



Ateliers RESOMAR 2016

Notions essentielles sur la caractérisation métrologique d'un système de mesure

Marc Le Menn

1 - Généralités

Objectif de mon intervention et de la journée : présenter des notions essentielles de métrologie indispensables pour caractériser vos pratiques et en estimer l'incertitude.

Ensemble des définitions issues de la 3^{ème} édition du 'Vocabulaire International de Métrologie' ou **VIM-2008** édité par le BIPM et téléchargeable gratuitement sur www.BIPM.org.

La métrologie qu'est-ce exactement ?

Selon le VIM et le dictionnaire : c'est "*la science des mesures et ses applications*".

=> QU'EST-CE QU'UNE MESURE?

le rattachement ou la comparaison à une référence

=> QU'EST-CE QU'UNE RÉFÉRENCE?

un élément qui sert de point de départ à une comparaison.

1 - Généralités

Qu'est-ce qu'une valeur de référence ?

C'est la valeur d'une grandeur qui sert de base de comparaison pour les valeurs de grandeurs de même nature.

- Doit répondre à des critères de stabilité temporelle ;

-> Notion de **dérive** (**drift**): variation continue ou incrémentale (grandeurs numériques ou discrètes) dans le temps, d'une indication due aux variations des propriétés métrologiques d'un instrument.

- et de stabilité vis-à-vis des conditions expérimentales : température, humidité, vibration, perturbations électromagnétiques ...

-> Notion de **grandeur d'influence** : grandeur qui a un effet sur la relation entre ce que mesure l'instrument et le résultat final.

Mesurande : grandeur particulière que l'on veut mesurer ou objet de la mesure.

Mesurage = mesure = **measurement**

2 – Définitions de termes propres au mesurage

Étalonnage : opération qui établit une relation entre les valeurs d'un étalon associées à des incertitudes et les valeurs d'une indication avec ses incertitudes, puis qui utilise cette information pour établir une relation qui permet d'obtenir un résultat de mesure. (*nouvelle définition. Un peu compliquée!*).

Calibration = étalonnage en français !

Ajustage (ou calibrage) (# calibration) (Adjustment): opérations réalisées sur un système de mesure pour qu'il fournisse des indications correspondant à des valeurs données des grandeurs à mesurer. (*nouvelle définition*).

Vérification d'étalonnage (Verification of calibration): fourniture de preuves tangibles qu'un système de mesure satisfait à des exigences spécifiées. (*nouvelle définition*).

Après un ajustage, il est nécessaire de réaliser une vérification d'étalonnage.

2 – Définitions de termes propres au mesurage

- **La valeur vraie (true value)**: c'est la valeur d'une grandeur qui est compatible avec la définition de la grandeur (ça correspond à la valeur que l'on obtiendrait avec un mesurage parfait).
- **Valeur de référence τ (reference value)** : c'est la valeur d'une grandeur qui sert de base de comparaison pour les valeurs de grandeurs de même nature.
- **L'erreur de mesure “ e_i ”** : c'est l'écart observé entre la valeur mesurée x_i d'une grandeur et une valeur de référence τ .

e_i est composée d'une partie **systematique** ε que l'on appelle aussi **biais (bias)** et d'une **partie aléatoire** ' e_{ai} ' qui constitue le **bruit de mesure** :

$$x_i = \tau + \varepsilon + e_{ai} \quad \text{Modèle du GUM}$$

- **La moyenne μ ou espérance mathématique** : c'est le résultat d'une infinité de mesures réalisées dans les mêmes conditions.

Si les mesures sont réalisées n fois : $x_i = \mu + e_{ai}$

2 – Définitions de termes propres au mesurage

- **L'incertitude de mesure** : paramètre qui permet de caractériser la dispersion des valeurs attribuées à un mesurande.
- **La fidélité (precision)** : étroitesse de l'accord entre les valeurs mesurées obtenues par des mesurages répétés du même objet dans des conditions spécifiées.
- **La répétabilité (repeatability)**: c'est la fidélité des mesures que l'on obtient quand on répète le mesurage un certain nombre de fois dans des conditions identiques (même procédure, même système de mesure, même lieu...)
- **La reproductibilité (reproducibility)** : c'est la fidélité des mesures que l'on obtient quand on répète le mesurage un certain nombre de fois, dans des conditions de mesure différentes : lieu, opérateur, variable d'influence ...
- **L'exactitude (accuracy)** : c'est l'étroitesse de l'accord entre une valeur mesurée et une valeur vraie d'un mesurande.

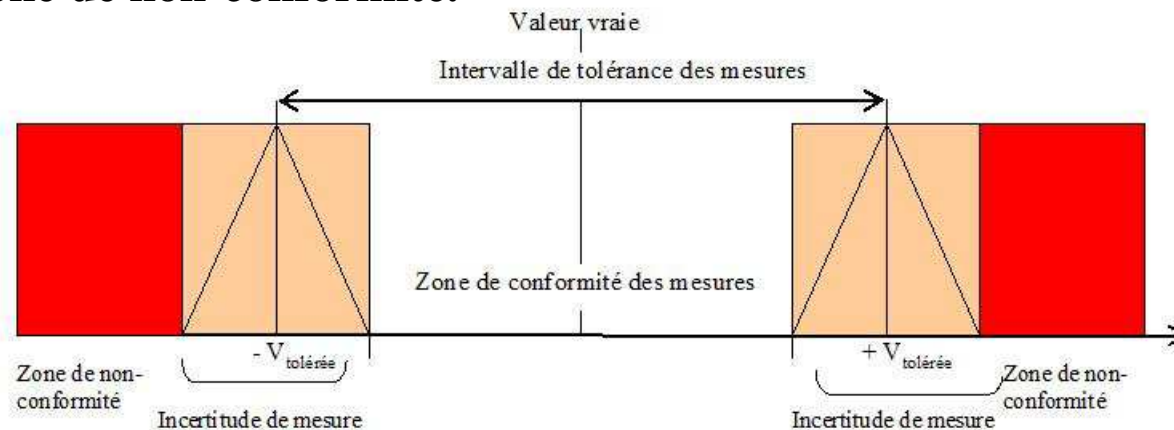
2 – Définitions de termes propres au mesurage

- **La justesse (trueness)** : c'est l'écart entre la moyenne d'un nombre infini de valeurs mesurées répétées et une valeur de référence.
- Le terme de « **précision** », qui est encore souvent employé, n'a plus de définition dans les normes qui régissent la mesure. Donc son emploi doit être banni.

Lorsqu'un client spécifie un produit, il doit le faire par rapport à une **erreur maximale tolérée** ou **EMT**.

La détermination d'une incertitude élargie et la connaissance d'une EMT permettent de fixer :

- ↔ **une zone de conformité des mesures;**
- ↔ **Une zone de doute où les données présentent des risques de non-conformité;**
- ↔ **Une zone de non-conformité.**



3 – Définitions de termes propres aux systèmes de mesure

- **Résolution** : plus petite variation de la grandeur à mesurer qui produit une variation perceptible de l'indication correspondante.
- **Sensibilité** : rapport de la variation d'une indication d'un système de mesure par la variation correspondante de la valeur de la grandeur mesurée.

Si A_e désigne l'amplitude du signal en entrée et A_s l'amplitude du signal en sortie :

$$\text{Sensibilité} = dA_s / dA_e$$

- **Linéarité** = sensibilité constante sur étendue de mesure.
- **Temps de réponse** : durée entre l'instant où l'entrée d'un système de mesure subit un changement brusque et l'instant où l'indication correspondante se maintient entre 2 limites spécifiées en régime établi.
- **Réponse en fréquence** : variation de la sensibilité du système en fonction de la fréquence du signal d'entrée.
- **Bande passante** : bande de fréquences où la sensibilité reste sensiblement constante.

4 – Les différents types d'incertitude

L'évaluation d'une incertitude de mesure consiste à chiffrer la valeur de la partie aléatoire de l'erreur.

Avant d'effectuer ce chiffrage, il faut avoir corrigé les erreurs systématiques de mesure, lorsque cela est possible.

L'évaluation de l'incertitude introduite par le mesurage d'une grandeur Y repose :

- d'une part, sur l'évaluation de l'influence que toutes les grandeurs d'entrée X_i peuvent avoir sur la grandeur de sortie Y ,
- et d'autre part sur l'expression de la (ou des) relation(s) mathématique(s), si elle(s) existe(nt), qui lie(nt) Y à ses composantes X_i : $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$.

L'étude de l'influence des grandeurs d'entrée X_i peut se faire par **une évaluation dite de type A** (statistique) ou par **une évaluation dite de type B** (empirique).

Elle se traduit toujours par l'estimation d'un écart type que l'on appelle 'incertitude type' ou 'standard uncertainty' et que l'on note $u(X_i)$.

L'évaluation dite de type B repose sur un jugement scientifique et une expérience pratique qui sont fondées sur la variabilité possible des grandeurs d'influence X_i .

4 – Les différents types d'incertitude

Quand l'évaluation de l'influence des grandeurs X_i a été réalisée, on procède ensuite au calcul d'une **incertitude dite composée** $u_c(y)$ (**combined uncertainty**) de la grandeur finale à mesurer Y .

Le résultat que l'on obtient doit être représentatif de la dispersion des mesures de la grandeur Y .

Il doit donc être **exprimé sous la forme d'une variance ou plus exactement, d'un écart type que l'on appelle incertitude composée** ou $u_c(y)$.

L'incertitude composée $u_c(y)$, peut être utilisée pour exprimer de façon universelle l'expression d'un résultat de mesure.

Cependant, si l'on veut fournir un intervalle dans lequel on a le plus de chance de voir se situer la distribution des valeurs de Y , il faut calculer une **incertitude dite élargie** U (**expanded uncertainty**).

U s'obtient en multipliant l'incertitude composée $u_c(y)$ par un **facteur d'élargissement** k (**coverage factor**):

$$U = k \cdot u_c(y)$$

Le résultat d'un mesurage devra donc s'exprimer sous la forme : $Y = \bar{y} \pm U$.