

Probabilité d'extrapolation d'appareil de mesure

M. Bourdim¹, B. Meliani², L. Zouambi²

1. Laboratoire EOLE Université Aboubekr Belkaid Tlemcen
Faculté de Technologie, B.P. 230-13000 - Tlemcen - ALGERIE
Université de Sciences et de Technologie Mohammed Boudiaf Oran
B.P 1505 Oran El-M'Naouer- ALGERIE
E-mail : bourdim56@yahoo.fr

2. Centre Universitaire Ahmed Zabana – Relizane - ALGERIE

RÉSUMÉ. Le présent texte doit être considéré comme modèle. Les auteurs peuvent éventuellement copier leur article dans ce document modèle qui comporte la feuille de style WORD.

Les différents styles à appliquer sont indiqués d'une bordure bleue, ils ont tous le préfixe AR_ dans la boîte de styles. Éviter l'emploi redondant des majuscules dans le texte et les guillemets à outrance. Les majuscules sont accentuées. Un résumé d'une dizaine de lignes présente l'article en première page.

On met en petites capitales les mots résumé, abstract, mots-clés, keywords après avoir appliqué le style correspondant.

MOTS-CLÉS: capabilité, qualité, répétabilité, reproductibilité, intervalle de tolérance, incertitude de mesure.

KEY WORDS: Capability, quality, repeatability, reproducibility, interval of tolerances, incertitude of measure.

1. Introduction

Les référentiels de système de normalisation, demandent aux organismes de s'assurer que les équipements utilisés sont capables de réaliser les contrôles et les mesures appropriés. Celles-ci, assorties de leurs incertitudes, conduisent à une décision motivée d'acceptation ou de refus des produits réalisés. Il faut donc veiller à surveiller et optimiser le procédé de fabrication, et s'assurer que les moyens de contrôle et de mesure son encore fiable et capable de satisfaire les spécifications exigées par le constructeur.

Pour mettre sous contrôle un procédé de fabrication ou de contrôle il est nécessaire d'évaluer sa capabilité, c'est à dire d'évaluer ce qu'il est capable de produire dans les meilleures conditions.

Tous systèmes de mesure, intégrant des instruments, les méthodes et l'environnement dans lequel se réalise la mesure, déterminent la mise sous contrôle des processus de fabrication.

Pour réaliser des études des systèmes de mesure il faut définir les objectifs et les limites de l'analyse afin de déterminer les informations nécessaires. Et pour cela, souvent, on utilise la méthode courte pour déterminer la capabilité des instruments de mesure.

2. Capabilité d'un moyen de mesure

La capabilité prévisionnelle d'un moyen de mesure est l'aptitude du processus de mesure à satisfaire les spécifications du client [1]. Sa détermination, s'inscrit dans une stratégie de prévention et permet à une entreprise de vérifier qu'elle est en mesure de répondre à un cahier des charges, afin de satisfaire les besoins du client.

Comme on calcule statistiquement la capabilité à l'aide des mesures que l'on effectue, et ces mesures sont généralement affectées par des dispersions qui correspondent à la variation maximale que l'on pourrait constater en effectuant des mesures sur un même mesurande. L'incertitude de mesure IM découle des propriétés de l'instrument, de l'opérateur, de l'environnement de la mesure (température, vibrations,...), de la procédure de mesure,...

Sur la figure ci-contre, la valeur lue sur l'instrument de mesure peut se situer sur toute la zone d'incertitude de mesurage et donc être plus ou moins proche de la valeur vraie de la grandeur mesurée.

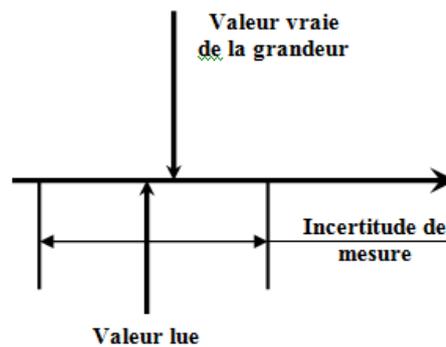


Figure1. Incertitude de mesure

On doit donc faire des mesures suivant des conditions de Répétabilité et de Reproductibilité.

Variance mesurée (R&R) = Variance opérateur + Variance chaîne de mesure

$$\sigma^2_{R\&R} = \sigma^2_{instrument} = \sigma^2_{répétabilité} + \sigma^2_{reproductibilité} \quad (1)$$

2.1 Critère de conformité

La norme NF-E 02-204 (1987) prescrit que l'incertitude de mesure **IM** doit être inférieure ou égale au 1/4 de l'intervalle de tolérance **IT**. Ce qui donne une capabilité minimum C_{mc} égale à 4 [2, 3], c'est-à-dire $4IM \leq IT$.

Cela signifie que, si un instrument de mesure à une capabilité de 4 pour une côte à vérifier, on ne sera sûr que la dimension est conforme seulement si la valeur lue se situe dans la zone de conformité = 3/4 de la tolérance (fig.2).

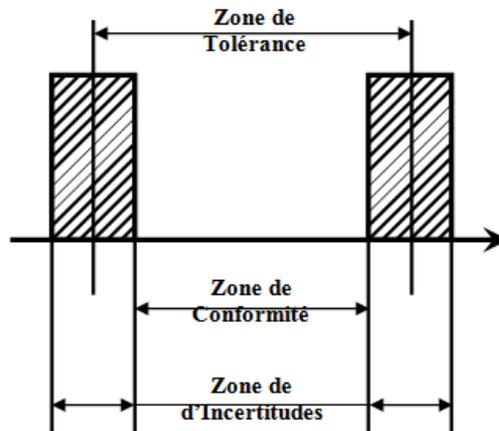


Fig.2 : Zone de conformité

2.2 Hypothèses de calculs

Les mesures réalisées par l'instrument contrôlé, doivent suivre une distribution Gaussienne normale avec une limite naturelle inférieure LNI et une limite naturelle supérieure LNS (fig.3), définies par convention par les équations suivantes :

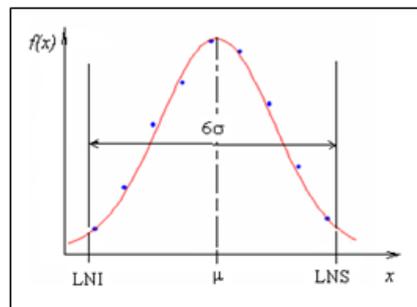


Fig.3. Distribution Gaussienne des mesures

D'après la norme AFNOR X06-030, un processus de contrôle sera déclaré "apte" s'il a démontré, pour les caractéristiques sélectionnées, qu'il était capable de produire pendant une période suffisamment longue, avec un taux théorique de non-conformités inférieur aux exigences internes à l'entreprise. Ce taux est fréquemment fixé à 0,27% (méthode 6σ) [4, 5, 6].

$$\text{LNI} = \mu - 3\sigma = \Pr(x \leq \text{LNI}) = 0,00135 \quad (1)$$

$$\text{LNS} = \mu + 3\sigma = \Pr(x \leq \text{LNS}) = 0,99865 \quad (2)$$

C'est-à-dire les limites contrôlées sont à $\pm 3\sigma$ de telle sorte que 0.135% des mesures sont en dessous de la LNI et 0.135% sont au dessus de la LNS.

La dispersion = Incertitude de Mesure $IM = 6 \sigma_{\text{instrument}}$

$$\frac{\text{Intervalle de tolérance}}{\text{Incertitude de mesure}} = \frac{IT}{IM} = \frac{IT}{6\sigma_{\text{instrument}}} \quad (3)$$

Intervalle de tolérance $IT = \text{Ecart supérieur (ES)} - \text{Ecart inférieur (EI)}$

Pour répondre aux normes, il est recommandé de prendre des mesures suivant des conditions de répétabilité et de reproductibilité, afin de réduire au maximum les dispersions de mesure, puisque toutes les modalités de réalisation des conditions de répétabilité sont constantes, alors que les conditions de reproductibilité intègrent la plupart des sources de variation.

$$\sigma_{\text{instrument}}^2 = \sigma_{\text{répétabilité}}^2 + \sigma_{\text{reproductibilité}}^2 \quad (4)$$

$$\sigma_{\text{répétabilité}} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{Avec } \bar{R} = \frac{\sum R_i}{k} \quad (5)$$

Où k est le nombre d'opérateurs ($k=2$)

d_2 = Facteur tabulé en fonction du nombre d'échantillon par prélèvement, ici $d_2=1,128$ (Cette formule est possible si n pièces $\times k \geq 15$ (test de Fisher).

N=nombre de mesures/pièces/opérateur	2	3	4	5
d_2	1.128	1.693	2.059	2.36

2.3 Calcul de la dispersion de la reproductibilité

La reproductibilité est composée de la variabilité due à l'opérateur à laquelle on soustrait la répétabilité que celle-ci contient pour éviter une redondance lors du calcul du Cmc.

$$\sigma_{\text{reproductibilité}} = \sqrt{\sigma_{\text{opérateur}}^2 - \frac{\sigma_{\text{répétabilité}}^2}{N}} \quad (6)$$

Où :

N = le nombre total de mesures par pièce et par opérateur

$$\sigma_{opérateur} = \frac{\sqrt{(X_i - M)^2}}{\sqrt{k}} = \frac{R_M}{d^*_2} \quad (7)$$

Avec $R_M = M_{\max} - M_{\min}$

Dans cette relation d^*_2 c'est le diviseur utilisé pour l'estimation de la dispersion ou de l'écart type. D'après [7], pour un deux mesures par pièce et par opérateur (N=2), on obtient $d^*_2 = 1.414$.

N = nombre de mesures/pièce/opérateur	2	3	4	5
d^*_2	1,414	1,693	2,059	2.36

Finalement on doit comparer l'incertitude de la mesure (IM) a la tolérance de la mesure (IT) pour vérifier si la capabilité de l'outil de mesure est acceptable, c'est à dire il faut vérifier l'inégalité:

$$4IM \leq IT$$

2.4 Mode opératoire

Les principales étapes de cette méthode sont les suivantes:

- Il faut sélectionner 10 pièces représentatives de toute la dispersion des caractéristiques mesures.
- Plusieurs opérateurs (de 2 a 5) doivent faire deux séries de mesures pour chacune des 10 pièces. Ces mesures doivent être réalisées sur le poste de contrôle, dans des conditions habituelles.
- Dans un laboratoire métrologique il faut déterminer les dimensionnes effectives de chaque pièce, généralement avec un ordre de précision meilleure.
- Les résultats de la mesure doivent être présentés dans un tableau (Tableau 1).

Tableau 1. Tableau des pièces considérées

Echantillons	OPERATEUR A				OPERATEUR B			
	Série1	Série2	m	r	Série1	Série2	m	r
pièce1	xA11	xA21			xB11	xB21		
pièce2	xA12	xA22			xB12	xB22		
pièce3	xA13	xA23			xB13	xB23		
pièce4	xA14	xA24			xB14	xB24		
pièce5	xA15	xA25			xB15	xB25		
pièce6	xA16	xA26			xB16	xB26		
pièce7	xA17	xA27			xB17	xB27		
pièce8	xA18	xA28			xB18	xB28		
pièce9	xA19	xA29			xB19	xB29		
pièce10	xA110	xA210			xB110	xB210		
	M =		R =		M =		R =	

m = moyenne des valeurs mesurées pour une pièce et par un opérateur

r = l'étendue de mesure = $x_{\max} - x_{\min}$

M = moyenne des valeurs mesurées par un opérateur pour l'ensemble des pièces testées.

R = moyenne des étendues. Elle concerne toutes les pièces mesurées par un opérateur.

2.5 Application

Dans cette application, nous allons vérifier la capabilité d'un appareil de mesure dont la précision conférée par le constructeur est de $10\mu\text{m}$, sur un lot de dix pièces identiques. Les résultats obtenus après le mesurage sont présentés dans le tableau 2.

2.6 Application numérique

- Si l'on s'appuie sur les valeurs du tableau ci-dessus, les résultats sont les suivants:
- $d_2 = 1,128$ (par tabulation)
- $d^*_2 = 1,414$ (par tabulation)
- $R = 1,95$
- $\sigma_{\text{répétabilité}} = 1,729$
- $R_M = 2,25$
- $\sigma_{\text{opérateur}} = 1,591$

- $\sigma_{\text{reproductibilité}} = 1,976$
- $\sigma_{\text{instrument}} = 2,625$
- $6\sigma_{\text{instrument}} = \text{IM (Incertitude de mesure)} = 15.75$
- Si $IT = 10$ (spécification), alors, $C_{mc} = 0.634$, et $4 \text{ IM} > IT$, nous pouvons considérer que ce système n'est pas capable pour cette précision de mesure. Il faut calibrer et réajuster l'appareil avant de refaire les essais pour une nouvelle évaluation de la capacité de l'appareil.

Tableau 2. Tableau des résultats de mesure

Echantillons	OPERATEUR A				OPERATEUR B			
	Série1	Série2	m	r	Série1	Série2	m	r
pièce1	221	219	220	2	208	210	209	2
pièce2	225	222	223.5	3	215	217	216	2
pièce3	221	221	221	0	235	232	233.5	3
pièce4	215	215	215	0	225	228	226.5	3
pièce5	221	219	220	2	231	230	230.5	1
pièce6	220	221	220.5	3	233	231	232	2
pièce7	226	223	224.5	3	222	221	221.5	1
pièce8	222	219	220.5	3	236	234	235	2
pièce9	223	221	222	2	209	211	210	2
pièce10	224	221	222.5	3	217	219	218	2
	M =220.95		R =1.90		M =223.20		R =2	

3. Conclusion

Cette synthèse traduit l'importance et l'impact du calcul de capacité prévisionnelle en entreprise. Tout au long de notre étude nous avons abordés les calculs de capacité selon une approche statistique très simple et rapide. Cela nous permettra de valider notre approche, en resituant les différentes normes à l'aide des études de cas.

L'évaluation de la capacité prévisionnelle s'avère donc être un outil indispensable, et très utilisée dans les grandes entreprises, car la vente de produits non conformes ou le refus de produits conformes peut avoir des répercussions économiques désastreuses pour l'entreprise.

Le seul moyen de se protéger contre ce risque consiste donc à maîtriser la métrologie de l'entreprise, notamment en étalonnant ou vérifiant correctement les instruments de mesure et en connaissant les incertitudes de mesure.

Références

- [1] Ernest O. Doebelin. (1975). *Measurement systems – Application and design*- McGRAW-HILL Book company, New York.
- [2] Manual on the Presentation of Data and Control chart Analysis Publication. (1986). ASTM STP - 150, New York,
- [3] ISO 9004. (1987). *Gestion de la qualité et éléments de système qualité – Lignes directrices*.
- [4] NJean-Luc Vachete (1990). *Amélioration continue de la qualité*”, Les Editions d’Organisation - Paris.
- [5] Bourdim A. (2009). *Cours de Technique de mesure*, DPGS, ENSET Oran.
- [6] Boulenger. A, Pachaud . C (1998). *Surveillance des machines par analyse des vibrations*, AFNOR.
- [7] NSK. (2003). *Product Guide Bearings*, First edition.