

COMPTE RENDU DES JOURNÉES TECHNIQUES DU CFM

Incertitude de mesure : de la pratique au calcul

Savoir évaluer les incertitudes de mesure est la clé indispensable pour garantir la fiabilité et la qualité des résultats de mesure et d'analyse. L'incertitude est le niveau de confiance accordée au résultat de mesure, l'estimation d'une incertitude implique la maîtrise d'analyse du processus de mesure et de ses facteurs d'influence. Cette journée avait pour objectif : de matérialiser les fondamentaux pour une bonne maîtrise du concept d'incertitude de mesure et son évaluation et de réaliser des exercices et mise en pratique.

Pour comprendre le monde, l'homme essaie de le résumer, de le simplifier et de la modéliser. Ces modélisations s'effectuent souvent grâce à des mesures, des estimations, des examens. Ce qui est mesuré ce sont des propriétés, des phénomènes, des corps, des substances. On parlera alors de grandeurs lorsque l'expression de la propriété quantitative sinon ce sera une propriété qualitative. La mesure est une source de connaissance rappelle Marc Priel expert du CFM et du LNE. Il est important dans toute mesure de bien définir son mesurande, la grandeur a mesuré, ainsi que le mesurage pour obtenir un résultat de mesure. Pour rappel un résultat de mesure est un ensemble de valeurs attribuées à un mesurande complété par toute autre information pertinente disponible. L'incertitude de mesure est un des paramètres du résultat de mesure. L'incertitude exprime le doute que l'on a sur le résultat annoncé. Elle peut se qualifier par un paramètre de dispersion, par exemple un écart-type. Le résultat de mesure que l'on annonce est celui dans lequel nous avons le plus confiance, par exemple la moyenne, la médiane...

Il existe plusieurs méthodes pour estimer les incertitudes de mesure : la méthode du GUM, du GUM- S1 ou la méthode Monte Carlo, la méthode bayésienne.

La méthode du GUM est la méthode la plus connue. Elle peut être mise en place en 4 étapes seulement montre Camille Gonnet du CT2M.

La première étape consiste à lister les paramètres d'influences qui permettent de modéliser la mesure. La méthode des « 5M » est un bon moyen pour repérer tous ces paramètres d'influence. Il peut être intéressant de préciser pour chaque facteur cité, les moyens de maîtrise mise en œuvre par le laboratoire ou la société. La modélisation de la mesure se fait dans un second temps. Il y a deux possibilités : soit le mesurande est mesuré directement alors on définit une équation théorique entre le résultat de mesure et la valeur lue sur l'instrument, c'est un modèle additif ; soit le mesurande n'est pas directement mesuré, mais déterminé à part plusieurs grandeurs, dans ce cas on détermine l'équation qui lie les grandeurs, et on en déduit le modèle.

Ensuite pour chaque modèle il faut estimer chaque incertitude type composée. Il existe deux méthodes pour estimer les incertitudes : la méthode de type A – utilisé pour les sources d'erreurs aléatoires, et la méthode de type B – utilisé pour les autres sources d'erreurs, qui s'appuie sur des connaissances théoriques. La méthode de type A est expérimentale tandis que la méthode de type B est systématique.

Une fois l'estimation des incertitudes de chaque paramètre on peut les combinées avec la loi de propagation des incertitudes. Il existe plusieurs méthodes pour écrire un résultat de mesure : par exemple - Résultat = valeur (incertitude de mesure) unité.

L'incertitude de mesure est arrondie à 2 chiffres significatifs en majorant, le résultant quant à lui est arrondi au même nombre de décimales que l'incertitude.

L'estimation des incertitudes de mesure donne une indication qualitative sur la qualité du résultat pour que l'on puisse ensuite estimer sa fiabilité. En l'absence d'une telle indication, les résultats de mesure ne peuvent pas être comparés soit entre eux soit par rapport à des valeurs de référence données dans une spécification ou une norme et donc de déclarer la conformité ou non d'un produit à une spécification ou de décider de l'opportunité d'un traitement suite à une analyse... L'incertitude de mesure permet aussi de décider du choix d'un processus de fabrication, de suivre l'évolution d'un processus, de comparer des laboratoires...

Prenons l'exemple de la distance d'arrêt d'un véhicule ayant une distance d'arrêt moyenne égale à 222 m avec une incertitude de mesure composée égale à 26 m. Après une étude de l'importance relative des sources d'incertitudes, il est mis en valeur que sur les

4 facteurs influents la décélération a une importance relative de 50 %. De ce fait si on souhaite réduire la distance d'arrêt, il faudra travailler sur la décélération du véhicule explique François Hennbelle de l'Université de Bourgogne. L'estimation des incertitudes de mesure a détecté le paramètre prépondérant.

Cette journée a permis de mettre en application les méthodes via deux

exemples d'estimations des incertitudes de mesure sur deux processus différents présentés par Guillaume Haran de la société Protimed et Patrick Leblois de la société Comma Consulting.

Conclusion

Les incertitudes de mesure sont essentielles pour connaître la fiabilité que l'on peut donner à sa mesure. Elles permettent d'avoir une meilleure

connaissance sur sa mesure et également d'améliorer son processus de mesure. Comme disait Voltaire : « Le doute est un état mental désagréable, mais la certitude est ridicule » ●

✉ **Marine ESCUILLIÉ**

Chef de projets, CFM

✉ **François HENNEBELLE**

Maître de conférences, Université de Bourgogne

COMPTE RENDU DES JOURNÉES TECHNIQUES DU CFM

Métrologie et Industrie 4.0

L'industrie 4.0 est une industrie flexible, automatisée et interconnectée grâce aux nouvelles technologies. Le produit est tracé et exploité tout au long de sa fabrication en fonction de ses caractéristiques. La mesure devient ainsi dynamique, c'est-à-dire que l'on mesure en flux de production. Avec l'exploitation des mesures et l'interaction numérique, la production évolue et permet de produire « bien du premier coup ». La métrologie devient proactive au cœur de la production et permet son optimisation. Cette journée avait pour objectif de présenter les innovations en mesure et métrologie d'aujourd'hui pour l'usine de demain.

L'industrie a vécu 4 révolutions : la première avec la machine à vapeur, la deuxième avec l'électricité, la troisième avec l'électronique et l'informatique et maintenant la quatrième avec les systèmes cyber-physiques. Ce terme générique désigne l'apparition de nouveaux systèmes hybrides intégrant à la fois des machines, des capteurs, des calculateurs et des moyens de communication. Ces systèmes interactifs avec l'univers physique (actionneurs, capteurs...) et l'univers numérique (algorithmes, systèmes d'information, réseaux...) peuvent être autonomes et dans certains cas travailler avec l'homme, développe Cosimi Corleto de la société Stil.

Les points clés de l'usine du futur sont le gain de productivité, la réduction des rebuts, l'amélioration de la qualité, la maintenance prédictive, la réduction de la consommation (énergie et matière).

Il y a cinq grands thèmes dans l'usine du futur :

1. conception produit/process,
2. pilotage/contrôle,
3. opération de fabrication,
4. service (intégration, maintenance),
5. organisation du travail.

On retrouve la mesure dans : le point 2- pilotage/contrôle via la traçabilité, le point 3- opérations de fabrication au travers de techniques de précision et des capteurs intelligents, et le point 4- service avec la maintenance prédictive.

Dans cette nouvelle usine la chaîne de mesure comprend trois grandes phases, la récolte de la donnée, le traitement - transmission, véracité de la mesure, stockage - puis l'analyse - data science, deep learning, traitement statistique...

De nombreuses nouvelles technologies sont clés dans cette évolution : par exemple, la fabrication additive, la

robotique collaborative ou mobile, les logiciels, l'intelligence artificielle, le cloud, les technologies immersives, les IoT, la maintenance prédictive, le big data, la blockchain, la cyber sécurité...

L'intelligence artificielle à l'aide des réseaux de neurones, permet une amélioration continue, comme la reconnaissance d'objets, de textures, de textes, de défauts...

Cette ère digitale évolue vers l'ère de l'intelligence. La supply chain est aussi concernée dans cette évolution, elle est au cœur de l'entreprise.

Avec l'IA de nouveaux outils arrivent comme la maintenance prédictive. Cette maintenance permet d'optimiser la production pour s'assurer d'une qualité optimale explique Bruno Hemery de la société SAP. Connecter les paramètres de production et les paramètres de qualité/maintenance