

# TOUT SE JOUE DANS LA DEFINITION DU MESURANDE QUELLES QUE SOIENT LES METHODES DE QUANTIFICATION DE L'INCERTITUDE

## *WHATEVER THE UNCERTAINTY MEASUREMENT QUANTIFICATION METHOD, MEASURAND DEFINITION IS THE NECESSARY FIRST STEP*

Michèle Désenfant, Marc Priel  
Laboratoire National de Métrologie et d'Essais  
LNE  
1, rue Gaston Boissier  
75724 Paris cedex 15

### Les différentes approches de l'évaluation de l'incertitude

#### Résumé

Si différentes approches de quantification de l'incertitude de mesure ou d'essais sont possibles, il existe une étape indispensable et commune à toutes ces approches, appelée dans cet article étape d'analyse : la définition complète du mesurande et la liste des sources d'incertitude. Comme cette étape est le point de départ de la démarche analytique, présentée dans le GUM, pour écrire « la modélisation du mesurage », elle est bien connue et appliquée dans cette approche.

Nous montrerons à l'aide d'exemples utilisant les résultats d'essais interlaboratoires, l'intérêt à ne pas négliger cette étape d'analyse dans les autres approches.

#### Abstract

Different approaches for quantifying measurement uncertainty are possible. Common to all of them, the essential step is the complete definition of measurand and the list of sources of uncertainty. This step is the beginning of the analytical approach, presented in the GUM, for modelling the measurement. So, it's well known and applied in this approach.

We will show with examples dealing with interlaboratory comparison results, the significance to consider this analytical step in other approaches.

Les concepts fondamentaux d'évaluation de l'incertitude sont définis dans le GUM [1] au chapitre 3. Ces concepts comprennent une étape importante, l'étape d'analyse qui consiste à définir précisément le mesurande et à déterminer les sources d'incertitude susceptibles d'être significatives.

Le GUM propose également une procédure d'évaluation et d'expression de l'incertitude qui repose sur l'écriture d'un modèle physique, où une relation fonctionnelle  $f$  relie les grandeurs d'entrée notées  $x_1, x_2, \dots, x_N$  au mesurande noté  $y, y=f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ . L'évaluation des incertitudes-types de ces grandeurs d'entrée, éventuellement des covariances, puis l'application de la loi de propagation des incertitudes en utilisant  $f$ , sont résumées au chapitre 8 du GUM. Cette approche est appelée classiquement, méthode analytique.

Mais d'autres approches de quantification de l'incertitude existent, elles sont présentées en figure 1. Ce schéma, mis en place au LNE, est maintenant porté à EuroLab Expert Group on Measurement Uncertainty, par Marc Priel. Notons que ces différentes approches sont aussi évoquées dans le document EA 4/16 [2].

Les différentes approches exposées en figure 1 sont :

- Approche analytique (the analytical approach) procédure proposée dans le GUM, et évoquée ci-dessus.
- Approche "caractéristiques de la méthode" (the characteristics approach). Elle consiste à composer les incertitudes estimées à partir des caractéristiques de la méthode : justesse, répétabilité, linéarité, robustesse...
- Approche "performance de la méthode" (method performance approach). Il s'agit

d'utiliser les valeurs de fidélité d'une méthode publiées à l'issue d'une comparaison inter laboratoires où tous les laboratoires mettent en œuvre la même méthode (procédure de calculs selon la norme NF ISO 5725 [3]). Cette approche d'évaluation d'incertitude fait l'objet d'un texte international depuis 2004 : ISO TS 21748 [4].

- Approche "essais d'aptitude" (PTS approach). Un essai d'aptitude consiste à utiliser les inter comparaisons pour déterminer la performance d'un laboratoire en matière d'essais ou de mesurages (voir guide ISO 43-1 [5] et ISO/FDIS 13528 [6]). Ces résultats accompagnés de contrôle interne de dispersion pourraient être utilisés pour quantifier l'incertitude de mesure. Cette approche ne fait pas encore l'objet d'un texte mais des travaux sont engagés dans cette voie.

Par souci de clarté dans la présentation de la typologie des approches, nous avons défini 4 approches mais il est évident que des approches mixtes sont utilisées. Par exemple, si le laboratoire utilise une approche analytique (méthode GUM), la quantification de la répétabilité peut être obtenue par exploitation des résultats d'une carte de contrôle. Ce qui est important c'est d'avoir des outils pour la quantification des différents facteurs d'incertitude et d'éviter de compter deux fois les mêmes contributions.

Toutes les approches présentées ont un vecteur commun très important, l'étape d'analyse avec la définition du mesurande et la liste des composantes d'incertitude.

En d'autres termes, quelle que soit la façon de quantifier l'incertitude, l'étape d'analyse qui repose sur les concepts fondamentaux est nécessaire.

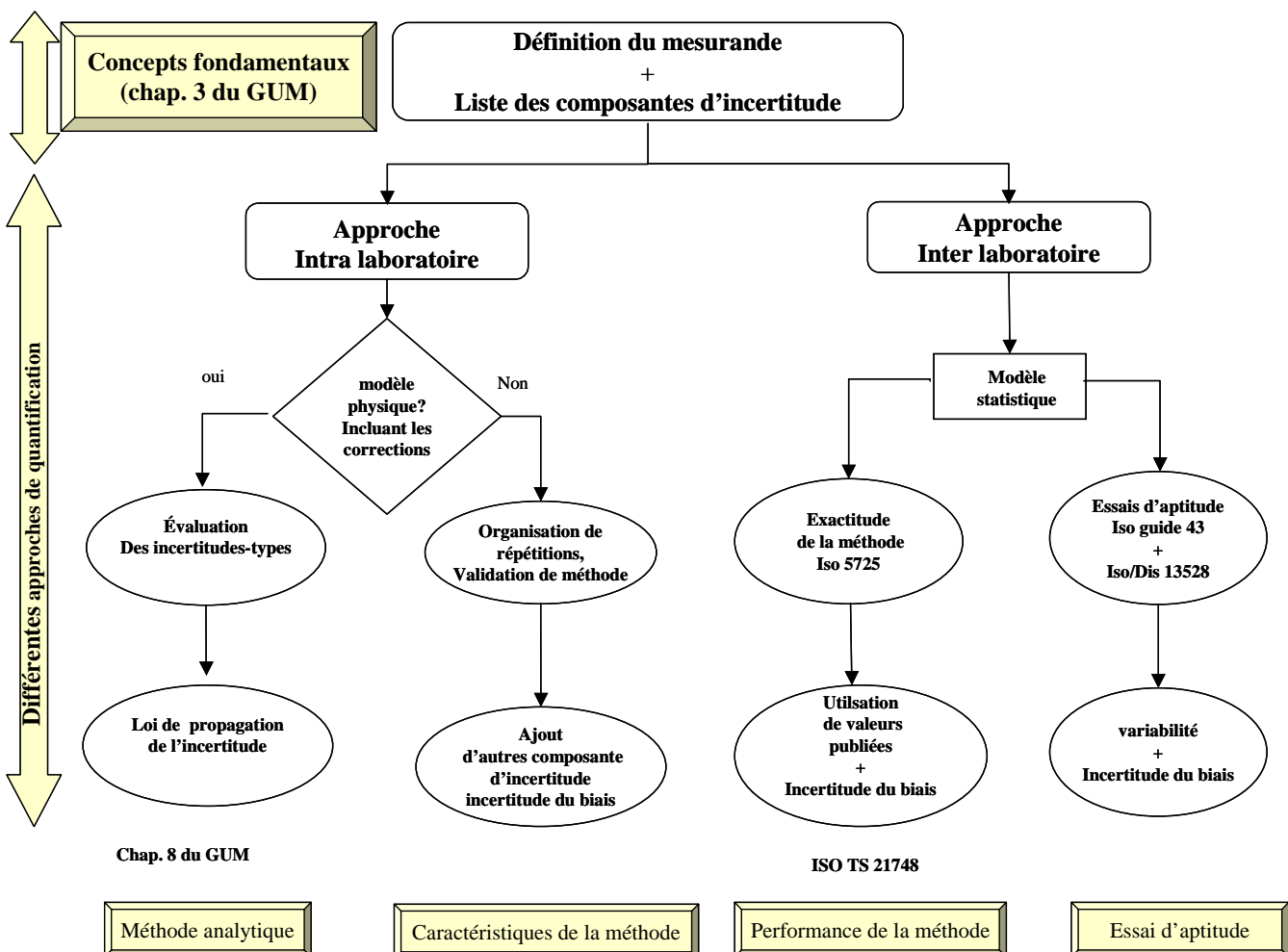


Figure 1 : Les différentes approches d'évaluation de l'incertitude

**Un exemple de l'approche « performance de la méthode »**

Pour illustrer ces propos, nous allons détailler un exemple de quantification de l'incertitude de mesure associé à une mesure de PCS (pouvoir calorifique supérieur) pour les matériaux de construction.

L'essai est effectué selon la norme NF EN ISO 1716 (nov. 2002) : Détermination de la chaleur de combustion. Dans cet essai, une éprouvette d'une masse spécifiée est brûlée dans des conditions normalisées, à un volume constant, dans une atmosphère d'oxygène, à l'intérieur d'une bombe calorimétrique étalonnée par la combustion d'un acide benzoïque certifié. Le pouvoir calorifique déterminé dans ces conditions, est calculé d'après l'élévation de température observée, en tenant compte de la perte calorifique.

$$PCS = \frac{E \cdot (\Delta\theta + c) - b}{m}$$

avec :

$E$  : équivalent en eau du calorimètre, de la bombe, de leurs accessoires et de l'eau introduite dans la bombe, en MJ/K (déterminer par calibrage avec matériau de référence)

$\Delta\theta$  : élévation de température, en K

$b$  : correction nécessaire de la chaleur de combustion des combustibles utilisés pendant l'essai, en MJ

$c$  : correction de température, nulle si une jaquette adiabatique est utilisée, en K.

$m$  : masse de l'éprouvette, en kg

PCS : en MJ/kg.

L'annexe B de la norme est consacrée à la fidélité de la méthode d'essai. Elle décrit les produits utilisés lors de l'essai interlaboratoire organisé par le CEN et publie les statistiques de l'essai interlaboratoire, dont voici un extrait :

Paramètre	Ecart-type de reproductibilité modélisé
PCS creuset (MJ / kg)	$S_R = 0,09 + 0,0287 \times PCS$

Avec ces informations, on pourrait être tenté de passer directement à la phase quantitative et d'appliquer cette formule pour estimer l'incertitude à la suite de la mesure de PCS, car le LNE a participé à cet essai interlaboratoire.

On omettrait l'étape d'analyse citée à plusieurs reprises dans le texte.

Il faut garder à l'esprit que le calcul d'incertitude s'appuie sur le processus de mesure et que celui-ci comprend généralement 3 grandes étapes :

- préparation de l'échantillon
- mesure (principe physique ou chimique)

- traitement mathématique du résultat (régression, ...)

En entrant dans les détails de la méthode, et principalement sur la phase préparation de l'échantillon, il est précisé dans la norme que si le matériau est multi-composants, le PCS doit être estimé pour chacun des composants en les séparant par délaminage, puis pondéré par la masse surfacique de chacun des composants.

Le mesurande de l'essai de routine est donc le PCS du matériau fourni, déterminé à partir d'une plaque échantillon d'environ 30 x 40 cm.

L'analyse des composantes d'incertitude a été effectuée selon le principe des 5M et est présenté figure 2.

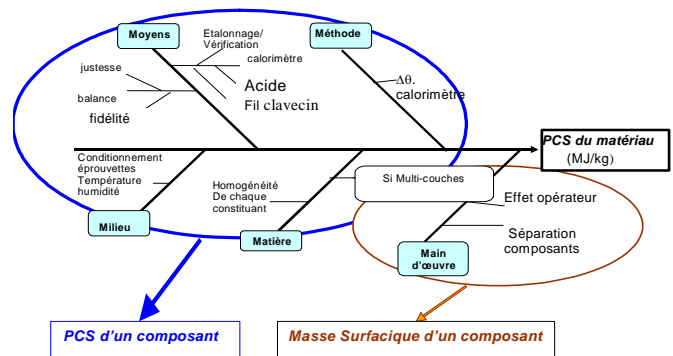


Figure 2 : graphique des 5M pour le PCS d'un matériau.

La phase d'analyse étant effectuée, il faut vérifier si le mesurande considéré est le même que celui de l'essai interlaboratoire ?

En discutant avec les techniciens, on apprend que l'intercomparaison a été effectuée avec des composants envoyés séparément. Les valeurs de fidélité publiées s'apparentent au PCS d'un composant, il est nécessaire de considérer les incertitudes de masse surfacique en plus.

Si on utilise l'écart-type de reproductibilité ( $S_R$ ) pour quantifier l'incertitude de mesure sans avoir mis en œuvre la phase d'analyse des sources d'incertitude et l'adéquation du mesurande on peut omettre des facteurs influents non négligeables.

## Un exemple de l'approche "essai d'aptitude" extrait de la biologie médicale

## Discussion

Dans l'exemple précédent, on voit combien l'étape de définition du mesurande et d'établissement de la liste des composantes d'incertitude est importante de loin la plus difficile.

Le domaine des analyses médicales n'échappe pas à cette règle. Pour des mesures de biochimie, par exemple le dosage du glucose, on peut utiliser la procédure décrite dans le GUM pour évaluer l'incertitude, mais il n'est pas réaliste d'envisager que les 4500 laboratoires de biologie médicale de France utilisent cette méthode pour évaluer leur incertitude.

Dans le domaine de la biologie médicale, de nombreux circuits d'essais d'aptitude sont organisés et l'une des idées débattue actuellement, est la possibilité d'utiliser les résultats de ces essais d'aptitude pour évaluer collectivement l'incertitude des analyses.

Prenons l'exemple de dosage du glucose et envisageons d'évaluer l'incertitude des résultats d'analyse en nous fondant sur les résultats d'essais d'aptitude mais également sur des données propres aux laboratoires, telles que la répétabilité (interne). La première question que nous devons nous poser est la définition du mesurande : le taux de glucose d'un sujet à jeun, mesuré soit au niveau du plasma soit du sérum. En particulier nous devons vérifier que la définition du mesurande lié aux échantillons, circulant lors de l'essai d'aptitude est bien représentatif des échantillons réels prélevés sur des patients.

Un examen rapide montre qu'il n'en est rien et donc que l'incertitude qui résulte de l'essai d'aptitude correspond uniquement à la phase analyse et pas à la phase pré-analyse, qui si on détaille, comprend le mode de conditionnement (tube sec, hépariné ou fluoré) et le milieu de l'analyse (plasma, sérum).

Il faut donc pour avoir l'incertitude correspondant au mesurande, ajouter l'incertitude des composantes de la phase pré-analyse à l'incertitude issue de l'essai d'aptitude.

Dans le cadre de cet article, nous avons souhaité montrer que dans tout processus d'évaluation de l'incertitude d'un résultat nous avons réellement deux phases essentielles, une phase d'analyse (définition du mesurande et identification des causes d'incertitude) et une phase de quantification.

Actuellement, plusieurs voies s'ouvrent pour la partie quantification et ce n'est généralement pas la partie la plus délicate, mais il faut bien être conscient qu'en amont de la quantification, l'étape de définition du mesurande est primordiale.

## Références

- [1] Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure. (NF ENV 13005)
- [2] EA-4/16 Lignes directrices d'EA pour l'expression de l'incertitude des résultats d'essais quantitatifs.
- [3] NF ISO 5725 Application de la statistique -Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure.
- [4] ISO/TS 21748. Application of statistics - Guide to the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation.
- [5] ISO/CEI Guide 43-1 Essais d'aptitude des laboratoires par intercomparaison – partie 1 Développement et mise en oeuvre de systèmes d'essais d'aptitude
- [6] ISO/FDIS 13528. Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude pour les comparaisons interlaboratoires.