à la fin des essais.

Il n'est pas nécessaire de l'étalonner périodiquement ; nous ne sommes intéressés que par la différence de température avant et après et non pas une valeur juste de la température.

Il est préférable de mesurer la température de l'air à l'intérieur de la chambre de pesée ; ou de déterminer l'écart entre la cage et la salle de mesure.

➤ **Baromètre / hygromètre**

La pression atmosphérique et l'humidité relative de l'air sont surveillées, on prend en compte leurs étendues sur une période d'une année. Pour l'étalonnage, on veille à ce que la pression atmosphérique et l'humidité relative de l'air soient comprises dans les étendues retenues par le calcul d'incertitude.

7.

Exemples de calcul d'Incertitudes d'étalonnage

7.1.2.6 Essais métrologiques

Les essais réalisés pour la détermination de l'incertitude de l'erreur d'indication de la balance sont les suivants :

- Essai de répétabilité ;
- Essai de justesse ;
- Essai d'excentration.

➤ Essai de répétabilité

La répétabilité est déterminée en réalisant au moins 5 pesées successives en au moins un point significatif lié à l'utilisation de la balance, ou à défaut à la moitié de la plage d'étalonnage.

Il faut veiller à aligner les centres de gravités des poids utilisés pour ne pas créer de défaut d'excentration (ex : empilage)

➤ Essai de justesse

Quand la balance est utilisée sur toute son étendue de mesure, l'erreur d'indication est déterminée à plusieurs charges depuis la pesée minimale à sa portée maximale.

Si elle n'est utilisée que sur une partie de son étendue de mesure, l'erreur d'indication est déterminée à des charges représentatives des quantités pesées habituellement (ex : balance utilisée pour contrôler le volume de micropipettes).

Si elle n'est utilisée qu'en un point, l'erreur d'indication est déterminée à la charge habituellement pesée (ex : balance utilisée pour contrôler la masse spécifique de médicaments, ou la quantité nominale de préemballés).

Il faut veiller à limiter la quantité de poids utilisés en même temps pour simuler le point de mesure, cela dans le but de réduire la composante d'incertitude associée et d'aligner les centres de gravité des points utilisés ne pas créer de défaut d'excentration.

➤ Essai d'excentration

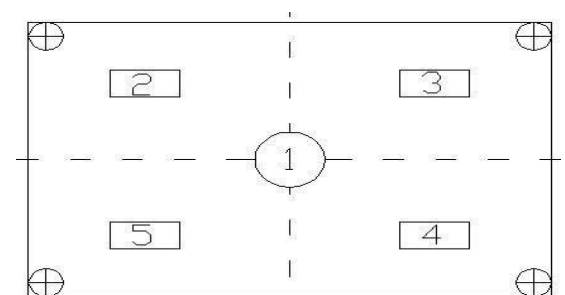
La position centrale du plateau est choisie comme position de référence. La valeur nominale du poids est proche du 1/3 de la portée maximale. Le poids est placé au centre du plateau (position C) et l'indication I_C qui en résulte est relevée. Puis le poids est déplacé successivement en excentrant celle-ci de part et d'autre du centre du plateau.

Les indications correspondantes (I_i) sont relevées et corrigées de l'erreur à 0.

Il n'est pas nécessaire de placer le poids systématiquement au centre de chaque portion. Il suffit de le déplacer de quelques centimètres. Ce déplacement représente l'éventuelle erreur d'excentration ou maladresse commise

par l'opérateur au cours d'une pesée courante.

Il faut veiller à aligner les centres de gravité des poids utilisés (ex : empilage).



Position des charges sur le plateau rectangulaire/circulaire/carré

7.

Exemples de calcul d'Incertitudes d'étalonnage

7.1.2.7 Mode opératoire

L'étalonnage est réalisé en prenant en compte les éléments suivants :

- Charge centrée et répartie le plus uniformément possible ;
- Température, pression et humidité stables ;
- Température relevée au début et à la fin des mesures ;
- Durée d'application de la charge limitée au nécessaire ;
- Respecter un intervalle du temps suffisant et constant avant le relevé des indications, si un intervalle de temps spécifique et défini, le respecter (ex : durée nécessaire pour obtenir une indication stable).

7.1.2.8 Traitement des données de mesure

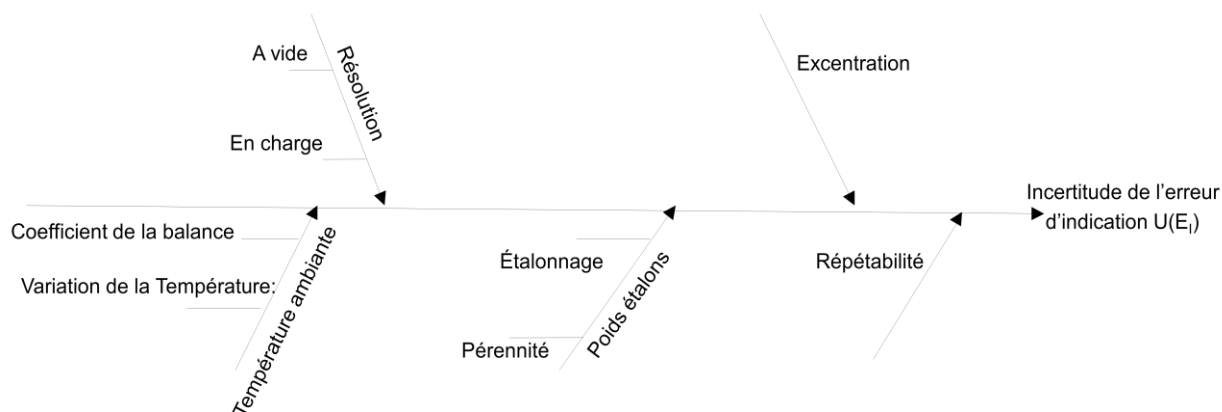
Les données issues des mesures sont traitées d'une façon différente à celle de la vérification complète :

- La répétabilité est calculée à partir de l'écart type des pesées ;
- L'erreur d'indication correspond à la différence entre la valeur lue après stabilisation de l'indication de l'étalon ou de la somme d'étalons déposés sur le plateau et leur valeur vraie ;
- Pour l'excentration, c'est la différence entre la valeur obtenue au centre du plateau et la plus grande valeur obtenue pour une charge excentrée, qui est retenue pour le calcul d'incertitude.

7.1.3 Etape n°2 : Incertitude de l'erreur d'indication $U(E_i)$

Les paramètres retenus pour la détermination de l'incertitude de l'erreur d'indication $U(E_i)$ sont :

- Répétabilité des pesées ;
- Résolution de la balance (à vide et en charge)
- Excentration des charges ;
- Température ambiante durant les mesures (coefficient de sensibilité de la balance à la température)
- Poids étalons (incertitude d'étalonnage+pérennité).



Digramme des composantes d'incertitudes retenues pour l'étape 2

7.

Exemples de calcul d'Incertitudes d'étalonnage

7.1.3.1 Evaluation de type A

Tout résultat de pesée est affecté d'une incertitude liée à la répétabilité du processus de pesée. Cette composante notée $(u_x)_e$ est évaluée grâce à l'écart type expérimental s des résultats de pesées de la même charge effectuées dans les conditions usuelles avec :

$$(u_x)_e = s = \left[\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}$$

avec :

s = écart type des pesées ;

n = nombre de pesées ;

x_i = pesée individuelle ;

\bar{x} = moyenne des pesées.

7.1.3.2 Evaluation de type B

➤ Résolution

La lecture de chaque pesée est affectée d'une incertitude type $(u_d)_e$ fonction de l'échelon réel d . pour l'affichage numérique d'une balance, on retient une distribution rectangulaire centrée sur le domaine borné par $\pm d$. la composante d'incertitude type est égale à :

$$(u_d)_e = \frac{d}{\sqrt{6}}$$

Cette composante intervient 2 fois pour un résultat de pesée simple : pour l'équilibre à vide d_0 et en charge d . le fait de répéter n fois une même pesée n'améliore pas cette composante. Elle est indépendante du nombre de pesées effectuées.

Si l'indication présente des instabilités de plusieurs échelons, on remplace d par l'étendue de cette instabilité.

➤ Poids étalons

Incertitude

Cas : les poids étalons sont étalonnés et utilisés en valeur nominale ou conventionnelle

La composante d'incertitude relative à l'étalonnage d'un poids est donnée par la formule suivante :

$$u_{Et1} = \frac{U_e(Et)}{2}$$

Où U_e est l'incertitude élargie d'étalonnage du poids concerné.

Cas : les poids étalons sont classés

La composante d'incertitude relative à l'étalonnage d'un poids classé est donnée par la formule suivante :

$$u_{Et2} = \frac{EMT(Et)}{2}$$

avec :

EMT est l'erreur tolérée (en \pm) de la classe du poids utilisé (voir recommandation OIML R111).

7.

Exemples de calcul d'incertitudes d'étalonnage

➤ Pérennité

En l'absence d'information sur la dérive, l'incertitude liée à la pérennité u_{EtD} est estimée égale à l'incertitude type d'étalonnage u_{Et} . L'incertitude de pérennité ne peut pas être inférieure à son incertitude d'étalonnage.

➤ Température

Les paramètres qui interviennent sont :

- C : coefficient de variation de pente en fonction de la température ;
- $(\Delta T)_e$: variation de température au cours de l'étalonnage.

L'incertitude type due à l'effet de la température sur la balance, $(u_T)_e$, est estimée par :

$$(u_T)_e = C \times \left(\frac{(\Delta T)_e}{\sqrt{3}} \right) \times x$$

Le coefficient C correspond principalement au coefficient de dilatation du métal constituant la cellule de mesure (capteur à jauges de contraintes, cellule à compensation électromagnétique de la force). Il varie d'une balance à une autre, mais il est toujours indiqué dans le mode d'emploi de la balance. Le tableau suivant résume les valeurs existantes pour ces coefficients.

Type de balance	Coefficient de sensibilité
Balance d'analyse	0,5 à 2 ppm/°C
Balance de précision	2 à 20 ppm/°C
Balance industrielle	2 à 20 ppm/°C

Exemples de coefficient de sensibilité

➤ Excentration

Quand l'étalonnage fait intervenir plusieurs poids étalons pour cet essai, leur position sur le plateau de la balance peut affecter l'indication. Quand au cours de l'étalonnage, les étalons sont régulièrement répartis de façon à ce que le centre de gravité soit la verticale de centre du plateau, on considère cet effet négligeable, comme son incertitude type.

7.

Exemples de calcul d'incertitudes d'étalonnage

7.1.3.3 Estimation de l'incertitude de l'erreur d'indication

➤ **Incertitude type composée $u(E_I)$**

L'incertitude type composée correspond à la somme quadratique de toutes les composantes d'incertitude retenues.

➤ **Incertitude élargie $U(E_I)$**

L'incertitude élargie est calculée en multipliant l'incertitude type composée $u(E_I)$ par le coefficient d'élargissement k .

La valeur $k=2$ est prise car cela signifie que, pour une distribution normale des valeurs de mesure, la valeur de mesure est couverte par l'intervalle donnée avec un niveau de confiance de 95%.

Composante	Incertitude type
Répétabilité	$(u_x)_e = s$
Résolution à vide	$(u_{d_0})_e = \frac{d_0}{\sqrt{6}}$
Résolution en charge	$(u_d)_e = \frac{d}{\sqrt{6}}$
Poids étalons	étalonnage : u_{Et1} Pérennité : u_{Etp} Classés uniquement : u_{Et2}
Influence de la température	$(u_T)_e = C \times \left(\frac{(\Delta T)_e}{\sqrt{3}} \right) \times x$
Excentration de charge	$(u_{exc})_e$
Incertitude combinée	$u_c(E_I) = \sqrt{(u_x)_e^2 + (u_{d_0})_e^2 + (u_d)_e^2 + (u_{Et})^2 + (u_{Etp})^2 + (u_T)_e^2 + (u_{exc})_e^2}$
Incertitude élargie	$U(E_I) = 2 \times u_c(E_I)$

Estimation de l'incertitude élargie de l'erreur d'indication $U(E_I)$

7.1.4 Etape n°3 : Incertitude de la balance $U(IP)$

L'utilisateur doit connaître l'incertitude de mesure de sa balance dans des conditions définies d'utilisation et s'assurer qu'elle satisfait à son besoin.

Les étapes qui suivent conduisent à définir l'incertitude de la balance qui permettant de déterminer l'exactitude de la pesée réalisée.

7.

Exemples de calcul d'Incertitudes d'étalonnage

7.1.4.1 Méthode de détermination

Cette étape consiste à exploiter les résultats de mesure en tenant compte du mode d'utilisation de la balance, comme par exemple :

- L'utilisation du calibrage de la balance ;
- La correction ou non des erreurs d'indication E_i pour établir le résultat de la pesée ;
- L'étendue de la température dans la pièce où est installée la balance et le coefficient de sensibilité à la température de la balance ;
- La valeur de l'excentration de charge.

Toutes ces situations permettent de définir l'incertitude de la balance à partir de laquelle l'utilisateur peut obtenir l'incertitude sur chaque pesée qu'il réalise.

L'incertitude type de la balance, u (IP), est égale à l'incertitude type composée en tenant compte des composants cités plus haut relatives à la balance, pour une utilisation définie avec l'utilisateur, en faisant abstraction de la correction de poussée de l'air propre à chaque pesée.

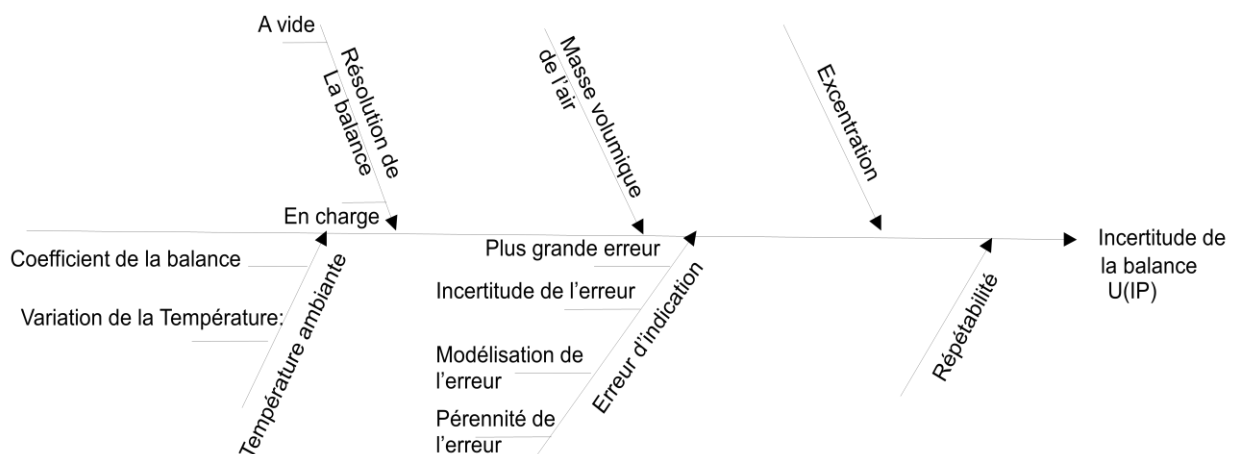


Diagramme des composantes d'incertitude retenues pour l'étape 3

7.1.4.2 Evaluation de type A

L'incertitude type de répétabilité, u_x , du processus de mesure est prise égale à l'écart type expérimental d'une détermination du mesurande. Elle est considérée comme constante sur le domaine spécifié.

7.

Exemples de calcul d'Incertitudes d'étalonnage

7.1.4.3 Evaluation de type B

➤ Résolution

La lecture de chaque pesée est affectée d'une incertitude type $(u_d)_e$ fonction de l'échelon réel d . pour l'affichage numérique d'une balance, on retient une distribution rectangulaire centrée sur le domaine borné par $\pm d$. la composante d'incertitude type est égale à :

$$(u_d)_e = \frac{d}{\sqrt{6}}$$

Cette composante intervient 2 fois pour un résultat de pesée simple : pour l'équilibre à vide d_0 et en charge d . le fait de répéter n fois une même pesée n'améliore pas cette composante. Elle est indépendante du nombre de pesées effectuées.

Si l'indication présente des instabilités de plusieurs échelons, on remplace d par l'étendue de cette instabilité.

➤ Erreur d'indication

Deux cas se présentent :

- Soit l'utilisateur corrige ses mesures des erreurs d'indication évaluées durant l'étalonnage ;
- Soit il ne les corrige pas.

• Avec correction des erreurs

Si l'utilisateur applique les corrections aux erreurs d'indication évaluées durant l'étalonnage :

- Les erreurs d'indication (E_I) sont déterminées pour une quantité limite de charges. Les erreurs pour les charges intermédiaires sont calculées pour une modélisation en fonction de la charge à l'aide d'une régression linéaire. C'est la composante d'incertitude issue de la modélisation, $u_m(E_I)$ qui est à évaluer. On l'estime en calculant l'écart absolu de l'erreur d'indication issue de la modélisation avec les erreurs d'indication mesurées ;
- La composante liée à la modélisation $u_m(E_I)$ correspondra au plus grand écart absolu de l'erreur d'indication.

• Sans correction des erreurs

Si l'utilisateur n'applique pas les corrections aux erreurs d'indication évaluées durant l'étalonnage, il est admis que la correction est de moyenne nulle. L'incertitude type relative $(u_{E_I})_r$ qui en résulte est estimée égale à la somme des 2 termes suivant :

- L'incertitude type relative maximale sur la détermination des erreurs d'indications :

$$((u_{E_I})_i/x_i)_{max} ;$$

- Le maximum de la moitié des erreurs d'indication :

$$((E_I/2)_i/x_i)_{max} ;$$

7.

Exemples de calcul d'Incertitudes d'étalonnage

➤ Pérennité des erreurs d'indication

La composante d'incertitude relative à la pérennité, $u_p(E_I)$, prend en compte une éventuelle variation des erreurs d'indication E_i entre 2 étalonnages.

Cette incertitude type est estimée à partir de l'enregistrement des valeurs d'étalonnage obtenues sur une longue période.

Sans cette information, cette composante est prise égale à celle de l'étalonnage $u(E_I)$. Dans tous les cas, cette incertitude ne peut être inférieure à celle de la détermination des erreurs d'indication.

➤ Température

On remplacera la variation de température mesurée durant l'étalonnage $(\Delta T)_e$ par celle correspondant à l'utilisation de la balance (ΔT) .

Quand la balance est équipée d'un réglage interne, l'activer au préalable a pour effet de diminuer de façon importante la dérive en fonction de la température.

Quand la balance est équipée d'un réglage interne se déclenchant automatiquement en cas de variation (ΔT) déclenchant le réglage), c'est ce paramètre qui sera pris en compte dans le calcul d'incertitude type.

➤ Excentration

La balance peut être affectée par la position du corps déposé sur son plateau. Si cette position est changée, l'indication l'est aussi. La valeur de l'excentration est choisie :

- Soit selon l'utilisation de la balance ;
- Soit selon, des critères normalisés.

L'effet d'excentration de charge induit sur le résultat d'une pesée une incertitude type, (u_{exc}) . En considérant une distribution triangulaire, cette incertitude est estimée par :

$$(u_{exc}) = \frac{|I_i - I_C|_{\max}}{\sqrt{6}} ;$$

Où $|I_i - I_C|_{\max}$ est la plus grande des valeurs $|I_i - I_C|$ obtenues.

➤ Masse volumique de l'air

La détermination de l'erreur d'indication prend en compte la poussée de l'air sur les étalons utilisés. Si la balance est utilisée dans un air de masse volumique différent, l'erreur d'indication n'est plus rigoureusement la même. La modification de l'indication de la balance est estimée à :

$$\frac{\Delta a}{r_0} \cdot x ;$$

avec

- $\Delta a = a_u - a_e$, où :
- a_u : masse volumique de l'air ambiant lors de l'utilisation de l'instrument,
- a_e : masse volumique de l'air ambiant lors de l'étalonnage de l'instrument,
- $r_0 = 8\,000 \text{ kg.m}^{-3}$,
- x : résultat de la pesée.

7.

Exemples de calcul d'incertitudes d'étalonnage

En général, dans les conditions habituelles de pesées, l'influence de la masse volumique de l'air au moment de la pesée est négligée dans l'expression du résultat. Dans ce cas, l'incertitude-type associée à cette non-correction, notée u_A , est prise égale à :

$$u_A = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta a}{r_0} \cdot x$$

En prenant en compte un écart maximal Δa de 10 % de la masse volumique de l'air, il en résulte une variation maximale de l'indication de $15 \cdot 10^{-6} \cdot x$. L'incertitude-type u_A qui y correspond est de l'ordre de $8,7 \cdot 10^{-6} \cdot x$.

Certains instruments permettent de s'affranchir de cette influence, en particulier les balances mono plateau munies de poids de substitution internes et les instruments de pesage disposant d'un système d'ajustage de la pente (calibrage) mis en œuvre avant l'étalonnage de l'instrument et avant son utilisation. Dans ce cas, $\Delta a = 0$.

8.1.4.4 Estimation de l'incertitude de la balance

➤ *Méthode de référence*

La répétabilité et la résolution sont sommées quadratiquement.

Les composantes définies en valeurs relatives sont sommées entre elles quadratiquement.

Une incertitude type composée u_c (IP) pour tout le domaine d'étalonnage peut être obtenue en linéarisant ces incertitudes composées en fonction de la masse par une formule du type :

$$u_c \text{ (IP)} = \alpha \cdot x + \beta ;$$

avec : α : terme constant proportionnel au mesurande, et β : terme constant.

Méthode alternative

La méthode alternative trouve son intérêt quand l'utilisateur ne souhaite connaître que l'incertitude en différents points de mesure et non sur toute l'étendue.

Les composantes d'incertitude sont sommées quadratiquement pour former l'incertitude type composée de la balance u_c (IP) pour chaque charge.

Comme avec la méthode de référence, l'incertitude combinée est indiquée sous la forme $u_c \text{ (IP)} = \alpha \cdot x + \beta$; avec : α : terme constant proportionnel au mesurande, et β : terme constant.

➤ *Incertitude élargie*

L'incertitude élargie U (IP) est obtenue en multipliant l'incertitude-type composée u_c (IP) par un facteur d'élargissement $K=2$:

$$U \text{ (IP)} = 2 \times u_c \text{ (IP)}$$

La valeur $K=2$ est prise car cela signifie que, pour une distribution normale des valeurs de mesure, la valeur de mesure est couverte par l'intervalle donnée avec un niveau de confiance de 95%.

7.

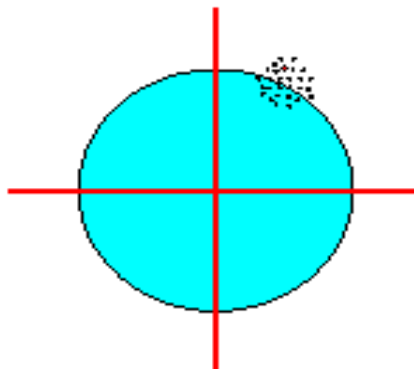
Exemples de calcul d'Incertitudes d'étalonnage

Composante	Incertitude type
Répétabilité	$u_x = (u_x)_e = s$
Résolution à vide	$(u_{d_0})_e = \frac{d_0}{\sqrt{6}}$
Résolution en charge	$(u_d)_e = \frac{d}{\sqrt{6}}$
Erreur d'indication	Sans correction $(u_{E_I})_r = ((u_{E_I})_i/x_i)_{\max} + ((E_I/2)_i/x_i)_{\max}$ Avec correction $(u_{E_I})_r = u(E_I)/x$ Modélisation $u_m(E_I)$
Pérennité des erreurs d'indication	$\frac{u_p(E_I)}{x} = (u_{E_I})$
Température	$(u_T) = C \times \left(\frac{\Delta T}{\sqrt{3}}\right) \times x$
Excentration de charge	$u_{exc} = \frac{ I_i - I_C _{\max}}{\sqrt{6}} \cdot x$
Masse volumique de l'air	$u_A = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta a}{r_0} \cdot x$
Incertitude combinée $u_c(IP) = \alpha \cdot x + \beta$	Sans correction
	$u_c(IP) = \sqrt{\left((u_x)^2 + (u_{d_0})^2 + (u_d)^2 + \left[\left\langle \frac{u((E_I)_i)}{x_i} \right\rangle_{\max} + \left\langle \frac{(E_I/2)_i}{x_i} \right\rangle_{\max} \right]^2 + \left(\frac{u_p(E_I)}{x} \right)^2 + \left(\frac{u_T}{x} \right)^2 + \left(\frac{u_{exc}}{x} \right)^2 + \left(\frac{u_A}{x} \right)^2} \cdot x$
	Avec correction
	$u_c(IP) = \sqrt{\left((u_x)^2 + (u_{d_0})^2 + (u_d)^2 + (u_m(E_I))^2 + u(E_I)^2 + \left(\frac{u_p(E_I)}{x} \right)^2 + \left(\frac{u_T}{x} \right)^2 + \left(\frac{u_{exc}}{x} \right)^2 + \left(\frac{u_A}{x} \right)^2 \right) \cdot x}$
Incertitude élargie	$U(IP) = 2 \times u_c(IP)$

8.

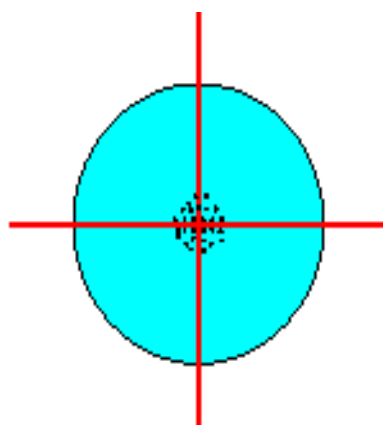
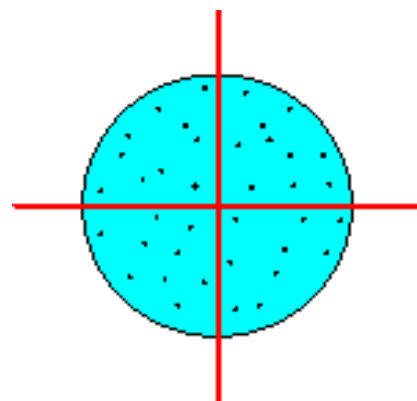
Annexes

Annexe 0 : Justesse et fidélité : savoir bien atteindre le milieu de sa cible



Je suis fidèle, mais je ne suis pas juste
Bien groupé mais raté : à coté

Je suis juste, mais je ne suis pas fidèle
Raté de peu : a quelques poils près

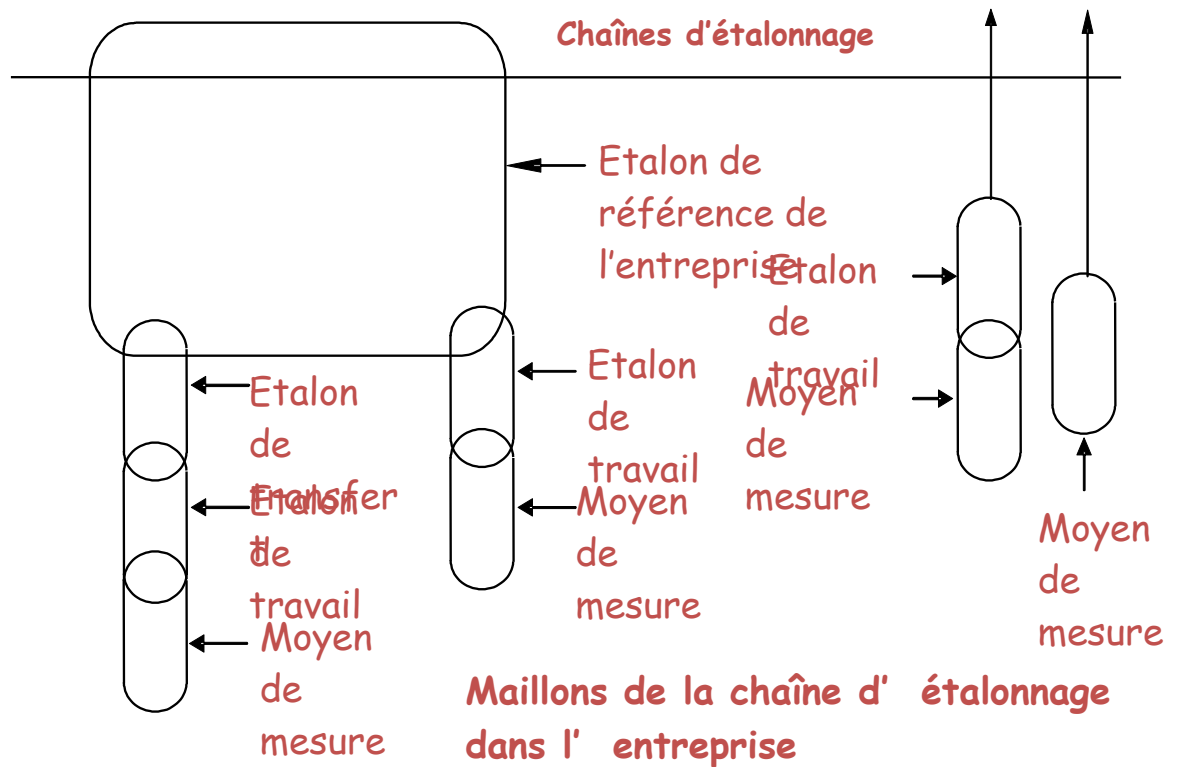


Je suis juste et fidèle

8.

Annexes

Annexe 1 : Chaîne d'étalonnage dans l'entreprise



Extrait en partie de la norme NF X 07-010 :
chaîne d'étalonnage dans l'entreprise

9. Bibliographies

- [1] Norme NF EN ISO 10012 Systèmes de management de la mesure Exigences pour les processus et les équipements de mesure. AFNOR – Septembre 2003
- [2] Norme ISO/CEI 17025 Prescriptions générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais. AFNOR – Mai 2005
- [3] JCGM 200:2012 - Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés.
- [4] Norme NF X07-016 Métrologie – Essais – Métrologie dans l'entreprise – Modalités pratiques pour l'établissement des procédures d'étalonnage et de vérification des moyens de mesure. AFNOR – Décembre 1993
- [5] Norme NF ISO 10012-2 / X07-009-2 assurance de la qualité des équipements de mesure – partie 2 : lignes directives pour la maîtrise des processus de mesure. AFNOR – Décembre 1997
- [6] Incertitudes de mesure - Applications concrètes pour les essais - Tome 2 : Abdérafi Charki, Patrick Gérasimo, Mohamed El Mouftari, Yvon Mori, et Christian Sauvageot
- [7] Guide technique d'accréditation : Etalonnage d'Instruments de Pesage à fonctionnement Non-Automatique : Document - LAB GTA 95 - Révision 00