Instruments de mesures

Optimiser les périodicités d'étalonnage

Partie 3

Cet article est un résumé d'un document exhaustif publié dans le cadre du classeur métrologie, édité par AFNOR sous le titre Optimisation de la gestion d'un parc d'instruments de mesure : mode d'emploi du fascicule FD X 07-014(1). *Il se découpe en 3 parties qui correspondent aux 3 méthodes du fascicule de documentation : la méthode Opperet(2), l'analyse des dérives(3) et l'analyse des incertitudes de mesure. Ce troisième article présente l'analyse des incertitudes de mesure.*

Méthode 3 : l'analyse des incertitudes de mesure

La question systématique que se posent le métrologue et l'utilisateur d'un moyen est de savoir s'il est conforme. Lorsqu'on y réfléchit de plus près, cette question ne manque de surprendre, car il faudrait se demander parallèlement : conforme à quoi ? Le réflexe habituel est de se fier à la norme, voire aux caractéristiques constructeur, pour établir la conformité d'un instrument.

Ce réflexe légitime reste pour le moins curieux. Si on peut s'attendre à ce qu'effectivement, les caractéristiques constructeur soient proches du besoin utilisateur (c'est peut-être pour cela qu'on l'a acheté, mais pas toujours, convenons-en…), il est stupéfiant de penser qu'une norme au caractère nécessairement généraliste puisse répondre d'un même coup aux préoccupations de tous ceux qui la lisent. Il n'est en effet pas caricatural de dire qu'une norme est faite pour ceux qui l'écrivent, pas nécessairement pour ceux qui la lisent !

La vraie question ne semble donc pas être : "Mon instrument est-il conforme ?", mais plutôt "Quelle est la tolérance qu'il peut vérifier ?". Tout le monde pourra convenir qu'un pied à coulisse, même "conforme", ne sera pas adapté pour vérifier une tolérance de quelques micromètres et, au contraire, qu'un pied à coulisse "non conforme" pourra tout de même vérifier une tolérance de quelques millimètres.

Ainsi, la question qu'il conviendrait de se poser, et qui "marche" dans tous les cas, est plutôt : "À partir de quelle valeur, entre 5 µm et 5 mm, j'ai changé d'avis pour mon pied à coulisse ?". Cette valeur représente bien le besoin utilisateur (quelle est la tolérance que je peux vérifier à l'aide de ce processus ?) et le besoin du normalisateur (les résultats de mesure doivent être "valables", au sens juridique anglo-saxon du terme).

Cette tolérance minimale vérifiable se détermine à partir de l'incertitude de mesure du processus dans lequel le moyen est utilisé et du coefficient de capabilité contractuel "client-fournisseur". Dans ce contexte, la périodicité d'étalonnage se définit comme étant la période de temps au cours de laquelle on a de bonnes raisons de penser que la tolérance minimale vérifiable indiquée reste effectivement celle déterminée lors du dernier étalonnage.

Le guide pour l'expression des incertitudes de mesure (GUM), qui est en fait un ouvrage de statistique à l'usage des métrologues, rappelle les principes qui régissent ce type de phénomène. Contrairement à l'idée simple qui consisterait à additionner les erreurs maximales que risquent de produire les facteurs du processus (on trouve encore ce raisonnement en mécanique, dans le cadre des chaînes de cotes par exemple !) et qui a été longtemps pratiquée, les statistiques expliquent que ce sont les variances (carré de l'écart type) des facteurs qui s'additionnent pour donner une variance cumulée de tous les facteurs.

En extrayant la racine carrée de cette dernière, on obtient l'écart type du phénomène que produisent tous ces facteurs en se mélangeant, écart type appelé, dans le monde de la métrologie, incertitude type composée (u_c). Ensuite, et en admettant respectées toutes les hypothèses du théorème central limite, il est possible de définir un intervalle de confiance maîtrisé, via le facteur d'élargissement choisi, dans lequel doit se trouver la valeur vraie de l'objet mesuré. La formule générale, hors loi de propagation (voir norme NF ENV 13005 [1]) qui compliquerait le propos, s'écrit :

$$\mathbf{u_c = \sqrt{}\,(V_{op} + V_{inst} + V_{env} + V_{étal} + \ldots)}$$

où :

- V_{op} représente la variance liée aux opérateurs (répétabilité et reproductibilité interopérateur) ;
- V_{inst} représente la variance liée aux erreurs de l'instrument (justesse – si elle est considérée aléatoire, fidélité…) ;

(1) FD X 07-014, in Métrologie – Optimisation des intervalles de confirmation métrologique des équipements de mesure, *2006.*

(2) Contrôles Essais Mesures n° 21, *octobre 2007, p. 81.*

(3) Contrôles Essais Mesures n° 22, *janvier 2008, p. 106.*

- V_{env} représente la variance liée à l'environnement (température, pression…) ;
- $V_{étal}$ représente la variance liée aux incertitudes d'étalonnage (sur les erreurs mesurées).

Principe de l'évaluation de la périodicité

Là encore, les métaphores automobiles s'appliquent. On peut effectivement comparer l'incertitude de mesure à la capacité de freinage d'un véhicule (et de son conducteur, évidemment !), la tolérance minimale vérifiable devenant ici la distance de freinage. L'important est donc de définir quel est le facteur prépondérant (ou quels sont, s'il y en a plusieurs), car agir sur les autres paramètres ne change en rien le résultat final. En d'autres termes, il n'est pas nécessaire de vérifier l'état des plaquettes de frein tant que les pneus sont lisses ou presque, c'est du bon sens !

L'importance relative des facteurs qui constituent le processus de mesure se détermine par le "poids" de la variance concernée dans l'ensemble des autres variances. Il s'agit simplement du rapport entre la variance qui provient du facteur analysé et la somme de toutes les variances. Pour le cas qui nous occupe – le poids de l'instrument dans le processus – le fascicule nomme R_{per} ce poids suivant la formule :

$$R_{per} = V_{inst} \,/\, (V_{op} + V_{inst} + V_{env} + V_{étal} + \ldots)$$

Le bon sens permet de définir 2 valeurs caractéristiques pour ce rapport :
- si R_{per} tend vers 0, alors la périodicité tend vers l'infini (l'instrument ne participe pas à l'incertitude) ;
- si R_{per} tend vers 1, alors la périodicité tend vers 0 (la moindre dérive de l'instrument est immédiatement perçue dans l'incertitude, donc la tolérance minimale vérifiable).

Ces 2 valeurs caractéristiques ne permettent pas de trouver une relation mathématique entre R_{per} et la périodicité du fait de l'asymptote que représente l'infini. Pour résoudre ce problème, le fascicule propose 2 principes. Il estime que l'infini pourrait se limiter à 10 ans (il ne s'agit pas d'un plafonnement de la périodicité qui sera toujours possible, mais d'un point caractéristique de la courbe) et qu'un troisième point caractéristique est nécessaire pour établir une relation.

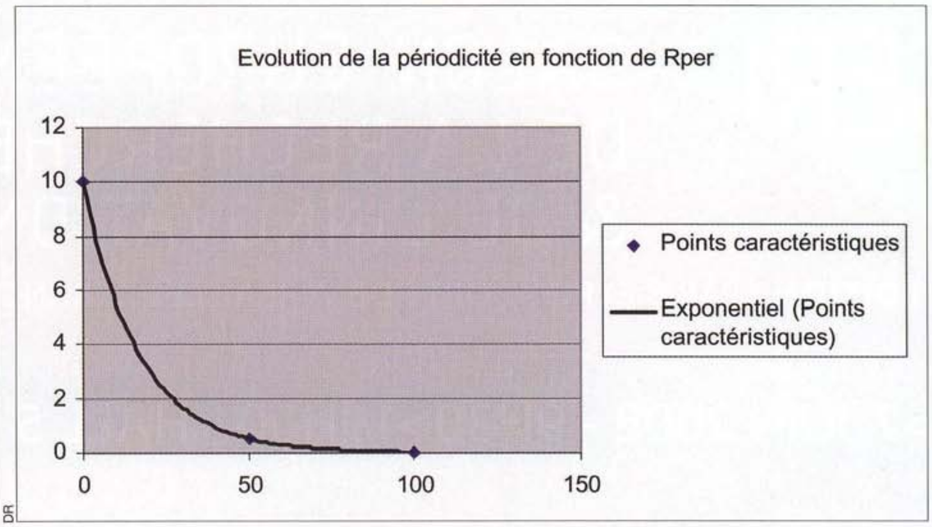

Figure 1 : relation mathématique entre R_{per} et périodicité : P (en année(s)) = 10 x e(-R_{per}/21,75).

Ainsi, il est convenu arbitrairement de ce troisième point en admettant une périodicité de 12 mois pour une valeur de R_{per} de 50 %. C'est en cela que cette deuxième approche est moins pertinente que la première, puisqu'elle émet des hypothèses arbitraires, mais qui restent tout de même tout à fait acceptables. Par ces 3 points particuliers passe une fonction exponentielle décroissante qui permet d'établir une relation entre R_{per} et la périodicité (*cf.* figure 1).

Cette méthode propose de répondre en même temps à 2 exigences importantes : la connaissance de l'incertitude de mesure (donc la tolérance minimale vérifiable) et la périodicité optimale. Elle présente effectivement quelques difficultés de mise en œuvre, mais les efforts pour la mener à bien sont rémunérateurs sur bien des points : des étalonnages justifiés par une meilleur évaluation des besoins réels de l'entreprise, en terme de limites d'acceptation et de fréquence, une conformité renforcée aux exigences des normes qualité…

Conclusion

Ces 3 articles ont permis de présenter les méthodes actuelles d'évaluation des périodicités. Toutes 3 s'appuient sur des outils statistiques plus ou moins élaborés. Elles restent néanmoins accessibles, avec quelques efforts parfois, à chacun.

Au-delà des économies générées par leur application, elles modifient sensiblement la façon de voir les choses. En acquérant des compétences dans le milieu des statistiques, le métrologue trouvera dans son entreprise bien d'autres sujets à traiter de la sorte. Le monde anglo-saxon pratique la méthode 6 Sigma depuis longtemps avec des résultats probants, les métrologues peuvent accéder simplement à ces méthodes en commençant par une gestion avancée de leurs moyens.

La métrologie sait où, combien et pourquoi, il nous faut maintenant apprendre comment…

Jean-Michel Pou[4]

(4) Jean-Michel Pou, dirigeant fondateur de Delta Mu, président du GIE Quantum Metwork, directeur technique de BEA Métrologie, membre des comités de normalisation ISO et AFNOR et du Collège français de métrologie.