

La métrologie dans l'entreprise

COMMENT DÉFINIR LES EMT ?

Dans le précédent article, nous avons évoqué le rôle et la place de la documentation au sein de la fonction métrologie de l'entreprise. Parmi toutes les procédures possibles, une d'entre elles doit expliquer la ou les méthodologies de définition des caractéristiques métrologiques des équipements de mesure.

Les caractéristiques métrologiques des équipements de mesure sont les spécifications techniques que la fonction métrologie va garantir au travers de son système de management de la mesure. Les caractéristiques les plus courantes sont l'étendue de mesure et l'erreur maximale tolérée, plus connue sous le nom d'EMT.

Cet article va maintenant décrire les possibilités qui s'offrent au métrologue pour définir les EMT.

À partir d'une réglementation ou d'une norme

Lorsque l'instrument de mesure est utilisé dans un cadre réglementaire, par exemple en métrologie légale, alors les caractéristiques sont déposées dans un arrêté catégoriel. Par exemple, l'arrêté du 26 mai 2004 relatif aux instruments de pesage précise les caractéristiques métrologiques attendues ainsi que l'étendue de mesure à contrôler.

L'autre possibilité, très proche de la métrologie légale, est celle qui concerne les entreprises qui réalisent une activité conformément à une norme, une méthode reconnue... C'est le cas notamment de nombreux laboratoires d'essais ou d'analyses.

Les documents normatifs exploités contiennent souvent un chapitre spécifique concernant le matériel à utiliser et c'est au sein de ce dernier que les caractéristiques métrologiques à respecter sont généralement mentionnées.

Que cela soit pour garantir le respect d'une réglementation (comme en métrologie légale) ou pour réaliser une opération conformément à une norme, le métro-

LES EXPERTS



Jean-Michel POU

Président fondateur de la société Delta Mu, membre des commissions "Métrologie" et "Méthodes statistiques" de l'Afnor et président du cluster d'excellence "Auvergne Efficience Industrielle" ..

logue a peu d'influence sur les caractéristiques métrologiques, il doit obéir à la règle. Cette obéissance est parfois contraignante, néanmoins elle soulage le métrologue : la règle existe et il suffit de la suivre.

Mais comment faire lorsqu'il n'y a pas de norme ou d'arrêté catégoriel pour définir les EMT ? Ce cas est assez fréquent et pose de nombreux problèmes au métrologue.

À partir de la spécification technique du constructeur de l'instrument

L'idée évidente qui surgit alors est d'utiliser comme EMT la spécification technique du constructeur de l'instrument. Il est courant de penser ainsi : « Si l'instrument est en place depuis des années, que le produit fabriqué est tout le temps conforme,



Frédéric AUTHOUART

Métrologue, coach et fondateur de l'entreprise Crisalis qui allie résolution technique et humaine d'une problématique

alors l'équipement de mesure est bien adapté. Il n'y a qu'à utiliser comme EMT la spécification du constructeur de l'instrument ! » Cette réflexion est séduisante, mais pose néanmoins quelques problèmes...

- La faiblesse de certaines spécifications : hormis quelques grands fabricants d'instruments, les spécifications métrologiques des appareils de mesure sont souvent succinctes et parfois résumées en une ligne « précision : $\pm 1\%$ ». Qu'appelle-t-on précision ? 1% de quoi ? De la mesure, de la pleine échelle ou de l'étendue réglée ? Ce genre de notice technique, malheureusement très répandue, sera d'un faible secours pour le métrologue.
- Le domaine de validité : le constructeur indique-t-il le champ d'application des caractéristiques métrologiques ? Ces

spécifications sont-elles valables en laboratoire ou sur site ? Instrument neuf ou usagé ? L'analogie qui décrit ce problème est celle des consommations de carburant des automobiles. Si l'utilisateur ne conduit pas dans les conditions d'essais de son véhicule, il ne retrouvera jamais la consommation donnée par le constructeur.

Enfin, il ne faut pas oublier dans cette réflexion le risque de surqualité. Peut-être qu'en appliquant une EMT constructeur, on demande à notre instrument une performance métrologique bien meilleure que le besoin réel.

À partir du besoin client

L'étude du besoin réel est la route la plus efficace et passionnante à emprunter. Cette voie concerne de nombreuses entreprises, notamment celles où les activités ne sont pas réalisées à partir de normes, mais à partir de procédures internes.

Pour mettre en œuvre ce processus, le réflexe le plus tentant est celui d'étudier les procédures de fabrication et d'y chercher le chapitre sur l'incertitude requise sur les résultats de mesure. À part quelques rares entreprises qui ont une culture métrologie forte, ce chapitre n'existe pas, c'est donc au métrologue d'entrer en jeu.

Entrer en jeu, cela veut dire avant tout mener l'enquête, aller recueillir le besoin du client, poser la question : « de quoi avez-vous besoin en terme d'exigences métrologiques ? »

Oui, mais vers qui la poser ? Le responsable production ? Le responsable qualité ? Le responsable de développement ? Si l'entreprise était un restaurant, je dirais qu'il faut aller poser cette question au cuisinier : « *quelles sont les étapes-clés de votre recette ? Et sur chacune de ces étapes, quelles grandeurs physiques souhaitez-vous maîtriser ? Et avec quelle confiance, ou plutôt incertitude ?* »

Le premier travail du métrologue en entreprise consistera donc à trouver le "cuisinier", tout du moins celui qui a le plus d'expérience ou la meilleure connaissance

du procédé. Cette étape devient de plus en plus complexe car, depuis des années, les entreprises se séparent du personnel expérimenté sans toujours assurer la conservation du savoir. Le métrologue qui pose alors ses questions aux personnes en poste obtiendra souvent ce genre de réponses :

« *Je ne sais pas, c'est vous le métrologue !* »
« *Qui peut le plus, peut le moins, appliquez l'EMT la plus petite* »

« *L'instrument affiche le centième de degré, donc une EMT à $\pm 0,01^\circ\text{C}$, puisque c'est affiché, vous pouvez le faire* »

Ces phrases résument le plus souvent le désarroi des responsables en charge de la définition du besoin, car il ne faut pas se tromper de rôle, le métrologue recueille le besoin du client et le traduit en exigences métrologiques. Si le métrologue commence à définir seul les EMT dans son bureau, alors cela signifie qu'il prend la responsabilité du "cuisinier".

La première partie de l'échange consiste souvent pour le métrologue à expliquer son rôle dans l'entreprise et surtout de tenir sa place. Ensuite, il communique à son interlocuteur ce dont il a besoin pour déterminer les EMT, par exemple :

Métrologue : « - Dans la première phase de production, j'aimerais connaître la quantité de sodium dont vous avez besoin ?

- *Responsable production* : 100 kg

- *Métrologue* : Très bien, mais avec quelle tolérance ? »

- *Responsable production* : Je n'en sais rien, 100 kg c'est ce qui est précisé dans la procédure, il n'y a pas la tolérance.

- *Métrologue* : Je comprends, mais s'il y a en réalité 101 kg dans la cuve alors que l'afficheur indique 100 kg, est-ce que cela aura un impact sur la qualité du produit final ?

- *Responsable production* : Ah non, on a pas besoin d'être aussi précis.

- *Métrologue* : Et si en réalité c'était 102 kg, alors que l'afficheur indique 100 kg ? »

Voilà l'exemple d'échange qu'il est possible de mener lors de cette étape. Un

ensemble de questions à poser où notre métrologue se transforme alors en pédagogue journaliste, car il doit en même temps interroger et expliquer.

Une fois l'exigence métrologique du client exprimée, par exemple, peser 100 kg de sodium et avoir confiance à ± 5 kg sur cette valeur, il revient au métrologue de convertir ce besoin en caractéristiques métrologiques et à les confirmer dans le temps.

Dans notre exemple, le métrologue peut poser comme caractéristiques métrologiques : point de fonctionnement : 100 kg, EMT : ± 5 kg. Mais ce choix résulte d'une hypothèse simplificatrice : la confiance sur la mesure repose uniquement sur la balance. Autrement dit, l'incertitude du processus de mesure = $EMT_{\text{instrument}}$.

Le processus de mesure, c'est tout ce qui va concourir à produire le résultat de mesure. Dans notre exemple, il est constitué naturellement de la balance, mais aussi de son installation : horizontalité ; des conditions environnantes : soufflerie, vibration ; de son utilisation : la cuve est fixée dessus ou un opérateur la pose et la dépose ? Du chargement du sodium : manuel ou régulé en automatique ? De la matière : son influence sur la qualité de la mesure, du lieu d'affichage : local sur la balance ou recopié vers un terminal informatique... Toutes ces grandeurs d'influence peuvent apporter du doute sur le résultat et cela en plus ou moins de la performance intrinsèque de la balance nommée $EMT_{\text{instrument}}$.

Notre processus de mesure est donc la composition d'un instrument, caractérisé par son EMT et de la mise en œuvre de ce dernier caractérisée par une incertitude d'utilisation $\pm U_u$.

L'incertitude de mesure sera donc égale à la composition de ces 2 éléments : $\pm EMT_{\text{instrument}}$ et $\pm U_u$.

La détermination de l'incertitude de mesure résulte d'un calcul mathématique qui sera abordé dans un prochain article.

Cette philosophie est la plus rigoureuse. Elle permet, en listant les grandeurs d'influence, d'attribuer une EMT raisonnable. Dans cet exemple, l'EMT de ± 3 kg a été déduite à partir du budget d'incertitudes (cf. tableau 1).

Pour garantir la qualité de la production, cette incertitude de mesure doit être plus petite que la tolérance demandée par le processus de fabrication. On s'assure de cette hiérarchie par le calcul du coefficient C, souvent appelé « capabilité » du processus de mesure. C étant le rapport entre la tolérance process et l'incertitude de mesure. Dans l'exemple de cet article, $C=1,4$, cela signifie que le processus de mesure est bien adapté, puisque supérieur à 1, il reste même de la marge au cas où le calcul d'incertitude aurait négligé des composantes importantes. Si on résume cela sur un schéma, cela donne un début de pyramide de raccordement (cf. Figure 1).

La base de la pyramide est représentée par le besoin du procédé, cette zone symbolise la quantité vraie de sodium que doit contenir la cuve pour réaliser un produit qui assure la satisfaction du client.

À l'étage du dessus, le processus de mesure : tout ce qui est mis en œuvre pour garantir la quantité de sodium dans la cuve. Ce processus de mesure est incertain et cette incertitude de mesure est composée des caractéristiques métrologiques de la balance notée $\pm EMT_{instrument}$, mais aussi de tout ce qui peut venir influencer la mesure et qui ne serait pas provoqué par la balance, noté $\pm Uu$.

Naturellement, nous pouvons choisir une EMT bien plus petite, par exemple ± 1 kg. Cela augmentera le ratio de capabilité et diminuera notre risque éventuel d'un sur

Grandeur d'influence	Limites de variation
Vibration / ventilation dans l'atelier	± 200 g
Exactitude du dosage automatique	± 800 g
Mesure unique réalisée par l'opérateur	± 100 g
Résolution de tare	± 50 g
Résolution en charge	± 50 g
Dérive dans le temps balance (chocs, usures)	± 200 g
Performance de la balance [EMT]	± 3 kg
Incertitude de mesure calculée	$\pm 3,6$ kg
Incertitude de mesure maximale pour le processus de mesure	± 5 kg
Capabilité du processus de mesure vis-à-vis du besoin du procédé	$=5/3,6=1,4$

TABLEAU 1 : Exemple de bilan de causes d'incertitude.

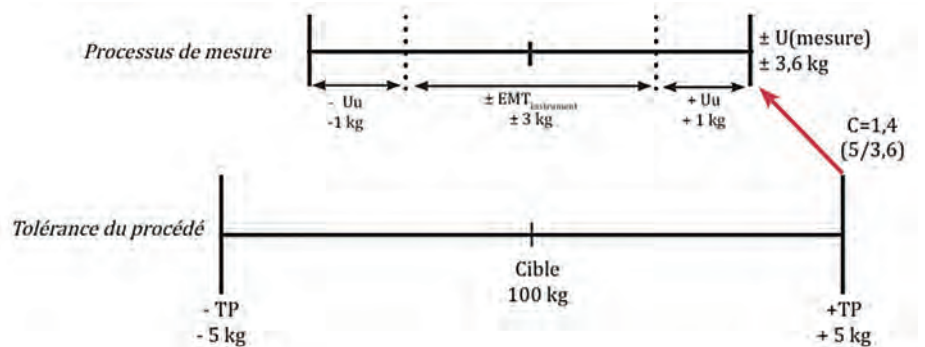


FIGURE 1 Pyramide de raccordement.

ou d'un sous dosage. Il faut ici préciser que l'adage « qui peut le plus peut le moins » est dangereux en métrologie. En effet, réduire l'EMT est séduisant pour le responsable production, car il réduit le risque de non-conformité en production, mais il va demander au métrologue de dépenser plus d'énergie pour garantir cette petite EMT dans le temps : multiplication des étalonnages, achats d'étalons plus performants, mise en place de processus de surveillance réguliers... Bref de la sur-qualité qui, si le calcul d'incertitude est bien mené, ne sert à rien. Par ailleurs, si les causes d'incertitude les plus importantes ne sont pas liées à l'instrument, réduire l'EMT ne réduit pas l'incertitude... Cette méthode demande naturellement du temps et ne doit s'appliquer qu'aux mesures réellement critiques en entre-

prise, c'est-à-dire celles qui ont un impact sur la qualité du produit. Le budget d'incertitude est un outil puissant, car il permettra ensuite de mettre en œuvre une métrologie adaptée au besoin en déployant les actions de confiance du métrologue sur les grandeurs d'influence majeures : vérifications périodiques, surveillances par redondance, formation du personnel, amélioration du système de régulation de dosage, climatisation de l'atelier, changement de matériel...●

Dans le prochain article, nous évoquerons un nouveau sujet très important pour le métrologue : la gestion de la sous-traitance. Nous nous intéresserons aux accréditations et aux techniques de suivi et de sélection des prestataires de service.

Tout au long de son article, Frédéric développe une idée forte du rôle du métrologue dans l'entreprise. La question qui sert de fil conducteur tient en trois mots : conforme ou non ?

Que ce soit pour la quantité de sodium

dans la cuve ou, implicitement, pour la conformité de la balance à son EMT, le métrologue est souvent appelé à résoudre cette question. Dans un monde sans incertitude, la réponse serait d'une simplicité enfantine. Comparer une valeur à

une limite est un exercice auquel se livrent les enfants dès leur plus jeune âge à l'école. En revanche, considérer la valeur mesurée et l'incertitude associée pour effectuer cette comparaison devient un exercice plus compliqué. Nous avons

souvent évoqué cette problématique dans ces pages, nous n'allons pas redévelopper tous les concepts ici. Pour résumer, on compte trois stratégies « normatives » qui se font, en quelque sorte, concurrence :

1 : La norme NF EN ISO 14253-1 (décembre 2013 : *Spécification géométrique des produits (GPS) - Vérification par la mesure des pièces et des équipements de mesure - Partie 1 : règles de décision pour prouver la conformité*) qui préconise de diminuer la spécification initiale de l'incertitude de mesure, pour définir des zones dites de « conformité », de « doute » et de « non-conformité ».

2 : La norme NF ISO 22514-7 (Janvier 2013 : *Méthodes statistiques dans la gestion de processus - Aptitude et performance - Partie 7 : aptitude des processus de mesure*) qui normalise un concept utilisé de longue date : la capacité. Cette norme introduit les notions « ratio de performance » (Q_{MS} et Q_{MP}) et de « coefficient d'aptitude » (C_{MS} et C_{MP}), pour le système de mesure (indice MS) et pour le processus de mesure (indice MP). Empruntés à la M.S.P (maîtrise statistique des procédés), ces indices ne permettent pas de définir directement des risques liés à la décision. Ils font l'objet, dans cette norme, d'un développement particulier autour de la question de la représentativité du paramètre C_p - dispersion du process de production - observé et de sa valeur réelle, eu égard à Q_{MP} et C_{MP} . Même si cette norme propose une valeur « idéale » pour C_{MS} et C_{MP} , elle n'est qu'une recommandation et ne fait pas l'objet d'une quelconque démonstration quant à son sa pertinence technique... Frédéric pose la question du coefficient à choisir dans son texte (cf. Figure 1). Cette question est classique et récurrente en métrologie, et chacun y va de son *a priori*. Plusieurs valeurs typiques circulent (3,4, 10,...) sans réelle justification autre que l'empirisme. On verra plus bas que cet empirisme représente probablement une véritable opportunité d'amélioration, sous réserve de bien vouloir se poser les bonnes questions...

3 : La nouvelle norme NF ISO/CEI Guide 98-4 (octobre 2013 : *Incertitude de mesure* -

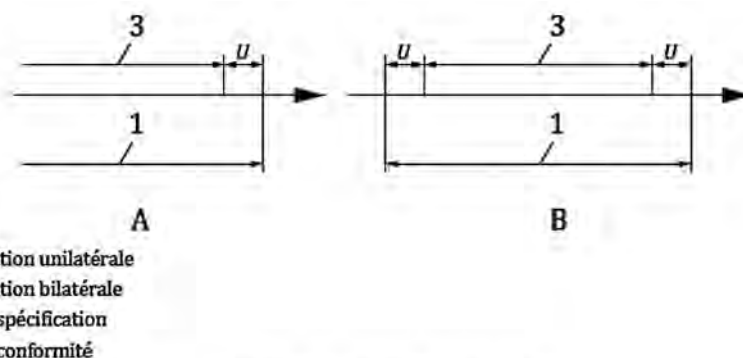


Figure 1 — Zone de conformité

FIGURE 2 : Définition des « zones de conformité » suivant la norme NF EN ISO 14253-1 (2013) (Figure directement extraite de la norme).

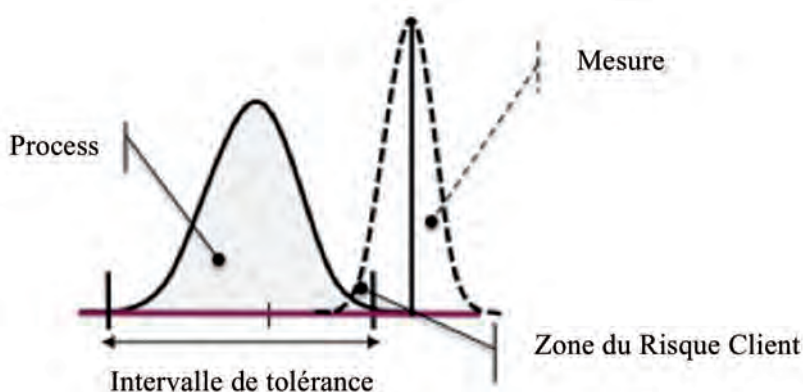


FIGURE 3 : Schématisation du risque client.

« Dans un monde sans incertitude, la réponse serait d'une simplicité enfantine. »

Partie 4 : rôle de l'incertitude de mesure dans l'évaluation de la conformité) qui semble dessiner un avenir différent. En effet, et pour la première fois semble-t-il, la notion de risques liés à la décision fonde la stratégie proposée par cette norme. Il ne s'agit plus ici de fixer une règle arbitraire, mais, au contraire, de s'interroger sur le risque que nous sommes prêts à accepter quant à la décision qui sera prise sur la base d'un résultat de mesure (valeur mesurée et incertitude associée). Or, ce risque ne trouve pas son origine dans la seule incertitude de mesure. En effet, deux conditions coexistent par

exemple pour livrer un objet « non conforme » (risque client) :

- L'objet est réellement « non conforme » (et il existe une probabilité donnée – par le process – qu'il en soit ainsi de chaque objet produit)
- L'objet « non conforme » a été mesuré « conforme » à cause de l'incertitude de mesure (et il existe une probabilité donnée – du fait du processus de mesure – qu'il en soit ainsi pour un objet « non conforme » produit).

Cette situation est résumée par la figure 3.

Cette nouvelle norme ouvre donc un nouveau chantier pour la métrologie industrielle. Souvent cantonné à vérifier la conformité sans *a priori*, le métrologue va devoir s'intéresser, dans l'avenir, aux paramètres des process de production. En effet, la mise en œuvre de cette nouvelle norme impose de connaître la probabilité *a priori* des produits pour déterminer le risque lié à la décision (acceptation,

réglage...). Or, cet *a priori* ne peut être connu qu'à l'aide de mesures dont la qualité (l'incertitude) doit être maîtrisée. Les mondes de la métrologie et de l'analyse de données (statistiques) vont enfin se rencontrer dans un même objectif : quantifier et maîtriser les risques !

La réalité...

Au-delà de ces trois stratégies normatives, il faut bien reconnaître qu'il existe, dans les pratiques industrielles, une quatrième solution, et probablement la plus utilisée : ne pas tenir compte, tout simplement, des incertitudes de mesure ! Avec la métrologie légale (début 1800) qui a parfaitement réussi sa mission⁽¹⁾, nous avons tous inconsciemment cru comprendre que les mesures étaient toujours justes. Dans ce contexte, l'étalonnage s'entend souvent, pour la plupart des personnes, comme le réglage d'un instrument, sa vérification comme la validation qu'il est bien réglé. Du coup, et au lieu d'avoir profité de l'obligation d'étalonnage⁽²⁾ pour se poser la question des incertitudes, tout se passe depuis longtemps comme si on mesurait encore mieux qu'avant, puisqu'on étalonne !

Évidemment, il n'en est rien, mais force est de constater que le fait de ne pas tenir compte des incertitudes de mesure n'empêche pas de satisfaire les clients. Dans nos organisations, les tolérances exigées ont manifestement très souvent les propriétés de la zone de conformité de la norme NF EN ISO 14253-1, ce qui signifie qu'elles n'expriment pas le réel besoin fonctionnel, mais plus simplement la « *recette établie pour valeurs mesurées* » qui permet de l'obtenir. Elles ont souvent été déterminées de façon empirique, par l'expérience, et il n'est pas surprenant qu'une recette (tolérances) qui a fait ses preuves (fonctionnalité finale) continue à donner satisfaction même si les mesures ne sont pas justes !

« Les tolérances n'expriment pas le réel besoin fonctionnel. »



Si l'entreprise était un restaurant, je dirais qu'il faut aller poser cette question au cuisinier : « *quelles sont les étapes-clés de votre recette ? Et sur chacune de ces étapes, quelles grandeurs physiques souhaitez-vous maîtriser ? Et avec quelle confiance, ou plutôt incertitude ?* »

« Le métrologue va devoir s'intéresser aux paramètres des process de production. »

Le D.I.S de l'ISO 9001 (V2015)

La nouvelle version à venir de l'ISO 9001 s'organise en grande partie autour des concepts de risques et d'opportunités. La qualité s'entendra demain comme la capacité à prévenir ou accepter des risques mesurés et à saisir des opportunités d'amélioration. La métrologie me semble par conséquent pouvoir devenir l'un des piliers majeurs de cette nouvelle philosophie, tant sur la quantification et la maîtrise des risques (cf. les préconisations de la nouvelle norme NF ISO CEI Guide 98-4) que dans l'exploration d'opportunités visant à améliorer la performance, donc la compétitivité. En effet, dans le monde actuel où, pour pouvoir considérer que les mesures sont justes, on a probablement réduit l'expression des exigences fonctionnelles, il y a forcément « du grain à moudre » en reconsidérant les choses.

Tout comme Frédéric s'interroge sur l'EMT de sa balance et signale qu'en dessous d'un certain seuil, une telle exigence serait improductive, voire pire, surcoûteuse, les industriels doivent s'in-

terroger sur la pertinence de leurs exigences eu égard au besoin fonctionnel réel. Une meilleure approche de la métrologie, une meilleure exploitation des données qualifiées disponibles, mais également les outils numériques à notre disposition en ce début du XXI^e siècle doivent nous permettre de remettre à plat un certain nombre d'habitudes. La nouvelle version de la norme insiste sur des prises de décision établies sur des faits (*versus* des décisions prises sur des opinions ou des croyances, empiriques ou dogmatiques), il est plus que temps qu'elle soit mise en œuvre et que les auditeurs se préparent à une profonde modification de leur vision du métier du métrologue...●

(1) Le rôle de la métrologie légale est de garantir la loyauté des échanges commerciaux

(2) Les étalonnages périodiques se sont essentiellement développés depuis 30 ans dans le cadre des exigences des référentiels qualité, donc sous une forme de pression des auditeurs...