

## Comprendre et maîtriser les concepts de la métrologie

# QU'EST-CE QUE LA CAPABILITÉ ?

Si ce terme est souvent utilisé en métrologie, il n'est pas défini à ce jour dans le V.I.M [1]. Aucune norme de métrologie ne le définit formellement même si certaines, notamment la NF E 02-204 [2], en posent les principes.

En revanche, cette notion est parfaitement établie dans le monde de la production dans lequel la maîtrise statistique des procédés (M.S.P. ou encore S.P.C.) s'est largement imposée à partir des années 1970. Ces techniques nous arrivent, semble-t-il, de l'industrie automobile américaine. Il s'agit, dans ce cadre, de s'assurer de l'aptitude des processus de fabrication à pouvoir réaliser les pièces dans les tolérances exigées par le bureau d'étude. Cette aptitude est déterminée en s'appuyant sur des propriétés statistiques connues et sur l'observation de la production. Il s'agit de s'assurer :

- que la dispersion du processus de fabrication est compatible (c'est-à-dire au



**Jean-Michel POU**  
Président fondateur de la société Delta Mu, très impliqué dans la métrologie nationale, il est également membre des commissions AFNOR et vice-président du Collège français de métrologie.

minimum inférieure !) avec la tolérance à réaliser ;

- que la valeur moyenne de la production est suffisamment éloignée des valeurs limites de la production pour que la dispersion inhérente au processus ne génère pas (ou peu) de valeurs individuelles en dehors de la tolérance.

Ces deux paramètres (dispersion et décentrage) se traduisent par des indicateurs numériques (nommés généralement Cp et Cpk mais il en existe beaucoup d'autres, tous basés sur les mêmes principes) à partir desquels il est possible de fixer des valeurs limites qui permettent de statuer sur le taux de valeurs non conformes que peut produire le processus analysé. Ces valeurs limites pour les indicateurs Cp et Cpk peuvent devenir contractuelles, le client maîtrisant alors son risque, c'est-à-dire le pourcentage de pièces « hors tolérances » que son fournisseur sera « autorisé » à lui livrer (cf. figure 1).

Toute cette stratégie fonctionnerait parfaitement s'il était possible de mesurer « juste » ce qui n'est malheureusement pas le cas. Nous en avons expliqué les raisons dans ces pages, dans le dernier numéro de *Contrôle Essais Mesures*. Ainsi, lorsque nous mesurons la production du processus en cours d'analyse pour définir ses performances (Cp et Cpk), nous introduisons des erreurs de mesure qui participent à la dispersion « apparente » (au travers des variances « court terme » du processus de mesure, lire encadré) et au décentrage « apparent » (au travers des variances « long terme », voire des biais, du processus de mesure) dont il conviendrait de tenir compte. Or, puisque

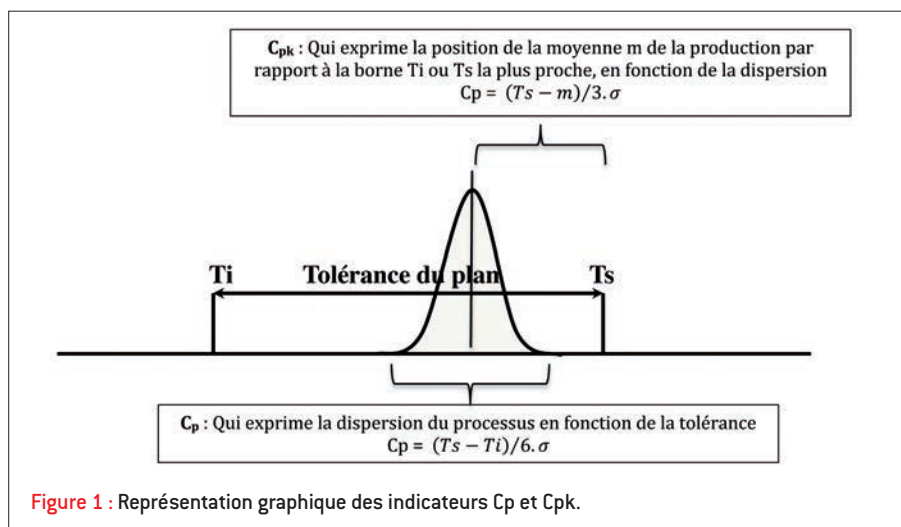


Figure 1 : Représentation graphique des indicateurs Cp et Cpk.

ces erreurs sont aléatoires (sauf les biais), il n'est pas envisageable de les corriger totalement et les initiateurs des méthodes M.S.P, conscients de ce problème, ont donc cherché à faire en sorte, faute de mieux, qu'elles soient négligeables...

**Le concept de la capabilité des processus de mesure est donc né ici, son objectif étant alors de pouvoir négliger « l'effet Mesure » lors de l'étude d'un processus de fabrication.**

L'industrie automobile américaine a alors naturellement intégré dans sa méthode d'analyse des processus un outil qui permet de s'assurer, au préalable, que la mesure est négligeable dans les observations des produits dudit processus, le fameux M.S.A. [3]. Ce dernier est souvent plus connu pour l'un de ses piliers, les études dites R&R (répétabilité et reproductibilité), mais il va, en réalité, bien au-delà de cette évaluation partielle des problèmes liés aux mesures. En fixant là encore des valeurs limites pour la dispersion des mesures, il est possible de conclure sur la capabilité d'un processus de mesure à participer à l'étude de la capabilité d'un processus de fabrication, c'est-à-dire à maîtriser le risque de produire du « non conforme ». Probablement entraînée par les Américains, l'industrie française a, elle aussi, développé une méthode d'analyse de la capabilité des processus de mesure (connue sous le nom de « méthode CNOMO ») avec une approche différente, mais aussi, finale-

ment, un objectif différent : définir les limites de l'incertitude de mesure face à une tolérance à **vérifier** (dans le cadre du contrôle d'une pièce, indépendamment de sa fabrication) et non plus face à une tolérance à **fabriquer** (comme dans le cas de la M.S.P.). Cette notion de capabilité d'un processus de mesure à analyser un processus de fabrication a, de ce fait, "glissé" vers une capabilité "tout court", déconnectée dudit processus de fabrication et qui pose un certain nombre de questions, notamment sur la valeur limite à retenir.

**Quelle valeur choisir ?**

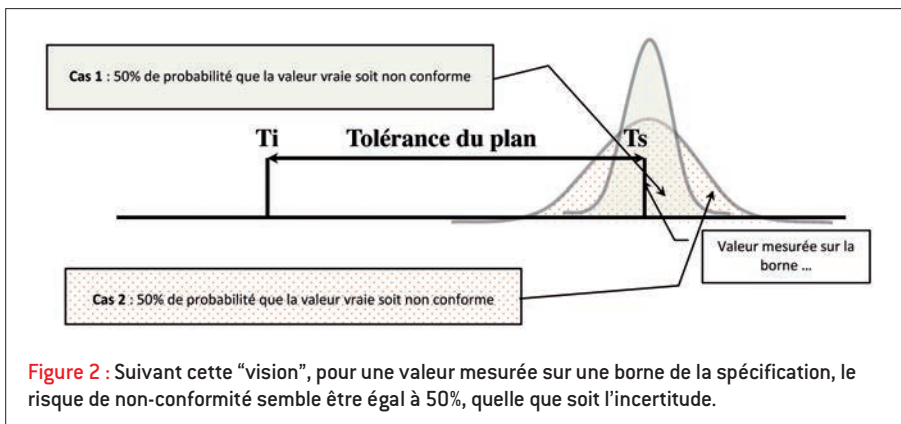
Feu la norme NF E 02-204 [2] proposait de déterminer l'aptitude (autre nom de la capabilité) d'un processus de mesure par le ratio entre la tolérance à vérifier et l'incertitude de mesure. Dans cette norme, ce ratio devait être **contractuel**. Elle suggérait, si aucune valeur n'était arrêtée entre les cocontractants, de retenir la valeur de 8, voire de 4 si 8 était *trop grand*, comme valeur « par défaut » pour ce ratio. La méthode CNOMO évoquée précédemment fixe, quant à elle et en fonction de la tolérance à vérifier, 4 ou 8 également. Le M.S.A, lui, impose 10 (apte), voire 3,33 (acceptable, mais devant être amélioré). Ces différences peuvent s'expliquer dans la mesure où ces valeurs ne visent pas les mêmes objectifs. Mais puisque tout a été mélangé par l'histoire, elles troublent aujourd'hui le métrologue qui finit par se poser l'inévitable question : quelle valeur dois-je choisir finalement

pour la capabilité de **mon** (mes) processus de mesure ?

Cette question est d'autant plus légitime que, extrait de son contexte originel, le concept de capabilité n'a plus vraiment de sens. En effet, fixer une valeur limite (8, 4, 10, 3.33, π, ...) ne permet plus de répondre à l'exigence initiale et compréhensible d'évaluer le **risque client**, c'est-à-dire le risque que le client accepte de recevoir des produits « non conformes ». Pour s'en convaincre, il suffit de constater (Figure 2) que la capabilité (telle qu'elle est définie pour les processus de mesure) ne permet pas, à elle seule, de définir le risque client.

Le métrologue doit intégrer, dans sa réflexion, que le produit mesuré n'est pas le pur fruit du hasard, mais qu'il provient d'un processus dont les « pilotes » mettent tout en œuvre pour faire en sorte qu'il génère des produits conformes. Ainsi, le risque client n'est pas lié uniquement à la mesure (hypothèse sous-tendue par la figure 2), mais il est le produit – la conjonction – de deux phénomènes indépendants : le risque de fabriquer « non conforme » (propre au processus de fabrication) et, concomitamment, le risque de mesurer conforme ce produit non conforme.

Mathématiquement, l'estimation du risque client prend une allure peu sympathique où les intégrales font une apparition en masse (Formule 1). Au-delà de ce formalisme, le métrologue va devoir s'adapter au concept même qui est exprimé par cette formule. Son monde *déterministe* s'effondre devant la complexité des phénomènes qu'il doit affronter. D'un côté, des processus de fabrication qu'il faut maîtriser et de l'autre des mesures, inexorablement fausses, qui ne servent encore trop souvent aujourd'hui qu'à déclarer la conformité...



**Figure 2 :** Suivant cette "vision", pour une valeur mesurée sur une borne de la spécification, le risque de non-conformité semble être égal à 50%, quelle que soit l'incertitude.

$$RC = \frac{1}{\sigma_{Spéc} * \sigma_{Mes} * \Pi} * \int_{-Ti}^{-Ts} \int_{-Ti}^{-Ts} e^{\left(\frac{-x^2}{2 * \sigma_{Spéc}^2}\right)} * e^{\left(\frac{-(t-x)^2}{2 * \sigma_{Mes}^2}\right)} dt dx$$

Formule du risque client, produit du risque process et du risque mesure.



Probablement entraînée par les Américains, l'industrie française a, elle aussi, développé une méthode d'analyse de la capabilité des processus de mesure (connue sous le nom de « méthode CNOMO ») avec une approche différente, mais aussi, finalement, un objectif différent.

### Un monde s'effondre

Cette approche innovante, voire bouleversante, est d'ores et déjà inscrite dans le devenir de la profession. Le JCGM\* est sur le point de publier le Guide 98-4 [4] qui traite de la prise en compte des incertitudes de mesure dans la déclaration de conformité suivant l'approche « risque client ». S'il suffisait, jusqu'à aujourd'hui, de fixer, souvent arbitrairement, une valeur pour la capabilité, il faudrait

demain s'intéresser aussi à la dispersion des processus de fabrication qui participe également au risque client. À partir de cette nouvelle « contrainte » qui imposera aux métrologues un niveau de compétences plus important en statistiques, on peut parier qu'à l'avenir, les efforts en matière de mesures s'orienteront plus naturellement vers l'analyse/maîtrise des processus de fabrication plutôt que vers le contrôle. En effet, une fois maîtrisé

(et les mesures participent à cette maîtrise...), un processus produit des pièces non conformes suivant un taux contractuel qu'il ne sert plus à rien de vérifier au final, surtout s'il s'agit de quelques ppm... La confiance dans les mesures doit être obtenue au niveau du pilotage du processus (régler au bon moment et à bon escient) et non, car c'est trop tard, au moment du contrôle précédant la livraison. La valeur ajoutée des mesures, donc du métrologue, n'est pas dans le constat de produits non conformes (pour les écarter), mais dans la réalisation de produits conformes, chacun pourra en convenir et s'en faire un objectif ! ●

### Bibliographie

- [1] V.I.M (2012) : Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (JCGM 200 : 2012)
- [2] NF E 02-204 (1993) : Vérification des tolérances des produits – Déclaration de conformité
- [3] M.S.A : Measurement Systems Analysis
- [4] G.U.M (1995) : Évaluation des données de mesure – Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure

\*JCGM : Joint Committee for Guides in Metrology. Les membres du JCGM sont : BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML

## INTRODUCTION AU CONCEPT DES VARIANCES "COURT TERME" ET "LONG TERME"

L'évaluation des incertitudes de mesure, suivant les préconisations du G.U.M [4], consiste en l'estimation des participations (variances) de chaque facteur (ou cause) contribuant à la mesure. Dans les cas les plus simples (modèle de mesure additif), le métrologue estime les variations maximales que peuvent subir les facteurs identifiés (sous la forme d'étendues ou d'écart-types), les ramène tous sous la forme de variances (via des méthodes de type A et/ou de type B) et les additionne. Si cette approche est acceptée par la communauté, elle "oublie" un caractère important de chaque cause d'incertitude. En effet, il est aisé de constater que, dans le cas de mesures répétées dans un court laps de temps, certaines causes n'ont pas le temps de

varier. Elles prennent une valeur donnée (mais inconnue puisqu'aléatoire) et restent constantes (ou presque) pendant les mesures. Par exemple, si la température impacte un processus de mesure et que le métrologue a envisagé qu'elle puisse varier dans un intervalle de  $\pm 10^\circ\text{C}$ , il est peu probable qu'elle varie dans un tel intervalle entre des mesures successives réalisées sur 2 échantillons d'une même production, pour rester dans les analyses M.S.P. De même, si un effet interopérateurs est détecté pour un processus de mesure, des mesures réalisées par un même opérateur ne "voient" pas cette cause s'exprimer. L'opérateur fait une erreur différente des autres opérateurs, erreur aléatoire que nul ne connaît, mais on peut dire

qu'elle reste constante tant que cet opérateur réalise les mesures... Ce caractère particulier est à l'origine de la covariance entre des mesures successives réalisées à l'aide d'un même processus.

Chaque cause d'incertitude a donc un caractère « court terme » ou « long terme », voire intermédiaire suivant qu'elle ait ou non l'opportunité de varier entre des mesures successives. Il est possible de quantifier ce caractère à l'aide d'un paramètre  $L_k$  qui est en relation avec la part (le pourcentage) de variation possible, pour chaque cause et dans le temps des mesures, par rapport à leur variation totale estimée par le métrologue sur du long terme.