

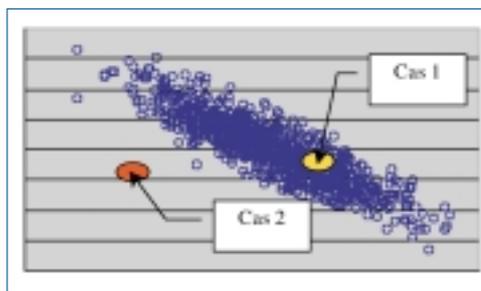
ÉVALUATION DE L'INCERTITUDE Une autre façon de voir

▼
Delta Mu Conseil est une société qui propose des logiciels de gestion de la métrologie, de la formation, du conseil. Son fondateur, Jean-Michel Pou, est une figure iconoclaste dans le milieu de la métrologie. Il aime à bousculer le GUM*, le VIM** et les idées reçues. Ici, il présente une solution par simulation numérique qui permet de distinguer l'incertitude de l'instrument à étalonner de l'incertitude "bruit de fond" du processus d'étalonnage. Si cette solution est encore théorique (mais déjà éprouvée), elle tente de répondre à de vraies questions : celles que se posent les industriels.

Un grand industriel français dépense plusieurs dizaines de milliers d'euros par an pour quelques quatre mille opérations d'étalonnage sur des équipements de mesure. Etalonnés en moyenne tous les trois mois, ils sont épinglés d'un certificat avec une dispersion des erreurs mesurées, tous moyens confondus, autour de 1 %. Or cet industriel ne respecte pas les spécifications de la norme qui lui impose une erreur pour ce type de moyens inférieure à 0,8 %. De plus, le prestataire chargé de l'étalonnage annonce une incertitude de 0,04 % sur sa procédure. L'industriel s'interroge.

Lui vient alors l'idée (soufflée par Delta Mu Conseil) de réaliser une série d'étalonnages avec le même moyen, le même jour, dans des conditions strictement identiques et en changeant uniquement le technicien. Un simple test de répétabilité et reproductibilité inter-opérateur, en somme, dont l'écart-type conduit lui aussi à une dispersion de l'ordre de 1 %. Première observation : les erreurs relevées précédemment ne sont donc pas les erreurs des moyens par eux-mêmes mais celles du processus d'étalonnage dans son ensemble. Deuxième observation : le prestataire a surévalué ses possibilités en annonçant une incertitude de 0,04 % sur sa procédure d'étalonnage ou du moins a-t-il omis de considérer que c'était l'incertitude optimale de son banc en laboratoire, sans prendre en compte les facteurs d'influences intervenant sur ses prestations réalisées sur site. Pourquoi dépenser tant pour un si mauvais résultat ? On comprend que l'industriel, qui a payé plusieurs dizaines de milliers d'euros pour ce résultat pendant plusieurs années, souhaite reconsidérer les choses.

Pour comprendre ce qui se passe, il faut, en premier lieu, se convaincre qu'au moment de l'étalonnage, on ne mesure pas l'erreur ponctuelle de l'instrument mais on



En simulant n fois un processus d'étalonnage d'un instrument parfait, on obtient n équations de forme polynomiale (par exemple $ax + b$). Sur le graphe de signature, on obtient un nuage de doublets (a, b) : la signature du processus d'étalonnage. Lors de l'étalonnage réel d'un instrument, si le point obtenu appartient au nuage, ceci veut dire que l'effet observé n'est probablement pas dû à l'instrument (cas 1). À l'inverse, si le point se distingue de la signature, l'instrument a bien une erreur qui s'ajoute à celle de processus d'étalonnage et que l'on peut quantifier (cas 2).

estime l'erreur de mesure d'un processus tout entier. Cette erreur représente l'écart entre la valeur mesurée (par l'instrument) et la valeur attendue (la plus vraie possible, mesurée par un étalon). Elle provient évidemment de l'imperfection de l'instrument en cours d'étalonnage mais également de tous les autres facteurs qui participent au processus d'étalonnage : étalon, méthodes, opérateurs... Ainsi, en faisant l'hypothèse de l'étalonnage d'un instrument parfait, on aura quand même des erreurs de mesure que l'on attribue à l'instrument (du fait des définitions du VIM** que nous avons déjà remises en cause lors du 10^{ème} congrès de Métrologie de Saint Louis – 2001 : "Et si le VIM s'était trompé?").

Une approche pas comme les autres

Il est tout à fait possible que l'incertitude attribuée à l'instrument soit, en grande partie, celle du laboratoire. C'est ce qui s'est passé pour les moyens spécifiques de l'industriel pris en exemple. L'incertitude de l'instrument est noyée dans celle du processus d'étalonnage. Ceci conduit à des surévaluations de la part de l'instrument dans l'incertitude d'un facteur pouvant aller parfois jusqu'à 100.

Aujourd'hui, tous les laboratoires procèdent ainsi. Pourtant, ce sont eux seuls qui atteignent des niveaux de bruit suffisamment faible pour espérer détecter l'instrument de mesure sans pour autant "ne voir

qu'eux". Mais comment faire ?

La société Delta Mu Conseil qui travaille depuis plusieurs années, sur l'optimisation de la métrologie dans l'industrie, a cherché à sortir de cette problématique. Elle propose une solution par une simulation numérique du processus d'étalonnage. Cette approche sort des sentiers battus et va au-delà de celle préconisée par le GUM. Elle va dans le sens d'une démarche Qualité progressiste qui veut réellement maîtriser ses mesures (et non uniquement ses instruments de mesure !) et donc les décisions qui en découlent. Elle se présente comme une rupture avec la tradition administrative qui consiste le plus souvent à collectionner les PV tous les ans. De plus, elle n'induit pas de travail supplémentaire car seul le traitement des informations est réalisé différemment. Par ailleurs, comme elle s'appuie sur la modélisation mathématique d'un processus, elle peut s'appliquer à tout processus industriel : suivi de la dispersion des pièces, maîtrise statistique des procédés, processus de fabrication...

Cette simulation numérique permet de connaître l'incertitude liée au processus d'étalonnage, à l'exception de l'instrument à étalonner. Il s'agit dans un premier temps d'établir un modèle mathématique du processus d'étalonnage (c'est possible à partir d'un simple fichier Excel). Ensuite, à chaque simulation, on fait varier, ensemble, toutes les composantes de l'incertitude liées au

processus d'étalonnage (étalons, méthodes, opérateurs...) en leur donnant des valeurs aléatoires. On peut alors multiplier des centaines de fois le nombre de simulations. On obtient ainsi les erreurs du processus d'étalonnage qui pourraient être observées si l'instrument était parfait. Autrement dit, en simulant n fois l'étalonnage d'un instrument parfait, on va trouver n équations attribuables au processus d'étalonnage et non à l'instrument étalonné. A chaque équation de forme polynomiale (ou autre) correspond donc un n -uplet (a_i, b_i, \dots) . Ceux-ci peuvent être matérialisés graphiquement deux à deux. On obtient alors différents nuages de points : la signature du processus d'étalonnage.

Lors de l'étalonnage réel d'un instrument, et après s'être assuré de la validité du modèle, il suffit alors de positionner les couples de coefficients obtenus dans les graphes de signature. Si le point obtenu sort du nuage de points, alors l'instrument a bien une erreur qui lui est propre et dont on estime l'équation. A l'inverse, si le point réel appartient au nuage, l'effet observé n'est probablement pas dû à l'instrument. Dans ce cas-là, le laboratoire doit dire : « *Votre instrument a des erreurs inférieures à notre seuil de détection* ». Et s'il veut aller plus loin dans sa prestation, il poursuivra : « *Ce seuil est établi à partir de notre procédure standard. Pour diminuer ce seuil, il nous faut augmenter le nombre de points de mesure et/ou le nombre de répétitions par point. Si vous en avez réelle-*

ment besoin, nous devons donc redimensionner notre prestation ». Il peut ainsi, en tout honnêteté, définir, pour son processus d'étalonnage, un seuil de détection d'incertitude. Le nombre de points de mesure et de mesures réalisées lors de l'étalonnage sera établi en fonction du niveau d'incertitude que l'on recherche sur l'instrument de mesure.

Plus besoin de l'erreur maximale

Cette méthode bouscule quelques habitudes. Tout d'abord, nous ne raisonnons plus sous l'angle de l'erreur maximale. En effet, pour estimer une incertitude de mesure, le GUM préconise l'analyse des variances des facteurs qui composent le processus. Comment procédons-nous aujourd'hui? Nous déterminons, par un certain nombre de points (généralement limité à cinq ou six), l'erreur maximale de chacun de ces facteurs. Nous en déduisons ensuite, via une loi de distribution dont nous ne savons pas toujours si elle est la mieux adaptée, l'écart-type à considérer dans le calcul. Cette façon de faire soulève deux interrogations. Premièrement, comment sommes-nous sûrs que l'erreur maximale calculée est vraiment maximale (le nombre de points était-il suffisant?). Deuxièmement, comment sommes-nous sûrs que nous avons choisi la bonne loi de distribution?

Avec la simulation numérique, pour chaque étalonnage simulé, on obtient des valeurs

aléatoires qui représentent les valeurs possibles de l'erreur du processus (à l'exception de l'instrument). Lorsqu'on étalonne un instrument réel, on peut extraire directement, s'il est au-dessus du seuil, l'écart-type qui en provient. Ainsi, on n'a plus besoin de passer, ni par l'erreur maximale (qui ne l'est pas!), ni par la loi de distribution (que l'on ne connaît pas!).

Par ailleurs, dans cette approche, une nouvelle notion est introduite : celle des variances courtes et des variances longues. Explications : parmi les facteurs qui influent sur l'incertitude globale d'un processus d'étalonnage, certains varient vite, d'autres lentement. On peut donc pousser l'analyse des causes d'incertitude en se demandant si, pendant le temps de l'étalonnage, elles ont ou non le temps de varier.

Variances courtes ou variances longues

La répétabilité ou l'erreur sur la lecture (qui diffère à chaque point de mesure), sont des variances courtes. En revanche, la température dans un laboratoire climatisé ne variera sans doute pas d'une manière significative durant un étalonnage. De même l'effet inter-opérateur dans un processus peut être considéré comme constant tant que l'opérateur ne change pas (ce qui est souvent le cas lors d'un étalonnage). Quant à la dérive des étalons, elle est généralement une variance longue, longue, longue, du moins à l'échelle d'un étalonnage. Actuellement, les méthodes d'estimation de l'incertitude ne tiennent pas compte de ce caractère "rapide" ou "lent". Les variances longues, alors qu'elles se comportent pendant l'étalonnage comme des erreurs systématiques, ne sont pas considérées comme telles et peuvent conduire à des conclusions erronées! Pourtant, rien n'est plus simple que la prise en compte de ce caractère "rapide/lent", exprimé sous la forme d'un coefficient entre 0 et 100 %. Pour une variance longue, la même valeur d'erreur simulée s'appliquera à chaque point de l'étalonnage numérique. Pour une variance courte, la valeur de son erreur variera (plus ou moins selon son coefficient) d'une mesure sur l'autre.

Jean-Michel Pou
Delta Mu Conseil

Hors normes



« *Comprendre ce qui se passe dans un processus de mesure, induit toujours des gains importants de productivité* ».

A Lyon, au Congrès de Métrologie, Jean-Michel Pou, fondateur de Delta Mu Conseil, militera pour une métrologie industrielle pragmatique qui n'induit ni surévaluation des erreurs, ni surqualité de la production. « *Les gens qui font de la SPC (maîtrise statistique des procédés) ne se rendent pas toujours compte à quel point la mesure peut les tromper!* ».

Il en profitera certainement pour égra-

tigner quelques normes.

- avec leur interprétation qui a conduit à une approche administrative de la métrologie. « *Comme les normes d'assurance qualité qui ont induit la multiplication des certificats d'étalonnage sans discernement. Oui, il y a des normes. Mais, une norme n'est pas une loi. Rien n'interdit de les adapter à son besoin* ».

- ou leur vision des E.M.T. : (erreurs maximales tolérées). « *Il a été montré qu'une erreur allant jusqu'à 15 % sur les moyens n'affecte pas la qualité des mesures réalisées. Ainsi on comprend bien au regard de ce type d'utilisation particulière qu'une limite de non-conformité fixée à 0,8 % par une norme généraliste est une aberration* ».

* GUM : "Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure" (NF ENV 13005).

** VIM : Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie.