Une norme pour la détermination des incertitudes de mesures : NF ENV 13005

GUIDE POUR L' EXPRESSION DE L' INCERTITUDE DE MESURE (GUM)

Introduction :
Les instances de normalisation (ISO, BIPM, AFNOR,…) ont publié en août 1999 un « guide pour l'expression de l'incertitude de mesure ». Le concept d'incertitude est relativement nouveau dans l'histoire de la mesure bien que l'erreur et l'analyse des erreurs soient des concepts depuis toujours pratiqués en métrologie. Avant ce guide, plusieurs approches existaient pour chiffrer les incertitudes de mesurage avec les inconvénients que cela entraînait sur l'analyse et sur la comparaison des résultats.

Définition :
Incertitude de mesure : Paramètre qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourrait raisonnablement être attribuées à la grandeur mesurée. La norme retient deux types d'incertitudes : Les incertitudes de type A et les incertitudes de type B

Notation employée :
u : Incertitude-type. Incertitude du résultat d'un mesurage exprimée sous la forme d'un écart type.

U : Incertitude élargie. Egale à l'incertitude type multiplié par un facteur d'élargissement k associé à un niveau de confiance .

L'incertitude de type A

C'est le cas où l'opérateur fait toute une série de mesures. Le traitement des erreurs est statistique : *moyenne, écart-type, …* Cette analyse statistique se fait lorsqu'on a peu d'indications sur les sources d'erreurs**.**

Cas d'une série de mesures indépendantes, l'incertitude type est obtenue par le calcule de l'écart type.

$$\boxed{u = \sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_i \left(g_i - \overline{g}\right)^2}{n-1}}}$$

avec : $\overline{g}$ la moyenne des mesures : $\overline{g} = \frac{1}{n}\sum g_i$

g est le résultat de la mesure de la grandeur G à mesurer

Si la distribution des mesures suit une loi gaussienne, alors, σ_{n-1} est un bon estimateur de l'incertitude.

L'incertitude de type B

C'est le cas où il est impossible, voire difficile de faire un calcul statistique (cas de la mesure unique). L'opérateur doit chercher et évaluer les sources d'erreurs.

Faire un bilan des erreurs :

- Les erreurs systématiques telles que l'erreur de parallaxe, le réglage du zéro de l'appareil, les erreurs de méthode, le vieillissement des composants, …
- Les erreurs aléatoires telles que les erreurs de lecture ou dues à l'appareil lui-même, ou dues aux conditions extérieurs (température et dilatation, pression atmosphérique, humidité,…).

Chiffrage des erreurs

- la norme conseil d'utiliser l'incertitude type si celle-ci est fournie par le constructeur de l'instrument de mesure.
- Si le constructeur fournie l'incertitude sous la forme : $\Delta c = \pm\ldots$, alors,

  L'incertitude est $\boxed{u = \frac{\Delta c}{\sqrt{3}}}$

- Dans le cas des appareils de type analogiques, (exemple : multimètre à cadran, comparateur à cadran…)

  L'incertitude est $\boxed{u = \frac{\Delta c}{\sqrt{12}}}$ où Δc correspond à une division

- Lorsque l'incertitude suit une loi normale :

  L'incertitude est $\boxed{u = \frac{\Delta c}{3}}$

Incertitude-type composée :

Lorsque l'incertitude est issue de plusieurs sources d'incertitudes indépendantes, on évaluera pour chacune de ces sources, l'incertitude u_1, u_2, …,u_n due à chaque source. L'incertitude sur la grandeur d'entrée est alors évaluée par une incertitude composée u obtenue par :

$$\boxed{u^2 = \sum u_i^2}$$

Lorsque l'incertitude est issue de plusieurs paramètres liés par une relation mathématique, on applique la loi de propagation des incertitudes :

$$\boxed{u^2(y) = \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{\partial f}{\partial xi} \right)^2 \times u^2(xi)}$$

Incertitudes élargies :

L'incertitude élargie U s'obtient en multipliant l'incertitude-type composée u par un facteur d'élargissement.

$$\boxed{U = k \times u}$$

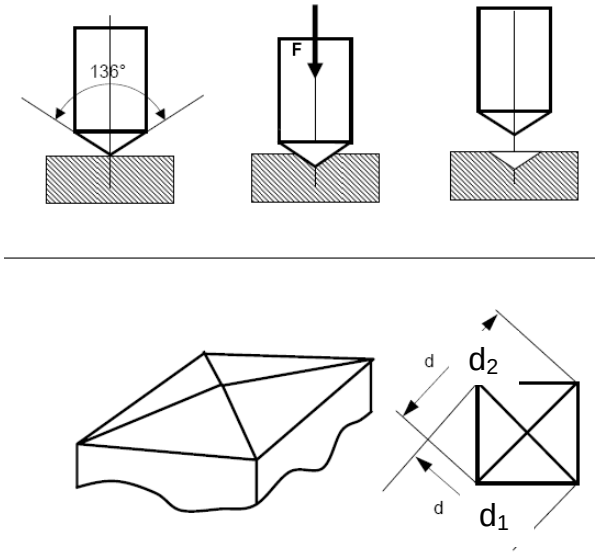
k = 2 *pour une confiance à 95 %.*
k = 3 *pour une confiance à 99 %.*

Calcul d'incertitude

Exemple :

La dureté Vickers a été conçue dans les années 1920 par les ingénieurs de la société Vickers en Angleterre. Elle est caractérisée par l'empreinte faite par un poinçon sous une charge donnée durant 15 secondes. Le poinçon est formé d'une pyramide en diamant à base carrée dont les faces opposées font un angle de 136°. La charge appliquée est comprise entre 1 et 120 daN. Le côté de l'empreinte est de l'ordre de 0,5 mm, la mesure s'effectuant à l'aide d'un microscope. La dureté Vickers (**HV**) est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$HV = 0.189 \times F / d^2 \quad \text{avec } d = (d_1 + d_2) / 2$$



Exemple de résultat d'essai : F = 100 N on a d1= 0.44 mm et d2 = 0.48 mm $\Rightarrow$ d = 0.46 mm

Bilan des erreurs :

Composantes d'erreurs	Réf.	Type A ou B	Δ	commentaires
Justesse du microscope	Δ_1	B	±0.004	*Distorsion de l'objectif du microscope, chiffre donné par le fabricant : 0.04/1000. Pour un grossissement x100, Δ =± (0.04/1000) x 100*
Résolution	Δ_2	B	0.01	*Mesure avec une règle graduée en verre : entre deux graduations : 0.01 mm*
Erreur de lecture	Δ_3	B	±0.004	*Erreur de parallaxe et appréciation visuelle des marques de l'empreinte sur la pièce ± 0.004*
Charge appliquée :	Δ_4	B	±0.1	*Exprimée en N, la charge appliquée =100N avec une précision à ± 0.1/100*
Méthode	Δ_5	A	0	*Pas suffisamment d'informations notamment sur la rectification des surfaces et la qualité du posage*

Calcul :

En appliquant la loi de propagation des incertitudes on a :

$$u^2(HV) = 0.189 \times \left[\frac{\partial}{\partial F}\left(\frac{F}{d^2}\right)\right]^2 \times u_F^2 + 0.189 \times \left[\frac{\partial}{\partial d}\left(\frac{F}{d^2}\right)\right]^2 \times u_d^2$$

Pour cela il faut déterminer les incertitudes type de chacune des sources d'erreurs :

- Pour la charge F :

$u_F = \frac{\Delta_4}{\sqrt{3}}$ avec $\Delta_4 = 0.1$

$u_F = \frac{0.1}{\sqrt{3}}$ = *0.058 daN*

- Pour la mesure de la diagonale d

$u_d^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2$ avec $u_1 = \frac{\Delta_1}{\sqrt{3}}$ $u_2 = \frac{\Delta_2}{\sqrt{12}}$ $u_3 = \frac{\Delta_3}{\sqrt{3}}$

$u_1 = \frac{0.004}{\sqrt{3}}$ $u_2 = \frac{0.01}{\sqrt{12}}$ $u_3 = \frac{0.004}{\sqrt{3}}$

$u_1 = 0.0023$ $u_2 = 0.0029$ $u_3 = 0.0023$

$u_d^2 = 0.0023^2 + 0.0029^2 + 0.0023^2$

$u_d^2 = 0.000019$

$u_d = 0.0043mm$

$$u^2(HV) = 0.189 \times \left[\frac{1}{d^2}\right]^2 \times u_F^2 + 0.189 \times \left[\frac{-2F}{d^3}\right]^2 \times u_d^2$$

AN :

$$u^2(HV) = 0.189 \times \left[\frac{1}{0.46^2}\right]^2 \times 0.058^2 + 0.189 \times \left[\frac{-2 \times 100}{0.46^3}\right]^2 \times 0.0043^2$$

$u^2(HV)$ = 14.76
$u(HV)$ = 3.8

$$HV = 0.189 \times \frac{100}{0.46^2} = 89.3$$

Pour une confiance à 95% : k=2 on : HV = 89.3 ± 7.6 (suivant l'échelle de dureté Vickers)