

Propos recueillis par Jean-François PEYRUCAT

## LE FOCUS TECHNIQUE

# LES INCERTITUDES DE MESURE

Elle a beau être au cœur des enjeux industriels, la métrologie n'est pas reconnue à sa juste valeur. Malgré le travail qui a été fait au niveau international pour normaliser le vocabulaire, les mauvaises habitudes perdurent, peu font l'effort d'utiliser les termes appropriés comme on peut le voir par exemple lors de la lecture des fiches de spécifications des capteurs et instruments de mesure. La notion d'incertitude a également fait l'objet de travaux dantesques, mais elle n'est pas non plus suffisamment mise à profit, alors que c'est elle qui donne son sens à toute opération de mesurage. Nous avons demandé à quelques spécialistes de faire le point sur ces sujets... et bien d'autres. La métrologie fait débat.



**Michèle DESENFANT**  
Conseiller technique  
métrologie et statistiques  
au LNE



**Jean-Michel POU**  
Président et fondateur  
de Delta Mu



**Francis RICHARD**  
Directeur industriel & méthodes  
groupe Tescal



**Renald VINCENT**  
Ingénieur "expertise métrologie étalonnage"  
au Cetim

## LES INCERTITUDES DE MESURE EN 9 QUESTIONS

1. SELON VOUS, D'OÙ VIENT LE PROBLÈME DE LA CONFUSION ET DE L'INTERPRÉTATION DES TERMES UTILISÉS EN MÉTROLOGIE ? [PAGE 38](#)
2. Y A-T-IL UN ESPOIR D'ARRIVER À PLUS DE RIGUEUR CONCERNANT LE TERME "PRÉCISION" ? [PAGE 39](#)
3. ET POUR CE QUI EST DU TERME ANGLAIS "PRECISION" ? [PAGE 40](#)
4. LES EXIGENCES MÉTROLOGIQUES SONT-ELLES SURDIMENSIONNÉES PAR RAPPORT AUX BESOINS ? [PAGE 40](#)
5. PEUT-ON AUJOURD'HUI FAIRE DES TRÈS MAUVAISES MESURES AVEC UN INSTRUMENT DE QUALITÉ ? [PAGE 42](#)
6. LA PERFORMANCE DES INSTRUMENTS NE RELÈGUE-T-ELLE PAS AU SECOND PLAN LA NOTION D'INCERTITUDE DE MESURE ? [PAGE 43](#)
7. EST-CE QUE LES ENTREPRISES SE SOUCIENT SUFFISAMMENT DE CONNAÎTRE L'INCERTITUDE DE MESURE ? [PAGE 44](#)
8. GUM ET ISO 5725 AIDENT LES PRATICIENS À QUANTIFIER LE NIVEAU DE QUALITÉ DE LEURS MESURES. QUELLE EST LEUR PORTÉE ? [PAGE 46](#)
9. OÙ EN SONT LES TRAVAUX NORMATIFS EN MATIÈRE D'INCERTITUDE DE MESURE ? [PAGE 47](#)

1.

## SELON VOUS, D'OÙ VIENT LE PROBLÈME DE LA CONFUSION ET DE L'INTERPRÉTATION DES TERMES UTILISÉS EN MÉTROLOGIE ?



**Francis Richard** : Le Vocabulaire international de la métrologie (VIM) édité par le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) précise au total plus de 200 définitions (exactitude, sélectivité, répétabilité, reproductivité, linéarité, sensibilité, justesse, fidélité, robustesse, résolution, stabilité, biais instrumental, incertitude, erreur, etc.).

Ce document constitue la base de référence universellement reconnue du vocabulaire de métrologie. La première version date de 1984 et la troisième édition actuellement valide a été publiée en 2012 avec, à l'exception de deux évolutions majeures (prise en compte de la « vérification » et modification significative de la définition de « l'étalonnage »), peu d'évolutions concernent les termes les plus usités, ce qui traduit une grande stabilité du vocabulaire.

Le VIM est généralement bien maîtrisé par les métrologues, mais certaines notions sont parfois relativement difficiles à appréhender pour les non-spécialistes, d'où l'apparente confusion que vous citez.

Toutefois, il faut reconnaître qu'il existe aussi parfois des problèmes de traduction de documents initiaux de langue anglaise (dans les publications commerciales en particulier) qui peuvent semer le doute dans l'esprit des non-initiés et rendre la vie un peu plus compliquée aux métrologues pour l'exploitation des informations.



**Jean-Michel Pou** : Ceci étant, il faut noter que le VIM n'étant pas d'utilisation universelle et imposée, il ne fait pas autorité, et surtout pas dans les publications commerciales. Par ailleurs, il n'y a qu'à essayer de traduire en mots et concepts simples une définition du VIM pour comprendre une partie de la problématique. Le VIM, c'est un peu de la philosophie réservée à des spécialistes avertis, mais il n'est sûrement pas adapté à un usage quotidien. Pour ma part, je pense qu'il doit faire foi dans les discussions entre spécialistes et qu'il convient de le respecter scrupuleusement dans les documents que lesdits spécialistes produisent. Je pense aux normes notamment, et déjà ce n'est pas simple. La tentation est grande d'en sortir pour retrouver ses habitudes, de mettre peu ou prou le sens que l'on veut derrière un mot ... Mais cela n'est pas propre à la métrologie.



**Régnald Vincent** : Les termes métrologiques employés dans les échanges sont liés à la connaissance, à la culture que deux interlocuteurs peuvent avoir. Cette culture peut être d'origines diverses (scolaire, tradition d'usage interne, connaissance normative, recherche internet type Wikipédia...). Selon le niveau de connaissance des personnes, les termes employés sont plus ou moins fins. En complément, les échanges se veulent de plus en plus quantitatifs et non plus qualitatifs. J'ajouterai que certaines définitions proposées ne sont pas forcément évidentes à appréhender. Par exemple, la fidélité est définie qualitativement dans le VIM comme l'« étroitesse de l'accord entre les indications ou les valeurs mesurées obtenues par des mesurages répétés du même objet ou d'objets similaires dans des conditions spécifiées », mais une note précise qu'elle

« est en général exprimée numériquement par des caractéristiques telles que l'écart-type, la variance ou le coefficient de variation dans les conditions spécifiées ». On peut donc parler par exemple de répétabilité au sens de l'écart-type, ou de six fois l'écart-type, qui bien entendu ne sont pas comparables entre eux. Pour autant, l'interprétation n'est pas dans ce cas une erreur d'un point de vue général, car la définition est imprécise.



**Michèle Désenfant** : J'ajouterais que la troisième édition du VIM s'est allégée sur les termes instrumentaux et qu'il est précisé dans l'introduction que pour les termes relatifs aux dispositifs de mesure absents du VIM, on peut se reporter à d'autres vocabulaires comme celui de la CEI 60050.



**Régnald Vincent** : Je citerais pour ma part la norme NF EN ISO 14978, qui concerne plus particulièrement les instruments de mesure en lien avec l'aspect dimensionnel, géométrique ou d'état de surface (GPS). Pour revenir à votre question, il faut savoir que le monde normatif n'est pas non plus parfait et il peut même être qualifié, quelquefois, d'« inconsistant » dans la mesure où il n'y a pas nécessairement reconnaissance entre les différents mondes normatifs. Par exemple, malgré l'établissement du VIM et du GUM (*Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*) par le groupe de travail international JCGM (*Joint Committee for Guides in Metrology*, affilié au BIPM), dans lequel travaillent bon nombre d'organisations prestigieuses (BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP et l'OIML), certains comités techniques de l'ISO ne prennent pas le VIM et le GUM comme documents auxquels il convient de se référer par principe, faisant naître des mondes parallèles (c'est d'autant plus surprenant que l'ISO a été à l'origine du VIM et du GUM, avant qu'ils ne soient repris par le JCGM, ndlr). Il convient également de rappeler que ce sont également les participants aux travaux normatifs qui doivent veiller à

## « LE VIM EST GÉNÉRALEMENT BIEN MAÎTRISÉ PAR LES MÉTROLOGUES. »

Francis RICHARD

cette harmonisation et cette consistance, et plus il y a de représentativité, plus l'harmonisation se fait jour.

Bien entendu, d'autres facteurs humains sont également à prendre en compte, liés à la diffusion et l'intégration des connaissances.

## 2.

**Y A-T-IL UN ESPOIR D'ARRIVER À PLUS DE RIGUEUR CONCERNANT LE TERME "PRÉCISION" ?**



**Michèle Désenfant :** Le terme "précision", même s'il fait partie du vocabulaire courant pour qualifier un travail ou une mesure, ne devrait absolument pas être utilisé en métrologie, car on ne sait jamais si ce terme fait référence à la fidélité de la mesure ou à l'exactitude de la mesure (justesse et fidélité).

Pour compléter ma réponse, je vous invite à consulter une toute nouvelle rubrique mise en ligne sur le site du BIPM "Vos questions sur le VIM" qui propose une réponse à l'usage du terme "précision"<sup>(1)</sup>.



**Francis Richard :** Notre perception est tout de même que le VIM est un outil de plus en plus utilisé, avec pour conséquence l'élimination progressive des termes impropres.



(1) Pour y accéder, tapez «VIM\_FAQs.pdf» dans Google, il vous mènera droit au but. Voici ce qui est dit : « Le terme français «précision» a été utilisé dans le passé pour exprimer tant de concepts différents que les auteurs de la 3<sup>e</sup> édition du VIM ont préféré ne pas l'utiliser de façon à éviter toute incompréhension et ont choisi le terme « fidélité de mesure ». Dans le VIM2, une note à l'article « exactitude de mesure » indique que le terme « précision » ne doit pas être utilisé pour « exactitude ». Il existait dans le VIM2 le terme « fidélité (d'un instrument de mesure) » comme équivalent de l'anglais «repeatability (of a measuring instrument)».

IMPLEX

LOGICIELS MANAGEMENT DE LA MESURE ET DE LA QUALITÉ



ESTIMATION DES INCERTITUDES DE MESURE

Les incertitudes maîtrisées

FÉDÉRER LES MÉTHODES

RESPECTER LA NF EN 13005

VALIDER LES PERFORMANCES

FIABILISER LES ESSAIS

SELON LA NORME NF EN 13005

Le progiciel Wincert est la réponse appropriée pour estimer les incertitudes de mesure selon la méthodologie G.U.M (Guide to the expression of Uncertainty in Measurement) ou la méthode de Monte Carlo (Méthode de simulation), et pour garantir la fiabilité et la qualité des résultats d'essais.



Il a été conçu en partenariat avec le Laboratoire National de Métrologie et d'Essais pour répondre aux besoins des entreprises accréditées de tous secteurs d'activités.

Wincert offre la possibilité de simuler les incertitudes en vue de maîtriser leurs influences sur la qualité des mesures et de valider les méthodes d'essais pour la confirmation des choix des moyens de mesure utilisés.

CONTACT

commercial@implex.fr  
+33(0)4 72 18 09 90  
www.implex.fr



Système de management d'IMPLEX certifié ISO 9001 : 2008

Cela dit, pour répondre à la question, le terme "précision" issu du langage commun est encore employé, mais à tort, en particulier chez les plus anciens, car il était couramment utilisé avant l'apparition du VIM il y a près de 30 ans. Il a perduré, par exemple dans l'expression « classe de précision », aujourd'hui remplacée par « classe d'exactitude ».



**Rénauld Vincent** : À partir du moment où on bannissait le terme "précision", il fallait le supprimer partout et c'est ce qui a été fait en rebaptisant la notion de « classe de précision ». Mais en l'appelant désormais « classe d'exactitude », certains ont cru que la précision correspondait à l'exactitude. Or il n'en est rien, "précision" n'a pas de définition et ne correspond donc à rien. Dans l'édition 1993 du VIM, il était d'ailleurs dit explicitement que « le terme "précision" ne doit pas être utilisé pour "exactitude" ».

Il faut donc oublier le terme "précision" et qu'il a existé. Mais force est de constater qu'il est encore couramment utilisé, notamment entre les non-spécialistes en métrologie, pour qualifier une propriété d'un appareil (par exemple, quand on parle de "balance de précision", *Ndlr*), mais sans rentrer dans le détail. On peut voir dans ce succès d'usage une donnée d'échanges qualitatifs, mais certainement pas quantitatifs. Et si elle est utilisée dans un contexte contractuel (achat d'un moyen de mesure), cette notion est source de litiges potentiels.



**Jean-Michel Pou** : Les habitudes sont plus fortes que les normes ! Et je ne pense pas que ce soit si important. Pour le profane, "précision" signifie "qualité de la mesure" et ce terme,

qui ne choque pas le sens commun, me convient personnellement.

De plus, je ne vois pas en quoi il serait faux d'associer « incertitude » et « précision » puisque les gens l'entendent majoritairement ainsi. La question est plutôt de savoir comment on estime une incertitude, comment on intègre la fidélité, la justesse... ? Dans ce cadre, il s'agit d'une affaire de spécialistes et non de vocabulaire.

Je m'applique néanmoins à ne pas employer le terme "précision" dans le cadre de mes travaux sur les normes.

### 3.

**ET POUR CE QUI EST DU TERME ANGLAIS "PRECISION", QUE L'ON TROUVE DANS LES FICHES DE SPÉCIFICATION RÉDIGÉES EN ANGLAIS ?**



**Francis Richard** : Le terme "precision" est parfaitement défini par le VIM : « *closeness of agreement between indications or measured quantity values obtained by replicate measurements on the same or similar objects under specified conditions* ». Cette définition correspond à la définition de la « fidélité de mesure » et "precision" se traduit donc en français par « fidélité ».



**Rénauld Vincent** : Mais quand on regarde les fiches de spécification rédigées en anglais, on peut voir que ce qui est désigné par "precision" ne correspond pas toujours à la « fidélité ». Certains utilisent ce terme pour désigner la résolution, d'autres l'exactitude, etc.

Il faut dire que dans l'édition 2008 du VIM, la définition de la fidélité permet de

donner un même nom à ce qui était précédemment appelé « fidélité », mais aussi « répétabilité » et « reproductibilité ». Ce qui fait la différence, ce sont les conditions dans lesquelles le même mesurande est évalué à de multiples reprises. Il est clair qu'il reste beaucoup de travail à faire pour que chacun fasse preuve de rigueur lors de l'utilisation des termes de métrologie, que l'on cesse d'utiliser ceux qui n'ont pas d'existence officielle (la "précision") et que l'on utilise à bon escient les autres. On pourra avoir un espoir d'arriver à plus de rigueur si les instances normatives s'autodisciplinent et définissent des hiérarchies normatives, si les distributeurs refondent leurs documents techniques, et enfin si les utilisateurs adaptent leur connaissance. Mais pour cela, il faudra que les différents interlocuteurs se mettent autour d'une même table d'échanges et que les différents pôles d'intérêts soient représentés.

### 4.

**LES EXIGENCES MÉTROLOGIQUES SONT-ELLES SURDIMENSIONNÉES PAR RAPPORT AUX BESOINS ?**



**Jean-Michel Pou** : Il me semble, si je peux me permettre, qu'il y a une erreur dans la formulation de votre question. Ceci dit, elle est si classique qu'il faudra du temps, sous réserve qu'on le veuille sincèrement, pour la corriger. En effet, il me semble que vous confondez, comme trop de monde, mais c'est historique, "métrologie" (science de la mesure) et "étalonnage/vérification" (science des instruments de mesure, suivant ma propre définition). La métrologie est endogène à l'activité industrielle et ne peut pas être sous-traitée. L'entreprise fait des mesures en permanence pour prendre des décisions (réglages, rebuts, retouches...) et elle ne pourra jamais sous-traiter lesdites décisions même si, parfois, elle a besoin d'un avis d'une tierce partie pour lever un litige,

**« LE TERME "INCERTITUDE DE MESURE" EST INAPPROPRIÉ, ON DEVRAIT DIRE "INCERTITUDE DE MESURAGE". »**

Rénauld VINCENT

voire pour pouvoir livrer, tout simplement. En revanche, elle peut sous-traiter ses étalonnages à des spécialistes qui ont choisi d'en faire leur métier, tout comme elle peut sous-traiter le nettoyage de ses locaux. Le niveau d'exigence que vous évoquez relève souvent d'un concept qui sera rapidement dépassé. Je fais ici référence à la fameuse capabilité (cf. l'article de Jean-Michel Pou publié récemment dans nos colonnes, Ndlr). Cette stratégie est enfin en passe d'être remise en cause par des évolutions internationales essentielles en ce domaine...

## « J'ESPÈRE QUE LA VOIE BAYÉSIENNE FERA L'OBJET DES ÉVOLUTIONS DE LA MÉTROLOGIE DANS LES ANNÉES À VENIR. »

Jean-Michel POU



**Michèle Désenfant** : Je pense qu'il y a deux notions importantes pour organiser sa métrologie.

L'une consiste à analyser correctement ses besoins de mesure pour les traduire ensuite en incertitudes cibles adaptées. L'autre consiste à savoir discriminer les mesures critiques et non critiques de l'entreprise.



**Rénaud Vincent** : Il faut partir du besoin fonctionnel qui fait naître l'exigence métrologique. Il peut

avoir des cas où la demande métrologique, en tenant compte des incertitudes de mesure, n'est pas compatible avec les tolérances demandées. Dans ce cas, il n'est pas possible de définir le moyen de mesure comme moyen de contrôle, sauf dérogation particulière du client final.

Une difficulté vient du fait que le demandeur ne peut pas nativement savoir le niveau d'incertitude envisageable sur telle ou telle caractéristique. Sans retour d'expérience et sans avoir fait des mesurages, l'incertitude ne peut être donnée



IMPLEX

LOGICIELS MANAGEMENT DE LA MESURE ET DE LA QUALITÉ

NOUVEAU

wisper

GESTION OPÉRATIONNELLE DES PARCS D'INSTRUMENTS DE MESURE

Procédures maîtrisées

**Wisper** est un logiciel qui permet de réaliser les interventions et les anomalies sur les instruments de mesure gérés par l'application **Split4**.

**Wisper** est un assistant opérationnel paramétrable selon vos modes opératoires.

## ATOUTS MAJEURS

### AMÉLIORER LE SUIVI QUALITÉ DES ÉQUIPEMENTS DE MESURE

Wisper intègre une fonction de revue permettant de vérifier les mesures d'un appareil sur l'historique de ses interventions. L'opérateur peut établir une revue de performance au cours de ses interventions.

### FIABILISER LES PROCÉDURES

Wisper permet la personnalisation des process de création des interventions et des anomalies : choix des étapes obligatoires, optionnelles ou masquées.

Le résultat d'une intervention peut déclencher une anomalie prédéfinie, avec envoi d'une alerte via le module d'Appel Web.

### AMÉLIORER LA PRODUCTIVITÉ DE VOS ÉQUIPES

- . Un assistant pour guider les opérateurs
- . Le suivi obligatoire des étapes paramétrées
- . La limitation des saisies en fonction des étapes requises par vos procédures
- . La réduction des temps de prise en main

www.implex.fr  
+33(0)4 72 18 09 90  
commercial@implex.fr



Système de management d'IMPLEX certifié ISO 9001

qu'à titre indicatif, selon les défauts de surface de la pièce par exemple.

C'est donc le métrologue qui peut donner cette source d'informations à l'utilisateur. L'utilisateur a ainsi des éléments pour faire son analyse, pour essayer d'accorder les processus industriels aval (fabrication, mesure, étalonnage).

Pour fixer les exigences métrologiques, il faut surtout trouver le juste milieu. Si en baissant les exigences, on peut obtenir une faisabilité métrologique, il y a aussi le risque d'amener une incertitude fonctionnelle du produit contrôlé (réponse à la fonction attendue).



**Francis Richard** : Nous sommes prestataires et nous observons que la qualité des demandes varie fortement en fonction de la qualification des interlocuteurs clients, de la politique et du secteur d'activité de l'entreprise.

La relation client-fournisseur en métrologie, comme dans les autres domaines, s'établit à partir d'exigences techniques et de contraintes économiques qui doivent être toutes les deux satisfaites.

Lorsque la compétence métrologique existe chez le client, le dialogue avec le laboratoire d'étalonnage est facilité, il génère bien souvent des échanges constructifs pour les deux parties et permet de cibler le juste besoin.

Par ailleurs, lorsque cela s'avère nécessaire, nous aidons nos clients à définir et optimiser leurs besoins. Pour ce faire, nous proposons une gamme de services qui couvrent l'ensemble des aspects du management de processus de mesures, de leur conception à leur mise en œuvre, en passant par les opérations de confirmation métrologique ou de réparation des instruments, de gestion de parc, de formation des utilisateurs, de support à l'audit, etc.

## 5.

### PEUT-ON AUJOURD'HUI FAIRE DES TRÈS MAUVAISES MESURES AVEC UN INSTRUMENT DE QUALITÉ ?



**Michèle Désenfant** : On peut faire une erreur de mesure importante avec un instrument de très bonne résolution, en oubliant par exemple de corriger des erreurs systématiques. L'incertitude d'un résultat de mesure est le doute associé à ce résultat, il dépend complètement du processus de mesure mis en œuvre, c'est-à-dire de l'instrument ou du dispositif utilisé (moyen), mais aussi de la méthode de mesure, de l'environnement dans lequel s'effectue la mesure (milieu), des opérateurs (main d'œuvre) et de la qualité de ce que l'on mesure (matériau).



**Jean-Michel Pou** : De l'objet mesuré à l'instrument, en passant par l'opérateur et le contexte de la mesure, tous les facteurs qui permettent d'obtenir un résultat sont imparfaits. En premier lieu, l'objet lui-même, centre du processus, n'est pas parfait. En mécanique par exemple, un rond représenté parfaitement sur un plan ne pourra être en réalité qu'une "patate" plus ou moins approchante, suivant la technique de fabrication, du cercle théorique attendu. La notion de diamètre n'a dès lors plus de sens puisqu'une patate n'en a pas ! Le résultat de mesure variera donc en fonction de "l'endroit" où la mesure sera prise. Il en est de même en tout domaine. Pensez par exemple à l'inhomogénéité d'un mélange dans le monde agroalimentaire ou pharmaceutique, ou encore à l'inhomogénéité des températures dans une chambre froide.

L'opérateur influence également le processus, que ce soit dans sa capacité réelle de reproduire un résultat (on parle de répétabilité) ou de différences qui peuvent exister entre ses résultats et ceux d'un autre dans des conditions pourtant iden-

tiques (on parle de reproductibilité interopérateurs, ou de fidélité intermédiaire). Le contexte et l'instrument participent également à l'imperfection (ils ne peuvent être parfaits, ni l'un ni l'autre).

Il est parfois difficile de répertorier et de quantifier théoriquement tous ces phénomènes. C'est là tout l'art de l'évaluation des incertitudes qui n'est pas un problème de calculs, mais une question d'analyse... Et pour ce qui est de l'aspect "Peut-on faire une mauvaise mesure avec un bon instrument ?", la réponse est évidemment OUI. Tout comme on peut ne pas freiner avec une voiture équipée de plaquettes de frein neuves... Si les pneus sont lisses par exemple ! Un bon instrument est une condition nécessaire, mais pas suffisante. Et il ne sert à rien d'avoir des instruments de très bonne qualité si les autres facteurs sont médiocres. Il faut donc analyser pour tendre vers le juste nécessaire et choisir un moyen qui ne soit, ni sur, ni sous dimensionné. Tout cela dépend du contexte dans lequel il sera utilisé. Il n'y a pas de règles universelles !



**Régnald Vincent** : Le terme « *incertitude de mesure* » est inapproprié, on devrait dire "incertitude de mesurage". Il s'agit de quantifier l'erreur de mesure que l'on peut commettre avec le procédé de mesure (le mesurage), pour une caractéristique recherchée (le mesurande). Le mesurage intègre différentes sources de variations que l'on appelle facteurs d'incertitude de mesure ou sources d'erreurs qui sont habituellement classifiés dans cinq familles : le moyen de mesure (étalon et étalonnage compris), la main d'œuvre, le milieu, la méthode, et enfin l'objet sur lequel le mesurande est évalué.

Il est possible de donner un résultat de mesurage (une mesure, comme vous le dites) avec une très mauvaise incertitude de mesure, et ce avec un moyen de mesure ayant une très bonne résolution. Pour une mesure mécanique, cela dépend essentiellement de la caractéristique à observer (de sa définition) et de la réalité physique de la pièce. Par exemple, dans

le cas d'un mesurage d'état de surface, l'incertitude de mesure que l'on peut avoir sur un paramètre Rt (sur la pièce) peut être de 30 % de la valeur annoncée alors que pour une même pièce, l'incertitude sur le Ra pourrait être de 10 % ! De la même manière, lorsqu'on fait un contrôle dimensionnel avec un pépitas (comparateur à levier), l'erreur de mesurage peut être très grande si l'instrument est mal utilisé.



**Francis Richard** : La troisième édition du VIM définit l'incertitude de mesure comme étant le « paramètre non négatif qui caractérise la dispersion des valeurs attribuées à un mesurande, à partir des informations utilisées ». La méthodologie d'analyse des 5M déclinée sous les dénominations de diagrammes d'Ishikawa ou diagrammes de causes à effet est un outil d'aide qui per-

met d'identifier les composantes possibles d'incertitudes. Celles-ci peuvent être évaluées par une méthode dite de type A, c'est-à-dire à partir d'analyses statistiques de séries de mesurages (écart type, variance d'Allen...), ou par des méthodes de type B lors de l'utilisation d'informations autres que statistiques (état de l'art, publication scientifique, données issues de certificats d'étalonnage ou de documentations constructeurs...).

Un instrument de qualité et aux performances élevées ne garantit pas à lui tout seul la qualité du processus de mesure : un mesurande mal défini, une méthode inadéquate, un environnement mal contrôlé ou un opérateur non qualifié sont des facteurs qui peuvent induire des mesures erronées (exemples : impact de la température sur des mesures de longueur, désadaptation d'impédance pour des mesures électriques...).

Il faut d'ailleurs noter que, *a contrario*, il est possible de réaliser de bonnes mesures à l'aide d'un instrument générant des indications erronées dès l'instant où les causes d'erreur sont connues et peuvent faire l'objet de corrections lors de l'exploitation du résultat.

## 6.

### LA PERFORMANCE DES INSTRUMENTS NE RELÈGUE-T-ELLE PAS AU SECOND PLAN LA NOTION D'INCERTITUDE DE MESURE ?



**Michèle Désenfant** : C'est un vrai sujet ! Le problème vient du fait que les utilisateurs assimilent l'incertitude de leur résultat de mesure à la résolution de leur instrument, et donc minimisent complètement

# DÉCOUVREZ

## Le logiciel d'assistance à la gestion de vos moyens de mesures



### KALIMERA EST UN LOGICIEL DE GESTION CONNECTÉ PAR INTERNET

- Accès direct à l'état du parc d'instruments (*retards, prévisionnels*) en page d'accueil
- Visualisation et édition en ligne des fiches de vie et certificats d'étalonnage associés
- Edition de plannings avec tri-multiple par date, affectation, type d'instrument...
- Association de documents à l'instrument (*plan, procédure...*)
- Envoi des impressions par mail sous format pdf
- Gestion multi-sites
- Communications cryptées et sécurisées
- Logiciel multilingue (*français, anglais, allemand, roumain...*)

**+ RAPIDITÉ**   **+ FACILITÉ D'UTILISATION**   **+ DÉPÔT ET CONSULTATION DE DOCUMENTS EN LIGNE**   **+ MULTI LANGUES**

Ils nous font déjà confiance : Contitech Anoflex - Schneider Electric - EuroCast - Bosch Rexroth DSI - Flowserve - ITW - Goss International - Siemens - Alstom

Pour en savoir plus contactez la société KALIMERA au 04 74 95 29 90

l'incertitude. Il faut sans cesse communiquer et faire de la formation pour faire évoluer cette idée. La résolution de l'instrument est un élément clé de l'évaluation de l'incertitude, mais bien d'autres facteurs peuvent varier. Pour les identifier, il faut être conscient qu'un résultat de mesure est l'issue d'un processus de mesure impliquant également la méthode de mesure, l'environnement de mesure...



**Jean-Michel Pou :** Je ne pense pas que la qualité métrologique, réelle ou supposée, des instruments explique la relation difficile entre les utilisateurs et le concept d'incertitude de mesure... J'ai ma théorie sur ce sujet que j'ai maintes fois expliquée. Pour moi, l'incertitude de mesure a disparu en 1837, avec la création du service des Poids et Mesures chargé de garantir la loyauté des mesures dans le cadre des échanges commerciaux. Dans notre quotidien, et depuis tout-petit, nous entendons des résultats de mesure justes, puisque sans incertitude associée. Nous avons donc intégré inconsciemment le fait que la mesure était juste et venir nous dire le contraire maintenant est un peu troublant. Il faut faire de vrais efforts pour accepter de renoncer au dogme de la mesure juste et seul ce renoncement permet d'accepter la nécessité d'évaluer les incertitudes de mesure.

Pour revenir aux évolutions techniques sur les instruments, je crois plutôt que ce sont les nouvelles fonctionnalités qui attirent les utilisateurs. Les incertitudes restant un sujet vague, souvent sans vraiment d'intérêt, elles ne sont pas au centre du débat. En annonçant des caractéristiques parfois spectaculaires eu égard à la réalité, les constructeurs participent probablement à l'idée d'une mesure presque juste, "presque" parce qu'ils parlent de précision ou d'erreur dans leurs documentations, mais ils oublient de préciser que les conditions réelles de la mesure dégraderont inexorablement, et de façon parfois très importante, la qualité finale de la mesure et qu'on sera donc loin, voire très loin, des valeurs catalogue.



**Régnald Vincent :** C'est un fait que les performances des instruments de mesure ont progressé.

Mais, dans le même temps, les tolérances des produits manufacturés ont diminué, amenant naturellement à demander une augmentation des performances des moyens de mesures et de production.

Il est vrai qu'il pourrait exister un risque que l'incertitude de mesure ne soit reléguée qu'à un concept futile. Mais je pense que c'est tout le contraire, car plus le niveau de résolution est faible, plus l'impact d'autres grandeurs d'influence est fort en comparaison, comme l'impact dû au défaut de forme de la pièce, en considérant bien entendu la notion de tolérance. Plus la tolérance est faible, plus l'incertitude de mesure impacte la décision de conformité. La gestion qualité a ses règles qui obligent également à poser la question de l'incertitude... Et à trouver une réponse à son estimation.



**Francis Richard :** Les utilisateurs non-métrologues considèrent souvent à tort que le niveau de

performance de l'équipement constitue le facteur prédominant de l'incertitude de mesure. A partir de là, en effet, dans leur esprit, la notion d'incertitude de mesure est reléguée au second plan. Ceci peut constituer un grave problème, car les spécifications des instruments ne sont pas toujours exploitables directement : elles sont sujettes à interprétation ou établies pour des conditions d'utilisation de l'instrument dans des conditions spécifiées et souvent idéales.

Dans la pratique industrielle, il n'y a pas toujours de besoin avéré ou imposé de maîtrise des incertitudes de mesure. De plus, les utilisateurs ne disposent généralement pas de la formation nécessaire pour appréhender ces notions. Pour ces raisons, une estimation de la « capacité » de l'instrument est souvent mise en œuvre. Celle-ci est obtenue en établissant une comparaison entre les limites d'acceptation du résultat et les spécifications techniques annoncées par le constructeur de l'instrument. Ces pra-

tiques laissent une place importante au risque...

## 7.

**EST-CE QUE LES ENTREPRISES SE SOUCIENT SUFFISAMMENT DE CONNAÎTRE L'INCERTITUDE DE MESURE ?**



**Michèle Désenfant :** L'incertitude de mesure, c'est-à-dire la qualité de la mesure, n'est pas qu'une affaire de métrologues puisqu'elle est indispensable pour apprécier l'aptitude à l'usage d'une valeur mesurée. Simplement, l'industriel n'aura pas le même besoin de niveau d'incertitude que le métrologue scientifique qui consacre sa carrière à gagner une décimale supplémentaire, résultat qui sera ensuite transféré très vite vers l'industrie et la société.



**Jean-Michel Pou :** J'aime à penser que les conséquences se trouvent là où on ne les attend pas...

Passionné d'incertitudes, je suis bien obligé de constater que ce sujet reste très peu évoqué dans les entreprises, quel que soit le secteur, sauf si les auditeurs l'imposent. Nous nous intéressons à ce sujet aujourd'hui sous la pression des référentiels qualité, mais le besoin industriel, *stricto sensu*, ne me semble pas évident. Les produits fonctionnent malgré le fait qu'on ne s'intéresse pas sérieusement aux problèmes de la mesure, et réaliser des étalonnages périodiquement ne change rien à la question. Ainsi, on fabrique aujourd'hui en croyant mesurer juste et ça marche. J'en déduis personnellement, mais je ne crois pas être le seul, que les tolérances d'aujourd'hui ne sont pas l'expression du réel besoin fonctionnel.

Ne pas tenir compte des incertitudes de mesure qui seront toujours présentes implique, sans forcément que cela ne soit ni compris ni même perçu, un surcoût de production. On cherche à obtenir une qualité dont on n'a pas besoin ! La



prise de conscience des incertitudes représente à mon sens un énorme potentiel de compétitivité, encore faut-il vouloir faire l'effort de comprendre, mais surtout de changer.



**Régnald Vincent** : L'évaluation de l'incertitude de mesure exige de connaître les sources d'erreurs de mesure (connaissances métrologiques) et d'analyse. On ne peut donc pas confier un calcul à une personne ayant seulement une bonne base mathématique. C'est forcément un travail d'équipe. Une entreprise fonctionne naturellement comme cela. L'incertitude, et plus généralement la mesure, est souvent mal considérée dans l'entreprise, car elles exigent un important travail d'évaluation dont les retombées ne leur semblent pas évidentes. Certes, les industriels sont conscients qu'elles constituent le moyen permettant de juger de la conformité. Mais ils considèrent qu'elles n'apportent pas de valeur ajoutée dans le processus industriel. C'est un tort, car la démarche de mesurage et d'estimation de l'incertitude aide à optimiser les réglages et mieux interagir avec le processus industriel.

Vous laissez entendre que très peu d'entreprises se soucient de connaître l'incertitude de mesure. Je pense au contraire qu'elles se soucient depuis longtemps de connaître l'incertitude de mesure, mais au cours du temps, elles ont figé des protocoles d'évaluation, voire les valeurs d'incertitude sans qu'il y ait traçabilité de ces valeurs.

Pour les entreprises, l'important est d'obtenir le résultat et l'incertitude en un minimum de temps, que cela coûte un minimum d'argent, et que celle-ci soit compatible avec la tolérance demandée. Les conséquences sont faciles à imaginer : réaliser des actions intempestives sur le procédé, surestimer ou sous-estimer le besoin métrologique, libérer des produits non conformes ou à l'inverse rejeter des produits conformes, altérer l'image de marque...



## Services : bénéficiez d'un juste équilibre.

Dans le monde de l'automatisation et de la mesure, trouver le juste équilibre en termes de services est primordial. Un manque de maintenance provoque des dysfonctionnements, un surcroît de maintenance engendre des coûts inutiles. Nous vous proposons ce dont vous avez besoin, du simple conseil à la maintenance complète de votre instrumentation. Ensemble trouvons le juste équilibre.

Endress+Hauser  
3 rue du Rhin  
BP 150  
F - 68331 Huningue Cedex  
Tél : 0 825 888 001  
Fax : 0 825 888 009  
info@fr.endress.com  
www.fr.endress.com

**Endress+Hauser**   
People for Process Automation



**Francis Richard** : Maîtriser les mesures et par conséquent leurs incertitudes constitue un élément très important de la maîtrise des risques. Réaliser des mesures erronées peut avoir des impacts importants sur le plan de l'efficacité industrielle et des coûts de production, de la sécurité des biens ou des personnes, au niveau sanitaire ou environnemental, les aspects réglementaires, etc.

Par ailleurs, une mauvaise maîtrise des processus de mesure peut également conduire à des pratiques de surqualité, générant des coûts de possession ou d'exploitation d'équipements surdimensionnés.

Les entreprises et en particulier leurs bureaux d'études, services méthodes ou laboratoires d'essais sont pour la plupart bien au fait de ces problématiques. Ils en tiennent compte dans leurs développements ou résultats avec des niveaux de réponse qui peuvent être très variables suivant leur domaine d'activité, leur niveau d'expertise et les exigences qualité de leurs clients.

En tant que professionnels de la mesure, nous pouvons toutefois estimer que des marges de progression existent pour l'optimisation des processus de mesures, mais que les tendances actuelles de la normalisation au travers du document ISO 10012, de documents traitant de la conformité, etc. conduisent à intégrer davantage de métrologie au cœur des entreprises.

8.

**GUM ET ISO 5725 AIDENT LES PRATICIENS À QUANTIFIER LE NIVEAU DE QUALITÉ DE LEURS MESURES. QUELLE EST LEUR PORTÉE ?**



**Michèle Désenfant** : Le GUM, publié par le BIPM, émane d'un consensus international à la fois multidomains (physique, électricité, chimie, biologie) et multiqualité (métrologie, normalisation et accréditation). Ceci en

fait le document de référence utilisé par des milliers de laboratoires de mesure ou d'essai pour estimer leurs incertitudes. Ce document va bientôt fêter ses 20 ans, sa lecture et sa mise en œuvre n'ont pas été aisées mais il est aujourd'hui bien décortiqué et expliqué dans de nombreux guides d'application et formations. La méthode GUM repose sur un modèle mathématique du mesurage fonction de grandeurs d'entrée et sur la loi de propagation de l'incertitude. L'investissement dans l'étape de formulation est important, mais on peut en retour estimer la sensibilité de chacune des grandeurs d'entrée considérées et ceci est riche d'enseignements pour décider des investissements techniques et financiers futurs.

La norme ISO 5725 (exactitude, justesse et fidélité des résultats et méthodes de mesure) permet essentiellement d'estimer la fidélité (répétabilité et reproductibilité) des méthodes de mesure. Elle n'impose pas l'analyse de tous les facteurs influents, mais elle nécessite une expérience interlaboratoire collective structurée, à laquelle on ajoute l'hypothèse que la dispersion entre les participants reflétera l'influence probable de tous les facteurs. L'écart-type de reproductibilité est pris comme estimation de l'incertitude type composée. La révision de cette norme est à l'étude, essentiellement pour améliorer et moderniser les procédures de calcul.

Enfin, citons la norme internationale NF ISO 21748 de 2010 qui permet de relier les résultats d'essai interlaboratoires (ISO 5725) à l'incertitude de mesure selon l'approche GUM.



**Régnald Vincent** : J'ajouterais qu'une démarche de type GUM permet d'amener une analyse initiale que certains peuvent qualifier de complexe, mais qui peut voir son application générique.

Il faut également signaler qu'en plus du GUM et de l'ISO 5725, il existe d'autres documents à portée plus pragmatique. On peut ainsi citer le MSA-4<sup>e</sup> édition (qui

décrit comment analyser un système de mesure) ou la norme NF EN ISO 14253-2 5 (méthode PUMA). D'autres documents normatifs sont en préparation pour amener le contenu du MSA dans le cadre ISO. L'ensemble de ces documents donne une aide plus ou moins abordable selon le mesurage et selon le bagage culturel de la personne chargée de l'évaluation de l'incertitude de mesure.



**Jean-Michel Pou** : Le GUM se présente comme la référence du métrologue pour l'évaluation des incertitudes de mesure. C'est un outil qu'il ne faut pas bousculer. Les préconisations des normes ISO 5725, qui s'appuient essentiellement sur des résultats expérimentaux, tendent vers le même objectif : évaluer l'incertitude.

Pour ma part, je pense que les deux ont leur intérêt. Le GUM, pour se faire une idée de ce qui se passe (avec une phase d'analyse préalable importante) et l'ISO 5725 qui exploite des résultats expérimentaux sans forcément (je caricature un peu) se poser de questions. Je crois que les approximations imposées par l'approche GUM et le risque d'oublis de facteurs (qui n'est pas négligeable) font de cet outil, le GUM, un préalable et non, à mes yeux, une référence absolue tel qu'il est parfois présenté. L'ISO 5725 ne présente pas, ou de façon bien moindre, ces risques d'oublis et d'estimations, elle se base sur des mesures et non sur de la théorie. Un exemple intéressant en cours d'analyse au niveau du Cofrac sur l'étalonnage des micropipettes montre à quel point la théorie (le GUM) et la pratique (ISO 5725) peuvent être différentes. J'avais moi-même proposé une conférence sur ce thème (GUM versus ISO 5725) dans le cadre du Congrès International de Métrologie de Paris, 2009<sup>(2)</sup>. Une autre approche qui se développe doucement permettra peut-être de rapprocher les deux : l'inférence bayésienne. Cette dernière consiste,

(2) téléchargeable sur <http://www.deltamu.fr/Publication>.

pour faire simple, à réviser un *a priori* (le GUM par exemple) à partir de résultats expérimentaux (l'ISO 5725, par exemple). Elle représente une véritable révolution dans la façon d'appréhender les mesures. Le bayésien ne subit pas les résultats de mesure, il les domine ! Cette stratégie impose en effet de se demander préalablement aux mesures ce que l'on devrait obtenir et de constater si l'expérimentation est cohérente avec l'attendu. Ceci n'est pas exclusif au bayésien, mais imposé par la méthode, ce qui fait la différence. Comme beaucoup, j'en suis aux tous débuts de cette nouvelle approche qui m'enthousiasme. Je plaide pour que la communauté des métrologues nationaux s'empare de ce sujet pour le développer. J'espère notamment que le Collège français de métrologie se saisira rapidement, à ma demande, de cette question en réunissant un groupe chargé de rédiger un guide de vulgarisation.

Pour ce qui est de savoir si ces documents répondent ou non au besoin, s'ils sont exploitables ou non, la réponse ne peut pas être binaire. Comme je l'ai dit, il faut d'abord se convaincre que les mesures ne peuvent être justes et qu'un résultat de mesure doit comporter l'incertitude associée. Une fois ce concept accepté, je pense qu'il faut, préalablement à lecture du GUM et de l'ISO 5725, acquérir une solide culture statistique. Ces documents ne me paraissent pas accessibles si le minimum de connaissances en statistiques n'est pas maîtrisé.



**Francis Richard** : La norme ISO 5725 et le GUM répondent parfaitement aux besoins de nos laboratoires pour les prestations de métrologie industrielle qu'ils adressent. Ces référentiels sont utilisés par nos équipes méthodes et nos responsables d'accréditation de façon à les rendre industriellement exploitables sous forme de logiciels dédiés et intégrés à notre système de gestion automatisé de procédures.

## 9.

### OÙ EN SONT LES TRAVAUX NORMATIFS EN MATIÈRE D'INCERTITUDE DE MESURE ?



**Jean-Michel Pou** : Pour ce qui est des évaluations d'incertitude elles-mêmes, beaucoup a été fait. Le GUM, son supplément 1 traitant de la simulation numérique, et la série des normes ISO 5725 me semblent être des outils pertinents. Actuellement, la réflexion porte surtout sur l'utilisation de l'incertitude dans la déclaration de conformité. Le JCGM (*Joint Committee for Guides in Metrology*), travaillant sous l'égide du BIPM, a proposé à la communauté internationale le guide 98-4, actuellement en cours de vote à l'ISO. La commission française de normalisation en Métrologie a accueilli avec enthousiasme ce travail malgré des difficultés conceptuelles évidentes. Ce document propose une démarche qui va inévitablement rapprocher la production (qui utilise les mesures pour agir) et la métrologie (qui utilise culturellement la mesure pour juger). Cette approche fait appel à une réflexion de type bayésien que j'appelle de mes vœux. J'espère, à titre personnel, que cette voie bayésienne fera l'objet des évolutions de la métrologie dans les années à venir. Je suis convaincu qu'elle apportera une vision si différente et si cohérente avec la réalité qu'elle nous permettra de passer enfin à autre chose. Ces années passées à étalonner aveuglement des instruments qui ne sont que rarement les facteurs prépondérants des processus de mesure pourront alors laisser la place à une métrologie porteuse de progrès et de productivité. La métrologie pourrait de nouveau changer le monde. Pour cela, elle devra changer de monde et voilà une belle occasion de le faire...



**Michèle Désenfant** : Le JCGM, constitué de membres de huit organisations internationales, produit les documents internationaux sur

Vigilance  
sans  
compromis



Détecteurs



### Détecteurs

APDs  
Pyroélectriques  
Thermopiles  
Détecteurs UV  
Détecteurs VIS  
Détecteurs NIR  
Détecteurs IR

**Goodfellow**  
www.goodfellow.fr

## Votre partenaire en métaux et matériaux



RAPIDITÉ



70 000  
PRODUITS



SUR-MESURE



GESTION DE VOTRE  
SUPPLY CHAIN

CATALOGUE EN LIGNE



Goodfellow SARL  
229 rue Solférino - 59000 LILLE  
Tél : 0800 917 241 (N° vert)  
Fax : 0800 917 313 (N° vert)  
france@goodfellow.com

l'incertitude de mesure, accessibles ensuite sur le site du BIPM. Au niveau français, la commission Afnor X07B en est la commission miroir.

Au fil des années de mise en application du GUM (JCGM 100) et des questions soulevées, plutôt que de le réviser, le JCGM l'a enrichi de deux suppléments, l'un traitant de la propagation des distributions par simulations de Monte Carlo (JCGM 101), l'autre concernant l'extension à un nombre quelconque de grandeurs de sortie (JCGM 102). Signalons qu'afin de vulgariser l'évaluation de l'incertitude par méthode Monte Carlo, un fascicule de documentation français a été rédigé sur le sujet à l'Afnor, accessible sous la référence FD X07-023 (2012).

Plusieurs guides JCGM coexistant, il s'est avéré utile de rédiger un document chapeau, *Introduction au GUM et aux documents qui le concernent*, publié en 2011 en anglais (JCGM 104). Traduit en français, il est disponible sous la référence FD Guide ISO/CEI 98-1 (août 2011). C'est un document accessible qui permet de comprendre les concepts et les enjeux de chaque guide. Enfin, un document très attendu, mais très complexe dans sa version actuelle est en enquête depuis plusieurs années : il s'agit de *Rôle de l'incertitude de mesure dans la déclaration de conformité*.



**Rénaud Vincent** : Nous sommes impliqués dans les normes sur les mesures mécaniques. Il y a bien sûr tous les documents à usage général qui ont été mentionnés jusqu'ici. Dans le comité technique ISO/TC213, et le domaine des machines à mesurer par coordonnées (CMM), la XP ISO/TS 23165 de 2006 donne des lignes directrices pour l'estimation de l'incertitude des essais des machines à mesurer tridimensionnelles. Celles-ci sont en cours de refonte pour un usage plus transversal dans la série des normes ISO 14253. De plus, un projet international vise

à clarifier l'usage de l'incertitude de mesure dans l'acceptation produit pour dégager des règles selon différents critères technico-économiques. Des normes sur l'usage des machines 3D, dans la série des ISO 15530, définissent des techniques d'évaluation des incertitudes de mesure. Dans le comité technique ISO/TC69, la révision des normes ISO 5725 se prépare, et une norme sur les aspects capacité des moyens de mesure voit le jour.

De la même manière, dans la commission technique UNM 09GPS de l'Union de normalisation de la mécanique, qui assure le suivi des travaux du comité technique ISO TC 213/WG 10 sur les machines à mesurer par coordonnées, nous travaillons également sur la notion d'incertitude de mesure, relativement aux révisions des normes NF E 10-10x, en y intégrant la notion de sources d'erreurs d'incertitude de mesure.



**Francis Richard** : Au niveau de la métrologie industrielle et pour les besoins de l'immense majorité des entreprises, la normalisation concernant les incertitudes de mesure nous semble suffisante. Par contre, l'exploitation de l'évaluation des incertitudes de mesure reste un point clé qui doit évoluer. À ce titre, le projet de norme ISO Guide 98-4 qui traite de la prise en compte de l'incertitude de mesure dans le jugement de conformité nous semble être un sujet majeur. Ce guide devrait introduire la notion de risque client et de risque fournisseur lié aux coefficients de capacité des processus d'étalonnage. Il devrait aussi faciliter la définition des besoins pour la confirmation métrologique des instruments.

Ce point nous paraît d'autant plus déterminant que, dans un souci d'efficacité industrielle, les résultats d'étalonnage doivent pouvoir faire l'objet, pour les applications les plus courantes, de jugements facilement exploitables par les utilisateurs ●

## « SAVOIR DISCRIMINER LES MESURES CRITIQUES ET NON CRITIQUES DE L'ENTREPRISE. »

Michèle DÉSENFANT