

# LIMITE DE LA NORME ISO 14253-1 ET DE LA NOTION DE CAPABILITE DANS LE CADRE DE LA DECLARATION DE CONFORMITE

Jean-Michel POU, Dimitri VAISSIERE  
DELTA MU Conseil  
Parc Technologique La Pardieu  
25, Rue Joseph Desaynard  
63000 – Clermont Ferrand

## Résumé

La prise en compte de l'incertitude de mesure dans la déclaration de conformité fait l'objet de plusieurs principes. Il s'agit de définir, soit la zone de conformité (suivant la norme ISO 14253-1 [1]), soit un coefficient de capabilité (comme le définissait l'ancienne norme NF E 02-204, les normes CNOMO [2] ou le M.S.A [3]). Pour la norme ISO, que faire lorsque la mesure est dans la zone de doute (Figure 1) ? Si cette question n'est pas simple, c'est que ce n'est pas la bonne. Ce qui intéresse le client, c'est de connaître le risque que l'objet soit déclaré conforme alors qu'il ne l'est pas !

Conformity agreement considering measurement uncertainties could be based on two different principles. The first one suppose to define the conformance zone (according to ISO 14253-1 [1]), the second one suppose to define a capability factor (according to past NF E 02-204, or actual CNOMO [2] or MSA [3] standards). Considering ISO standard, what can we do when measurement is in the uncertainty range (Figure 1)? If this question is not simple, this means that it is not the right one. Knowing the risk to accept a wrong item is what is in the customer mind !

habituellement vérifiées. En appliquant la norme, la zone de conformité est souvent réduite à la portion congrue. De même pour la capabilité (rapport entre la tolérance à vérifier et l'incertitude de mesure), il n'est pas rare de conclure à l'inaptitude d'un processus de mesure (notamment en appliquant aveuglément le M.S.A) alors même qu'il est utilisé depuis longtemps, sans retour client lié à des problèmes de mesure.

Ces constats, pragmatiques, incitent à réfléchir sur ces pratiques pourtant courantes. La diversité des réponses qu'il est possible d'apporter à la question « quel coefficient de capabilité choisir ? » pousse également à la réflexion. La norme NF E 02-204 stipulait qu'il s'agissait d'un coefficient contractuel. Elle indiquait également que s'il n'était pas défini, on pouvait choisir 4, voire 2 si 4 était trop grand ! Le M.S.A quant à lui préconise un coefficient de 15 (correspondant à l'exigence  $GRR / TV \leq 10\%$ ).

La disparité des réponses et des méthodes provient du fait que la question, pour être simplifiée, est mal posée. En pratique, le client est uniquement intéressé par le risque que lui fait prendre la mesure, autrement dit : Quel est le risque de déclarer conforme un objet non conforme ?

La réponse à cette question ne tient pas uniquement dans la connaissance du coefficient de capabilité, la preuve est donnée dans la suite.

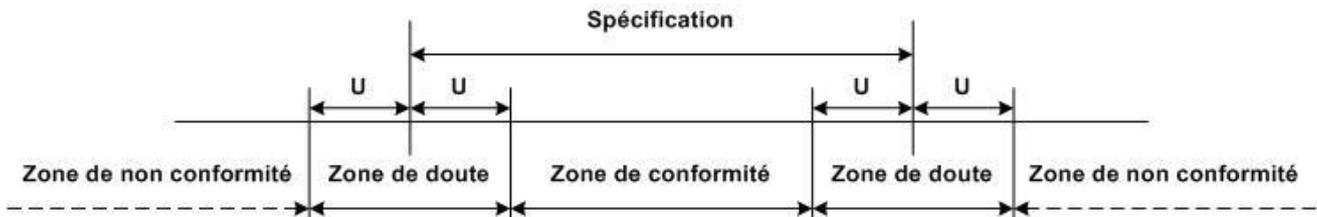


Figure 1 : Représentation de la zone de conformité

## Etat des lieux

Après avoir évalué ses incertitudes de mesure, le métrologue doit encore résoudre la question de l'adéquation du processus de mesure et de la tolérance à vérifier. Les préconisations de la norme ISO 14253-1 sont séduisantes au premier abord mais elles montrent rapidement leurs limites. En effet, il n'est pas rare que les incertitudes de mesure, soient importantes devant les tolérances

## La capabilité définit-elle le risque Client ?

Pour répondre à cette question, il suffit de l'illustrer par un petit croquis (Figure 2) :

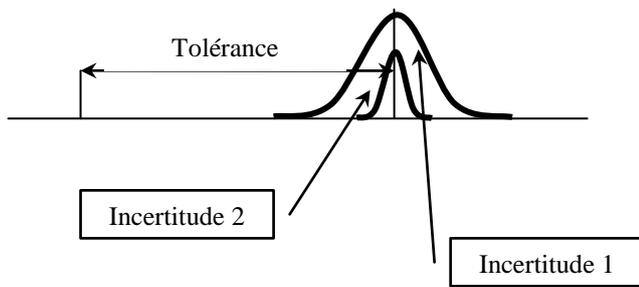


Figure 2 : Représentation de l'incertitude

Vu du métrologue, qu'on soit dans le cas de l'incertitude 1 ou dans le cas de l'incertitude 2 (Figure 2), le risque que la valeur vraie soit conforme est égal au risque que la valeur vraie soit non conforme, c'est-à-dire 50%. Pourtant, dans ces 2 cas, les coefficients de capabilité sont très différents ce qui met en évidence l'insuffisance de cette information.

D'autre part, il est aisé d'accepter, même si on n'est pas un adepte des statistiques, que la probabilité que l'objet soit non conforme ne peut pas être supérieure à la probabilité que le process de fabrication crée un objet non conforme. Il est également aisé d'admettre que nos process industriels aujourd'hui génèrent moins de 50% de produits non conformes ! Ainsi donc, même dans le cas de la figure 2, la probabilité que l'objet soit Non Conforme est évidemment inférieure à 50%. Voyons comment cette probabilité se détermine.

### Le risque Client vu du Process

Le pilotage du process est en théorie réalisé de façon à ce que la production soit centrée (notion de SPC, pratique de  $C_p / C_{pk}$ ). En reprenant la figure précédente (Figure 2) et en ne s'intéressant qu'au process, on obtient la figure ci-dessous (Figure 3).

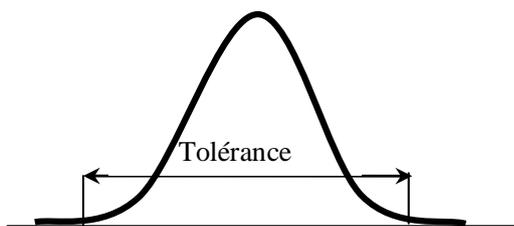


Figure 3 : Dispersion du process

Evidemment, si le process n'est pas centré, il est possible de reprendre l'ensemble des calculs qui sera donné en intégrant le décentrage.

Ces deux explications montrent bien que le risque Client est une combinaison du risque « Process » et du risque « Mesure ». Le risque de déclarer conforme un objet non conforme peut être schématisé par la figure suivante (Figure 4).

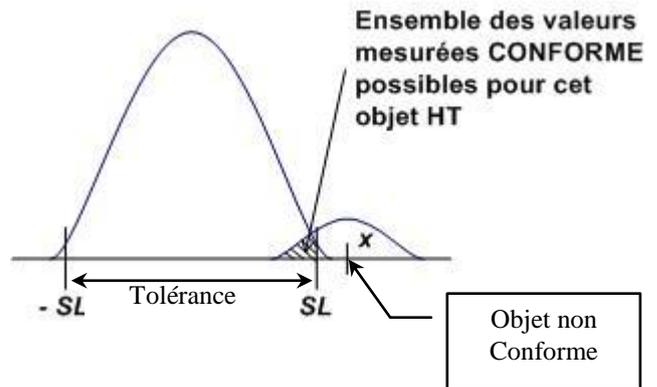


Figure 4 : Process de fabrication et incertitude

### Calcul du risque Client

L'évaluation du risque Client peut s'avérer compliqué. En effet, il est nécessaire de connaître la distribution du process (moyenne, écart-type et loi de distribution) et l'incertitude de mesure.

Dans le cas où les distributions du process et de l'incertitude de mesure suivent une loi normale (ce qui est assez fréquent), alors le risque Client se calcule d'après la relation (1).

Cette relation peut être transposée à d'autres lois de distribution sous réserve d'en connaître le modèle.

L'équation présentée peut sembler compliquée et c'est probablement l'une des raisons qui fait qu'elle n'est pas fréquemment évoquée. Néanmoins, le lecteur pourra aisément admettre, au vue des figures présentées, qu'il en est bien ainsi. La difficulté mathématique ne doit donc pas inciter à oublier la réalité, les logiciels spécialisés sont là pour traiter ce type de problème.

Néanmoins, si la distribution du process est centrée par rapport à la tolérance, la relation (1) peut être largement simplifiée (2).

La deuxième difficulté, dans notre monde où le concept du « Principe de précaution » veut nous faire croire qu'il peut exister un risque « 0 », est d'exprimer le risque que le client est prêt à accepter. En effet, cette question posée brutalement amènera à coup sûr et systématiquement la même réponse : Aucun !

Fort de ce constat, il est nécessaire de trouver une solution pragmatique pour obtenir une réponse réaliste à cette question fondamentale.

$$RC = \frac{1}{\sigma_{Spéc} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{-SL} \exp\left(\frac{-x-m^2}{2\sigma_{Spéc}^2}\right) \times \frac{1}{\sigma_{Mes} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-SL}^{SL} \exp\left(\frac{-t-x^2}{2\sigma_{Mes}^2}\right) \cdot dt \cdot dx$$

$$+ \frac{1}{\sigma_{Spéc} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{SL}^{\infty} \exp\left(\frac{-x-m^2}{2\sigma_{Spéc}^2}\right) \times \frac{1}{\sigma_{Mes} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-SL}^{SL} \exp\left(\frac{-t-x^2}{2\sigma_{Mes}^2}\right) \cdot dt \cdot dx$$
(1)

Avec :

- $RC$  : Risque Client
- $m$  : Moyenne de la distribution de fabrication
- $\sigma_{Spéc}$  : Ecart-type de la distribution du Process
- $\sigma_{Mes}$  : Incertitude-Type de mesure

## Risque Client et Capabilité

La solution au problème précédent se trouve souvent dans la notion de capabilité, même si, nous l'avons vu, cette relation n'est pas évidente.

En effet, pour évaluer le risque client ( $RC$ ), il est nécessaire de connaître  $m$  et  $\sigma_{Spéc}$  (cf. relation (1)). Les spécifications étant quasi systématiquement données sous forme de valeurs limites (Notées  $-SL$  et  $+SL$ , Figure 4), il est nécessaire de « ramener » ces limites sous forme de paramètres statistiques. Il est commun, à ce niveau, d'estimer que la tolérance ( $SL - (-SL)$ ) est donnée à 4 écart-types de la production et que cette dernière est centrée. Evidemment, ces estimations sont souvent arbitraires et mériteraient plus d'attention. Néanmoins, faute de renseignements avérés, et compte tenu du besoin, il est parfois nécessaire d'estimer, à l'instar des évaluations de type B dans le domaine des incertitudes !

En émettant de telles hypothèses, il est possible d'évaluer  $RC$  sur la base du rapport de capabilité, souvent évoqué quant à lui, dans le cas des normes CNOMO [2] ou du M.S.A [3].

Ainsi par exemple, dans le cas d'un processus centré dont la tolérance exprimée correspondrait à 4 écart-types du process et d'un processus de mesure respectant un coefficient de capabilité de 4, le risque client équivalent, suivant l'équation (1), serait environ égal à 0,8 %.

### Cas d'une capabilité non respectée

Chacun aura pu un jour constater que le respect des coefficients contractuels, notamment en ce qui concerne le M.S.A, n'est pas chose aisée. L'approche « Risque Client », telle que présentée précédemment, peut permettre de trouver une solution pragmatique.

Les américains ont publié la norme NCSL/ANSI Z540, qui s'appuie sur cette réflexion et introduit la notion de bande de garde.

L'idée consiste à poser pour principe que, derrière le coefficient de capabilité « se cache » le risque que le client est prêt à accepter. Il s'agit ensuite de considérer que l'exigence réelle du client n'est pas le respect du coefficient de capabilité, mais bien le niveau de risque qu'il a implicitement accepté. Il est alors possible, au regard d'une incertitude de mesure plus grande que celle fixée par la capabilité, de définir de nouvelles tolérances pour lesquelles le Risque Client reste identique (Figure 5).

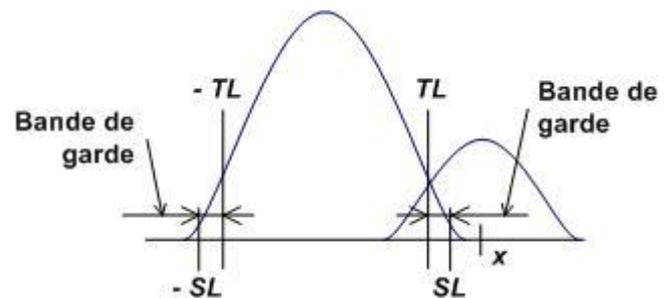


Figure 5 : Principe de la bande de garde

L'avantage de cette approche est qu'elle considère le risque Process (Figure 3) et le risque Mesure (Figure 2). Ainsi, l'incertitude plus grande n'impacte que le Risque Mesure mais ne modifie pas le Risque Process. Le produit des deux risques permet de prendre en compte le caractère aléatoire et indépendant des deux phénomènes en présence : Process et Mesure.

La détermination des nouvelles tolérances ( $-TL$  et  $+TL$ , Figure 5) est possible à l'aide de la relation (2). Là encore, le calcul n'est pas aisé (Résoudre une équation présentant des intégrales et dont les inconnues sont les bornes d'intégration) mais des logiciels spécialisés peuvent les conduire.

$$RC = \frac{1}{\sigma_{Spéc} \cdot \sigma_{Mes} \cdot \pi} \cdot \int_{-\infty(ouSL)}^{-SL(ou\infty)} \int_{-TL}^{TL} \exp\left(\frac{-x^2}{2 \cdot \sigma_{Spéc}^2}\right) \cdot \exp\left(\frac{-t-x^2}{2 \cdot \sigma_{Mes}^2}\right) \cdot dt \cdot dx \quad (2)$$

L'équation est simplifiée en considérant le process centré

Le tableau ci-dessous indique les facteurs de garde à appliquer en considérant les hypothèses exposées ci-avant (Process centrée, tolérance  $SL(-SL)$  donnée pour 4 écart-types), au regard de différents coefficients de capabilité.

| Coefficient capabilité réalisé | Coefficient capabilité contractuel | Risque Client RC | Facteur de garde (Fg) |
|--------------------------------|------------------------------------|------------------|-----------------------|
| 3                              | 4                                  | 0,798 %          | 0,970                 |
| 2,5                            |                                    |                  | 0,950                 |
| 2                              |                                    |                  | 0,907                 |
| 1,5                            |                                    |                  | 0,850                 |
| 3                              | 15 (MSA 10 %)                      | 0,3 %            | 0,856                 |
| 2,5                            |                                    |                  | 0,812                 |
| 2                              |                                    |                  | 0,800                 |
| 1,5                            |                                    |                  | 0,631                 |
| 1,5                            | 2 (CNOMO < 16 µm)                  | 1,239 %          | 0,959                 |
| 1                              |                                    |                  | 0,862                 |

**Tableau 1 : Correspondance des coefficients**

Utilisation du tableau : Dans le cas des tolérances centrées ( $-SL, +SL$ ) la valeur de  $TL$  est obtenue de la façon suivante:

$$TL = Fg \times SL$$

Le lecteur pourra apprécier la différence entre l'application de la norme ISO 14253-1 (qui oublie le caractère indépendant entre le Risque Mesure et le Risque Process) ! et la mise en œuvre d'une telle approche.

### Pour le plaisir ...

La Figure 2 introduisait l'exposé en posant la question de la probabilité de la position de la valeur vraie lorsque la mesure est réalisée juste sur la limite de tolérance. En première approche, la réponse semblait être 50% mais la réflexion qui a suivi a permis de montrer qu'il n'en était rien !

En intégrant l'objet dans notre réflexion, il faut convenir que cette probabilité dépendait évidemment de la valeur de l'objet lui-même. Trouver un résultat de mesure juste sur la tolérance impose que l'erreur de mesure qui s'exprime (dont on peut évaluer la probabilité compte-tenu de l'incertitude type) au moment de la mesure respecte l'équation suivante (3) :

$$\text{Valeur vraie} + \text{Erreur de mesure} = TL \quad (3)$$

On peut donc, pour toutes les valeurs possibles que peut générer le Process (dont on connaît la probabilité d'existence), de calculer la probabilité de l'erreur de mesure qu'il faut produire pour trouver  $TL$ .

Pour un Process centré dont les limites sont données pour 4 écart-types, la probabilité que l'objet soit non conforme est donnée, en fonction de la capabilité du processus de mesure, dans le tableau suivant :

| Capabilité ( $\sigma_{Spéc} / \sigma_{Mes}$ ) | Probabilité Objet NON-CONFORME |
|---|--------------------------------|
| 0,5   | 0,48 %                         |
| 1   | 0,82 %                         |
| 2   | 1,33 %                         |
| 4   | 1,85 %                         |
| 8   | 2,22 %                         |
| 16  | 2,45 %                         |

**Tableau 2 : Probabilité de non-conformité sur la tolérance**

## Conclusion

On remarquera, en poussant le raisonnement, que la connaissance du process (nécessaire à tous ces calculs) passe par la mesure et que cette dernière, à cause de l'incertitude de mesure, perturbe la connaissance du process. Mais n'est-ce pas là tout l'enjeu de la Métrologie ?

En connaissant le process, il est possible de connaître, sans faire de mesure, le nombre de produits non conformes qu'il génère. Si ce nombre est acceptable pour le client, il est inutile de mesurer pour contrôler la conformité des objets. Si ce nombre ne l'était pas, il conviendrait, soit de changer de process, soit de trier les objets conformes. Dans ces deux cas, la mesure trouverait sa véritable utilité car elle interviendrait directement dans le rapport Qualité / Prix. On arrive ici enfin à la qualité optimale : Mesurer pour faire conforme (au niveau de satisfaction demandé par le client) plutôt que mesurer pour savoir si on est conforme !

## Bibliographie

1. NF EN ISO 14253-1, in Spécification géométrique des produits (GPS). Vérification par la mesure des pièces et des équipements de mesure. Partie 1 : règles de décision pour prouver la conformité ou la non-conformité à la spécification. 1998.
2. E.41.36.110.N, in CNOMO. Moyens de production (Agrément Capabilité) des moyens de mesure Moyens de contrôle spécifique. 1991.
3. FORD, G. MOTORS, and CHRYSLER, Measurement System Analysis (MSA). 3rd ed. 2002.