

Mesurer une grandeur n'est pas simplement rechercher la valeur de cette grandeur mais aussi lui associer une incertitude afin de pouvoir qualifier la qualité de la mesure. Cette incertitude est associée aux erreurs de mesures qui peuvent être dues à l'instrument de mesure, à l'opérateur ou à la variabilité de la grandeur mesurée.

L'incertitude de mesure est la valeur qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être attribuées à la grandeur mesurée.

IV.1. Concept d'incertitude de mesure

Dans son acception la plus large, le mot incertitude signifie doute !

L'expression incertitude de mesure a une acception quelque peu différente, c'est le paramètre qui caractérise la dispersion des valeurs attribuées à un mesurande à partir des informations utilisées. Le paramètre peut être, par exemple, un écart-type ou un multiple de celui-ci.

En pratique, la valeur vraie d'une grandeur mesurée est inaccessible mais l'incertitude de mesure permet de définir l'intervalle dans lequel se situe avec une probabilité donnée, 95% environ pour une loi (distribution) normale, la valeur supposée vraie du résultat que l'on communique.

L'incertitude est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande de il peut être :

- Un écart-type statistique.
- Un multiple d'écart-type ;
- La demi-largeur d'un intervalle de confiance déterminée.

Remarque : Un résultat quantitatif d'analyse n'est véritablement complet que s'il est accompagné de l'évaluation quantitative de son incertitude.

IV.2. Présentation d'une mesure avec son incertitude

(X + U_X) (Unité)

- **U_X** : L'incertitude absolue a la même unité que X $U_r = U_X/X$.
- L'incertitude relative est sans dimension (%) ;
- U_X a au plus deux chiffres significatifs ;

➤ U_x est toujours arrondi par valeur supérieure.

➤ **[NE JAMAIS SOUS-ESTIMER UNE INCERTITUDE]**

1. L'erreur de mesure aléatoire

Lorsqu'un même opérateur répète plusieurs fois, dans les mêmes conditions, le mesurage d'une même grandeur, les valeurs mesurées peuvent être différentes.

➤ On parle alors d'erreur de mesure aléatoire. L'incertitude associée est une incertitude de répétabilité dite de type A.

Une incertitude de type A est évaluée par des méthodes statistiques qui mettent en jeu la moyenne et l'écart-type. Elle est issue de l'exploitation d'un nombre important de valeurs mesurées tel que (Eq 1):

(Eq1)

$$U_A = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_i - m)^2}, \text{ avec } m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i$$

Tels que :

m : la moyenne de n mesure

σ : Ecart type

Dans la pratique, on ne peut réaliser qu'un nombre limité de mesurages. Pour prendre en compte ce nombre limité, on multiplie l'incertitude-type par un facteur k appelé facteur d'élargissement.

$$U_A = K \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

Avec :

U_A : incertitude élargie

K : Facteur d'élargissement

σ : Ecart type

2. L'erreur systématique

Lors d'une mesure unique, la précision de l'appareil de mesure, la façon dont il est utilisé et la qualité du mesurage sont à prendre en compte :

- **l'erreur correspondante est l'erreur systématique et l'incertitude associée est dite de type B.**

L'évaluation de celle-ci nécessite de rechercher toutes les sources d'erreur et d'évaluer l'incertitude associée à chaque source.

Pour les incertitudes de type B, on considère que l'incertitude de mesure à prendre en compte est l'incertitude élargie $U_B = 2u_B$, pour un niveau de confiance de 95%.

3. Incertitude type composée

Lors d'un mesurage, la détermination de l'erreur de mesure nécessite de prendre en compte les deux composantes précédentes (**Figure 1**).

Résultat de mesure = valeur vraie + erreur aléatoire + erreur systématique.

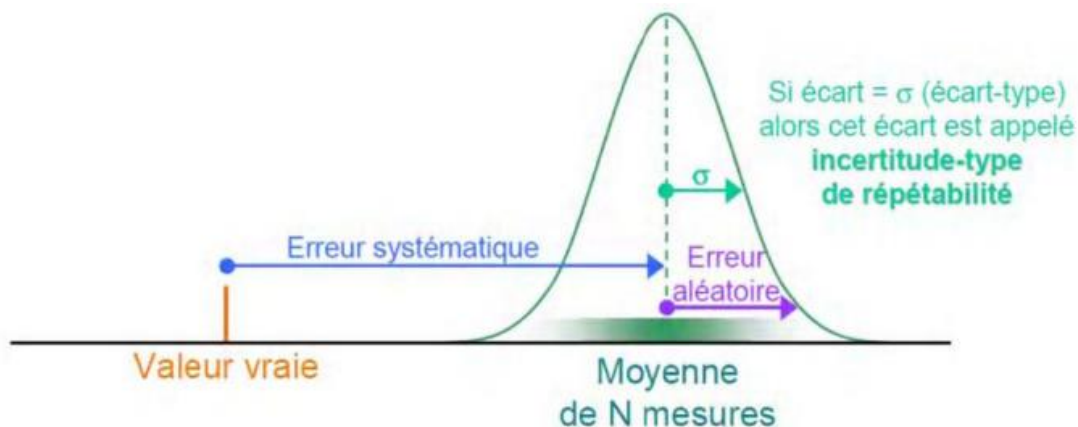


Figure 1 : Incertitude type composée

4. Composition des incertitudes A et B

Dans le cas où l'on dispose d'une série de mesures et que chacune d'entre elles est affectée d'une incertitude de type B, on obtient l'incertitude-type composée (**Eq 2**) :

$$U = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad U = 2u ; M = m \pm u \quad (\text{Eq2})$$

IV.3. L'estimation de l'incertitude

L'estimation de l'incertitude va au-delà du calcul d'un intervalle (de confiance ou de répartition) car toutes les sources d'erreurs doivent être prises en compte. La figure 2 résume l'ensemble des étapes généralement proposées pour estimer l'incertitude.

La première étape est de définir le mesurande, en portant une attention particulière sur le processus de calcul qui va permettre de passer à la deuxième étape qui est l'identification des sources d'incertitudes.

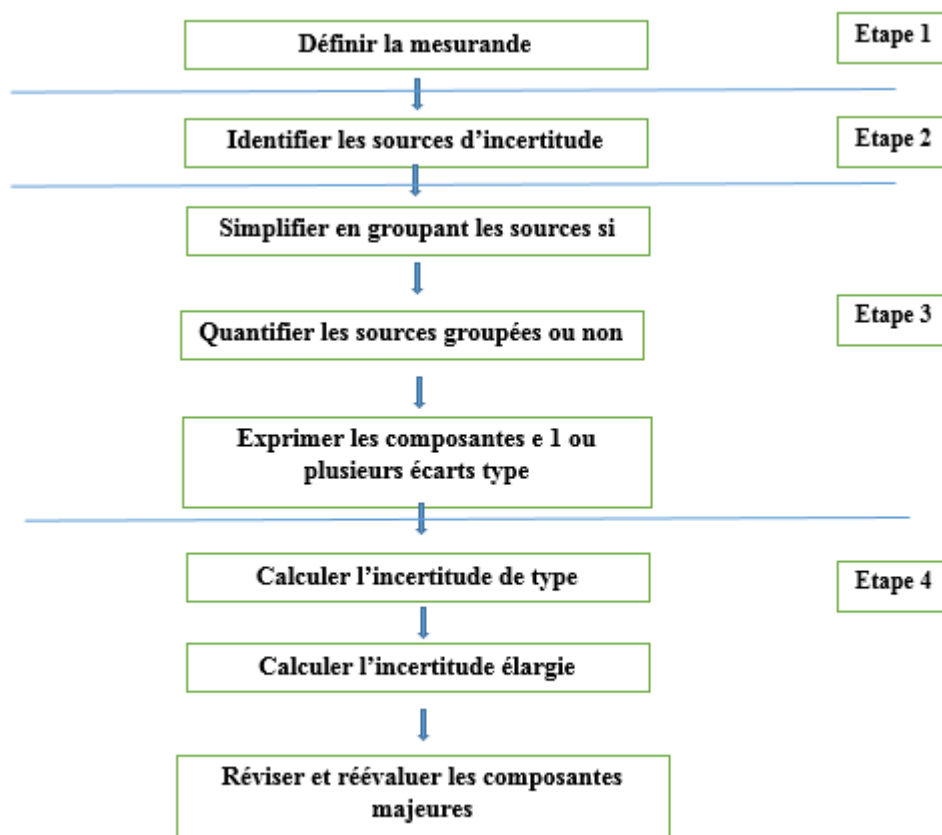


Figure2 : Processus d'évaluation de l'incertitude.

(D'après Max Feinberg, 2009, et modifié par le groupe GT Val 2)

En utilisant le principe du diagramme général des causes et effets de type Ishikawa, les principales sources peuvent être regroupées en 5 modalités ou règle des 5 M : Main d'œuvre, Moyen, Milieu, Matière, Méthode. Le diagramme est présenté sur la figure 3.

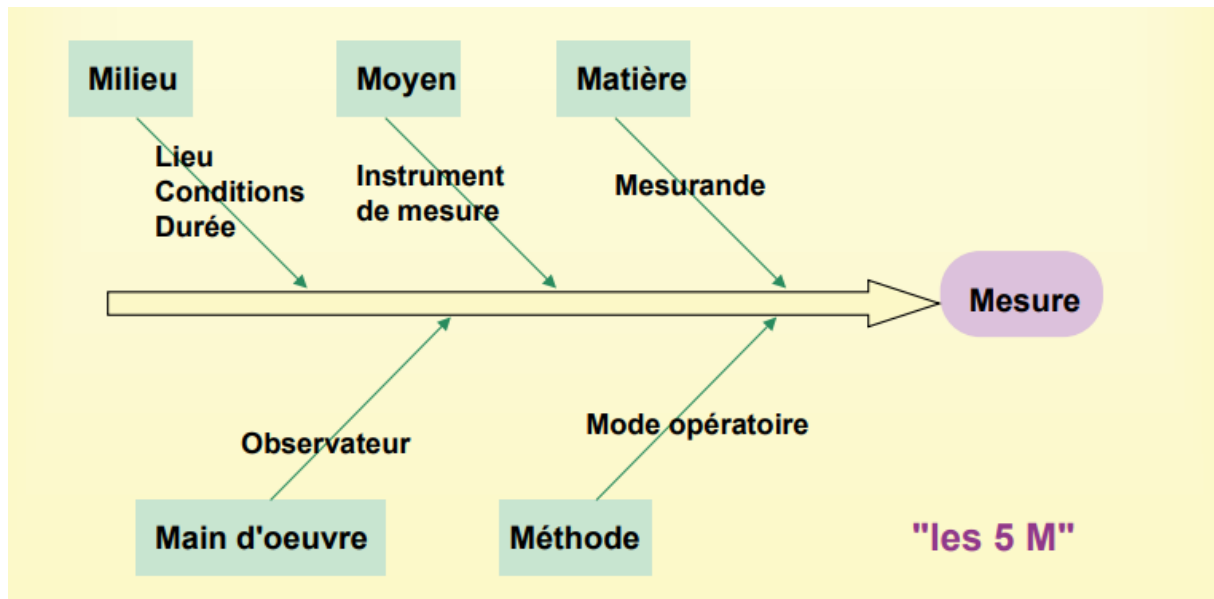


Figure 3 : Recherche des erreurs

- En ce qui concerne la main d'œuvre, il faut considérer tout ce qui est lié aux opérateurs, ou tout personnel intervenant dans ou sur le processus de réalisation de la méthode d'analyse.
- La source d'erreur concernant les moyens intègre les équipements de mesure, la pureté des réactifs, etc. Pour ce qui concerne le milieu, il faut prendre en compte les installations mais également une partie aléatoire.
- Les principales sources d'erreur dans la matière sont à la fois dues à des erreurs dans l'échantillonnage, mais également dans les conditions de conservation ou toute autre source liée à l'échantillon (variation biologique, etc.).
- Enfin, pour ce qui concerne la méthode, les sources d'erreur doivent inclure l'ensemble des facteurs inhérents à la méthode : préparation de l'échantillon, matériel de laboratoire (ex : verrerie), stœchiométrie des réactions, processus de calcul, correction du blanc, etc.

IV. Les exigences de la norme NF EN ISO 15189

« Le laboratoire doit déterminer l'incertitude des résultats, dans les cas où cela est pertinent et possible. Toutes les composantes importantes de l'incertitude doivent être prises en compte. Les sources contribuant à l'incertitude peuvent inclure l'échantillonnage :

- la préparation des échantillons,
- la sélection des aliquotes d'échantillon, les calibrateurs, les matériaux de référence,
- les grandeurs d'entrée, l'équipement utilisé, les conditions environnementales, l'état de l'échantillon et les changements de manipulateur.

Toutes les procédures analytiques doivent être documentées, être disponibles au poste de travail du personnel concerné.

Le principe de la méthode de calcul des résultats, incluant l'incertitude de mesure devrait faire partie de la documentation.

Le laboratoire peut fournir, sur demande, des informations sur la limite de détection et l'incertitude de mesure dans le compte rendu d'analyse. »