



Fluke

MÉTROLOGIE

Le rythme des étalonnages n'est plus réglé comme du papier à musique



Solartron

Magnetrol

▼ **Opperet, pour Optimisation des Périodicités d'Étalonnage, est une méthode qui permet de calculer le meilleur moment pour ré-étalonner les instruments de mesure. Ni trop tôt pour éviter un surcoût, ni trop tard pour éviter une mesure non valable. Cette méthode ne se contente pas seulement de suivre la dérive d'un instrument. Elle intègre aussi la notion de risque et tous les facteurs qui peuvent dégrader ou améliorer la qualité de la mesure. Sans oublier les contraintes de coûts ou d'organisation. Pour les initiateurs de cette méthode, c'est simplement un peu de bon sens mis en équation.**

Pourquoi le cycle du soleil et de la nature commande-t-il aussi les cycles d'étalonnage? Le passage d'un instrument au laboratoire de métrologie revient, comme les semailles et les vendanges, tous les ans.

L'essentiel

- ▶ Opperet est une approche fondée sur l'analyse du risque qui permet d'optimiser les périodicités d'étalonnage, équipement par équipement.
- ▶ Pour mettre en œuvre cette méthode, il est nécessaire de définir les différents critères qui interviennent dans le choix de la périodicité. Ces critères peuvent être de différentes natures: métrologique, économique, organisationnelle, risque accepté par l'entreprise...
- ▶ Des modules logiciels qui intègrent cette méthode sont proposés aujourd'hui par deux fournisseurs de logiciels de gestion de parc, Delta Mu et Implex.

Depuis qu'ils font des étalonnages, la plupart des industriels ont adopté ce rythme annuel avec ses multiples ou sous-multiples. Sans se poser de question ou pour coller aux arrêts programmés des installations, cause de maintenance. L'habitude est tellement forte que les auditeurs qui viennent vérifier le système de management qualité de l'entreprise ne remettent pas en cause cette périodicité. En revanche, gare à celui qui utilise un équipement

dont la date de validité est dépassée de quelques jours.

Face à ce constat, Gilbert Brigodiot, expert Métrologue au sein d'EADS Launch Vehicles, ne désespère pas qu'un jour un auditeur plus averti ne lui pose pas la sempiternelle question « Où sont vos étiquettes d'étalonnage? » mais l'interroge plutôt ainsi : « Comment maîtrisez-vous les risques liés à vos mesures? ».

Le risque d'une mesure erronée

Car l'objectif premier des étalonnages et plus généralement du suivi des équipements de mesure n'est pas d'établir des certificats mais bien de connaître le risque qu'un appareil puisse réaliser une mesure erronée et quelle conséquence cette mesure fautive peut avoir sur la qualité finale du produit.

Les conséquences de produire un stylo qui n'écrit pas ne sont pas les mêmes que celles de construire un avion défectueux, ou de produire un aliment avarié.

Et si le risque est nul ou du moins non significatif, ou s'il n'y a pas de consé-

quences réelles, pourquoi étalonner? Et pourquoi étalonner à dates fixes?

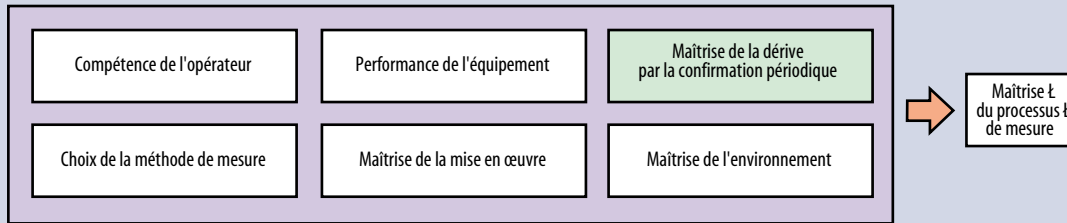
Interrogé dans Mesures en octobre dernier, Bernard Larquier, directeur de BEA Métrologie abondait dans le même sens : « Près de 98 % des instruments reviennent conformes des laboratoires... Pour les deux autres pour-cents, une dérogation est dans la plupart des cas établie pour garantir que la déficience du moyen de mesure n'a pas eu d'influence sur la qualité de la production ». Dans ce cas-là, quel est l'intérêt pour l'entreprise d'envoyer systématiquement les instruments au laboratoire de métrologie, si ce n'est celui de se rassurer elle-même ou de satisfaire un auditeur.

L'enjeu d'une approche optimisée de la métrologie est bien sûr économique.

« Les industriels, faute de mieux, affectent à toute une famille d'instruments la périodicité qui convient au plus "mauvais", constate Jean-Michel Pou, directeur général de Delta Mu Conseil. Cette stratégie qui consiste à choisir une petite périodicité pour toute la famille coûte cher et n'offre pas de garantie car les instruments "mauvais" finissent toujours par être encore plus "mauvais" »

« C'est sûr, on en fait beaucoup trop, souligne M. Brigodiot. Dans l'industrie, de nombreux efforts

Maîtrise du processus de mesure



ont été réalisés ces dernières années pour diminuer le coût récurrent du suivi des équipements de mesure : rationalisation des parcs, pression sur les prestataires... Ces types d'actions semblent maintenant avoir atteint leurs limites et il convient de reprendre le problème à sa base ».

C'est donc pour changer ces comportements et proposer une nouvelle approche qu'un groupe de travail s'est constitué en France il y a quelques années, sous l'impulsion de M. Brigodiot et sous l'égide du Collège Français de Métrologie. Au dernier Congrès International de Métrologie qui s'est tenu en octobre dernier à Toulon, M. Brigodiot présentait un nouvel outil méthodologique appelé Opperet pour OPTimiser les PERiodicités d'Étalonnage. Cette solution qui se veut avant tout pratique vise deux cibles : d'une part, la cible "qualité" afin de maintenir le niveau de fiabilité du parc d'équipements de mesure, et d'autre part la cible "économique" afin de réduire significativement le coût global de la métrologie dans l'entreprise. Ainsi, au sein d'EADS Launch Vehicles, M. Brigo-

diot annonce une réduction de plus de 30 % du budget métrologie.

Il n'y a pas que la dérive

La réflexion menée par ce groupe de travail s'est appuyée sur la nouvelle version de la norme Iso 9001. Contrairement à l'ancienne datant de 1994 qui imposait des modèles figés notamment en matière de suivi des équipements, la version 2000 demande plus de "compétence et d'efficacité". Parue cette année-même, la norme Iso 10012:2003 "Système de management de la mesure - Exigences pour les processus et les équipements de mesure", va dans le même sens.

Au paragraphe 7.1.2, on peut lire : « Les méthodes utilisées pour déterminer ou modifier les intervalles de confirmation métrologique doivent être décrites dans des procédures documentées. Les intervalles de confirmation métrologiques doivent être revus et ajustés si nécessaire pour assurer la conformité permanente aux exigences métrologiques spécifiées ».

Voilà, tout est dit. Oui, mais comment faire ?

Jusque-là, très peu de travaux sur l'optimisation du suivi des équipements de mesure ont débouché sur des méthodes alternatives à la "tradition annuelle". « Il existe bien des méthodes 100 % statistiques, mais elles donnent des conseils trop généraux et sont compliquées à mettre en œuvre », indique M. Brigodiot. En 1997, le travail du Bureau de Normalisation de l'Aéronautique a publié une recommandation normative (RMAéro 800 25) qui présentait une méthode pour établir une périodicité d'étalonnage des instruments en s'appuyant sur la maîtrise statistique des processus et la mise en place de cartes de contrôle (voir Mesures n° 691, janvier 1997). Cette recommandation qui visait le milieu aéronautique a eu assez peu d'impact dans le milieu industriel. Elle était pourtant innovante et présentait la particularité d'établir une périodicité d'un équipement pris individuellement et non pas par famille. Elle tenait déjà compte de l'histoire de l'équipement.

Mais pour M. Brigodiot, il ne suffit pas de

Opperet en trois actes

- 13 décembre 2001, lancement du projet. La société EADS Launch Vehicles, sous la houlette de Gilbert Brigodiot, a réuni un collège d'experts issus non seulement du groupe aéronautique, mais également d'organismes et de sociétés prestataires de services dans le domaine de la métrologie pour réfléchir sur une méthode d'optimisation des étalonnages. Ce groupe de travail comprend EADS Launch Vehicles, BEA Métrologie, Le Collège Français de Métrologie, Delta Mu Conseil et Implex.

- Avril 2002, le groupe de travail lance une enquête nationale sur la situation actuelle de l'Industrie Française face à la question des périodicités des vérifications des instruments afin de vérifier que les données nécessaires à une démarche plus élaborée sont bien disponibles dans les entreprises. Les résultats sont concluants, le Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie (dans le cadre d'un projet AQCEN) accepte de financer en partie le projet.

- 2 avril 2003, présentation d'Opperet auprès d'industriels. La méthode Opperet a été validée au sein d'EADS. Il s'agit d'un outil méthodologique permettant d'optimiser les intervalles de confirmation des équipements de mesure, de contrôle et d'essai. Une

maquette de module logiciel "Optimisation" a été réalisée et peut venir se greffer sur les logiciels de gestion de parc d'équipements de mesure. Les deux fournisseurs français qui ont participé à ce travail, Delta Mu et Implex, proposent déjà un module de ce type. Mais la méthode est ouverte. Tous les fournisseurs qui le désirent pourront l'intégrer à leurs solutions. C'était une des conditions du financement du Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. Entre temps, Gilbert Brigodiot (EADS) reçoit un accueil très favorable de la présentation d'Opperet en juillet 2002 au Etats-Unis lors du congrès international de métrologie. Et comme rien n'est jamais fini, le groupe de travail Opperet poursuivra sa réflexion en tenant compte des retours d'expérience. Il cherche déjà à compléter les indications sur le choix des coefficients de pondération et sur les règles de décision adaptées à chaque domaine de mesure.

Coordination

Gilbert Brigodiot

Tél. : 05 56 57 35 95

gilbert.brigodiot@launchers.eads.net

N°	Critères influents	Significations
1	Gravité des conséquences	conséquence sur le produit final
2	Capabilité processus	$\text{tolérance}_{\text{produit}} / U_{\text{processus}}$
3	Capabilité équipement	$U_{\text{processus}} / \text{EMT}$
4	Dérive de l'équipement	EMT / dérive
5	Intervention sur l'équipement	Ajustages, réparations...
6	Facteurs d'amélioration	Redondances et surveillances
7	Facteurs aggravants	Utilisation intensive, opérateur inexpérimenté...
8	Contraintes de coûts	Étalonnage, immobilisation...
9	Contraintes opérationnelles	Polyvalence et organisation

Liste des paramètres correspondant aux informations à exploiter.

suivre la dérive de l'équipement. « Nous pensons que seulement 2 % des anomalies de mesures sont attribuables à l'équipement lui-même ». Il y a tout le reste : la méthode ; l'opérateur, l'environnement... On le voit bien lorsqu'on "décortique" le processus de mesure tel qu'il est préconisé par la norme Iso 9001, la dérive de l'instrument (et donc l'incertitude) n'est qu'une composante de l'incertitude de l'ensemble du processus (voir schéma).

Critères qualitatifs

La méthode Opperet tâche ainsi de prendre en compte les facteurs susceptibles de modifier la qualité d'une mesure. Qu'il s'agisse de facteurs aggravants, comme une utilisation intensive de l'équipement, des manutentions nombreuses... ou de facteurs dits d'évitement (éviter une dégradation) comme la redondance des mesures, le suivi statistique de

Opperet et la FD X07 014

Le texte normatif FD X 07 014 "Optimisation des intervalles de confirmation métrologique des équipements de mesure" qui devrait paraître courant 2004 présente une autre approche. Pour Jean-Michel Pou (*Delta Mu Conseil*), Opperet s'appuie sur une analyse du risque, ce qui autorise finalement à faire des mesures fausses si le risque encouru est nul. La FD X 07 014 ne tient pas compte de cette notion de risque. Elle évalue la distribution des périodicités individuelles des instruments par une approche mathématique. Les deux méthodes sont indépendantes, mais pas incompatibles. Ainsi, le correcteur Opperet peut prendre en compte l'approche FD X 07 014, en comparant la distribution des notes et la distribution des périodicités. (la méthode FD X 07 014 a été présentée dans la revue Mesures en mars 2002 sur une application réalisée chez Leroy Somer).

l'équipement... Si un micromètre est utilisé par un seul technicien expérimenté dans un laboratoire, il aura plus de chance de donner une "bonne" mesure que s'il passe entre les mains de plusieurs opérateurs peu attentionnés dans l'environnement poussiéreux de l'atelier. Si on met le même caillou tous les jours sur une balance et qu'on obtient toujours la même valeur, on peut raisonnablement penser que la balance donne une indication correcte. « Tout ça relève du bon sens, commente M. Brigodiot, et c'est justement lui que nous voulons réhabiliter ».

D'autres contraintes peuvent être également prises en compte. Les contraintes économiques, bien sûr : le prix d'étalonnage d'un pied à coulisse n'est pas le même que celui d'une MMT (machine à mesurer tridimensionnelle). Les contraintes d'organisation comme la polyvalence des équipements, les créneaux de maintenance imposés, ou le regroupement des étalonnages d'une même famille d'équipements... peuvent constituer parfois un frein au développement d'une périodicité adaptée à chaque équipement. A ce jour, la méthode Opperet intègre 9 critères, certains quantitatifs, d'autres qualitatifs. Tous n'ont pas la même importance. On imagine aisément que le critère "risque" doit peser davantage que le critère "organisation". L'industriel choisit donc pour chaque critère un coefficient de pondération. Après, tout ça est mis en équation. Aujourd'hui, deux fournisseurs de logiciels de gestion de parc (Delta Mu Conseil et Implex) proposent un module Opperet qui utilise les algorithmes appropriés pour définir la périodicité optimale de chaque équipement.

D'autres fournisseurs pourraient se mettre sur les rangs (Opperet est une solution ouverte, c'est la condition émise par le Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie qui a accepté de financer en partie le projet). Mais toute la valeur de cette approche réside dans l'étude préalable des critères qui se fait à partir de l'expérience et des connaissances accumulées dans l'entreprise. La collecte des informations nécessite le dialogue entre trois personnes au minimum : le métrologue, l'utilisateur de l'équipement sur site et le responsable de la conception du produit. Pour M. Brigodiot, « cette méthode demande de réfléchir, de décider et de se "mouiller". Elle demande une compétence et du bon sens. C'est le seul prix à payer par le métrologue pour qu'il ne soit plus considéré comme un simple colleur d'étiquettes ».

Les points clés de la méthode

Voyons maintenant les principaux aspects de la méthode Opperet.

Le raisonnement. Le point clé dans la détermination de la périodicité de la confirmation métrologique est le risque lié à une mesure incorrecte. Ce risque est le produit de la gravité de l'événement redouté par la probabilité de son occurrence.

a) la gravité des conséquences d'une mesure incorrecte. Cette gravité dépend du produit final (le risque n'est pas le même pour un stylo que pour un avion)

b) la probabilité d'occurrence d'une mesure incorrecte. Cette probabilité est liée au rapport entre l'incertitude du processus de mesure et la tolérance du produit :

$$\frac{U_{\text{processus}}}{\text{tolérance}_{\text{produit}}}$$

La maîtrise du processus de mesure. L'incertitude du processus de mesure $U_{\text{processus}}$ peut être décomposée en différentes composantes (voir schéma). La confirmation périodique (étalonnage ou vérification) et sa périodicité ne jouent que sur une seule de ces composantes : la dérive de l'équipement.

La première étape consiste donc à évaluer l'incertitude de mesure du processus ($U_{\text{processus}}$), et en séparer les composantes : méthode, environnement, opérateur, mise en œuvre, spécification de l'équipement, afin d'isoler la composante "dérive".

Quatre données de base et trois rapports. Le rapport dérive/tolérance_{produit} devient la base de la décision. Il exprime la probabilité d'occurrence d'une fausse mesure et peut être exprimé comme le produit de 3 rapports :

$$\frac{\text{dérive}}{\text{tolérance}_{\text{produit}}} = \frac{\text{dérive}}{\text{EMT}} \cdot \frac{\text{EMT}}{U_{\text{processus}}} \cdot \frac{U_{\text{processus}}}{\text{tolérance}_{\text{produit}}}$$

Ces trois rapports sont obtenus à partir de quatre paramètres :

- l'incertitude de mesure du processus ($U_{\text{processus}}$) évaluée dans le laboratoire à partir de l'analyse des causes d'erreur (méthode de mesure, conditions d'environnement, contribution de l'opérateur...) à 2 écarts-types.
- La tolérance du produit ($\text{tolérance}_{\text{produit}}$) donnée par le responsable de la fabrication (bureaux d'études, spécifications clients).
- L'écart maximal toléré EMT correspondant au besoin réel de mesure in situ (limite d'exactitude, classe de mesure...).
- La dérive calculée à partir d'un historique des étalonnages fourni par les derniers certificats.

Les trois rapports sont ainsi définis :

1- dérive / EMT ou dérive relative de l'équipement de mesure. Il exprime la probabilité qu'une fausse mesure provienne des per-



Paramétrage des niveaux d'appréciation des critères d'influence.
Source Implex

performances de l'équipement de mesure. Il est évalué par le métrologue, dont le travail consiste, à chaque étalonnage, à comparer l'erreur de l'équipement à la valeur EMT.

2- EMT / $U_{\text{processus}}$ ou capacité de l'équipement de mesure. Il exprime la probabilité qu'une fausse mesure provienne du processus de mesure. Il peut être évalué par l'utilisateur à partir de l'incertitude du processus de mesure sur site, par l'examen de la méthode de mesure, de la compétence de l'opérateur, des conditions d'environnement, du respect des procédures... et des performances intrinsèques de l'équipement.

3- $U_{\text{processus}} / \text{tolérance}_{\text{produit}}$ ou capacité du processus de mesure. Il exprime la probabilité qu'une fausse mesure provienne des performances initiales de l'équipement de mesure. Elle est établie à partir des spécifications du constructeur ou par le bureau d'études qui a défini le processus de mesure associé à la fabrication du produit.

Informations complémentaires. A ces trois paramètres quantifiables s'ajoutent d'autres paramètres plus qualitatifs qui vont modifier la probabilité d'occurrence de l'événement redouté :

- soit en l'augmentant, comme une utilisation intensive de l'équipement, des manutentions nombreuses...
- soit en la diminuant, comme la redondan-

ce des mesures, le suivi statistique de l'équipement...

Enfin, différentes contraintes sont à prendre en compte, en particulier :

- la contrainte du coût affecté au suivi métrologique des équipements (le prix d'étalonnage d'un pied à coulisse n'est pas le même que celui d'une MMT)
- les contraintes d'organisation : polyvalence des équipements, créneaux de maintenance imposés, regroupement des étalonnages d'une même famille d'équipements...

Exploitation des résultats. Certains paramètres sont quantifiés (2, 3, 4). Mais la plupart sont qualitatifs (1, 5, 6, 7, 8) et doivent être "codés". Une solution simple est d'affecter à chacun des paramètres indicé i (i allant de 1 à 9) une note ($note_i$), prenant les valeurs de -2 à 2 suivant des conventions établies pour une famille d'équipements similaires.

On calcule ensuite "l'écart normalisé" de la note pour chaque critère.

L'écart normalisé (EN) se définit comme le nombre d'écart-type qui sépare une valeur donnée de la moyenne des valeurs, pour le même critère.

$$EN = \frac{(x_i - x_{\text{moy}})}{s}$$

où :

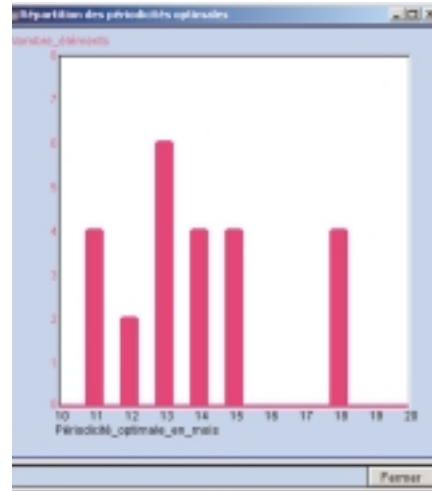
x_i représente la valeur étudiée

x_{moy} représente la moyenne des valeurs obtenues pour le critère par tous les instruments de la famille, s représente l'écart-type des valeurs obtenues par tous les instruments de la famille. L'écart normalisé permet de situer l'instrument dans la famille des instruments, la note individuelle n'ayant qu'un caractère arbitraire. La méthode veut positionner l'instrument par rapport aux autres instruments de la même famille.

Une fois les écarts normalisés déterminés, on calcule la note globale NG de l'instrument suivant la formule :

$$NG = \sum P_{C_i} \times EN_{C_i}$$

où P_{C_i} représente le coefficient de pondération du critère C_i et EN_{C_i} représente l'écart



L'histogramme des périodicités affiche le nombre de fois qu'est recensée une périodicité et permet de gérer les campagnes d'étalonnages/vérifications. (Source Implex)

normalisé pour le critère C_i

Il convient ensuite de calculer l'écart normalisé de chacun des instruments pour situer chaque instrument dans la population totale.

La méthode Opperet s'appuie ensuite sur l'hypothèse d'une distribution des périodicités optimales pour une famille d'équipement de type gaussienne (Cf théorème Central Limite).

Compte tenu du taux de retour "non conforme" (de l'ordre de 2 à 3 %), il n'est pas incohérent de penser que la périodicité actuelle fixée arbitrairement correspond à une valeur située environ à 2 écarts-type de la périodicité moyenne.

De même, il est possible de fixer la périodicité maximale acceptable à 3 écarts-type de la valeur moyenne optimale. Cette valeur maximale vaut pour plus de 99 % de la famille.

A partir de ces différents paramètres, il est possible de calculer la valeur de l'écart-type s de la distribution (gaussienne par hypothèse) théorique des périodicités :

$$s = \frac{\text{Périodicité maximale} - \text{Périodicité actuelle}}{5}$$

De même, il est possible de définir la périodicité moyenne optimale par la formule :

$$\text{Périodicité moyenne optimale} = \text{Périodicité actuelle} + 2 \times s$$

En estimant que la distribution théorique et la distribution des notes globales pourraient être superposables, il est possible de déterminer une correction de périodicité de chaque instrument, suivant la formule :

Correcteur OPPERET =

$$(\text{Périodicité Moyenne} + EN_{NG} \times s) - \text{Périodicité actuelle}$$

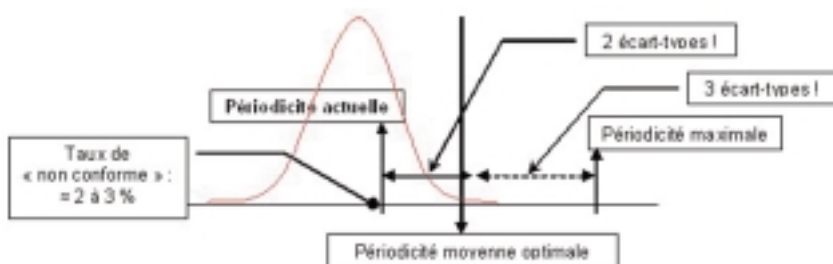
La périodicité d'étalonnage (ou de vérification) est alors égale à :

Périodicité réelle =

$$\text{Périodicité actuelle} + \text{Correcteur OPPERET}$$

Marie-Pierre Vivarat-Perrin

Distribution des périodicités optimales



doc. Delta Mu Conseil