



HAL
open science

Qualité des produits et conformité... l'objectif cible de la conception à la fabrication

Maurice Pillet

► **To cite this version:**

Maurice Pillet. Qualité des produits et conformité... l'objectif cible de la conception à la fabrication. MICAD 2001, Mar 2001, Paris, France. hal-02983712

HAL Id: hal-02983712

<https://hal.science/hal-02983712v1>

Submitted on 30 Oct 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



MICAD 2001

PARIS EXPO - PORTE DE VERSAILLES

6 - 7 - 8 MARS / MARCH 2001

20^{ème} Exposition et Conférences
Internationales sur la CFAO,
la Simulation et les Nouvelles
Technologies de Conception
et de Fabrication.

20th International Exhibition
and Conferences dedicated
to CAD/CAM/CAE
and New Technologies
for Design and Manufacturing.

S4 - TOLERANCEMENT :

MAÎTRISE DE LA QUALITÉ GÉOMÉTRIQUE,
DÉMARCHES ET OUTILS D'AIDE AU TOLERANCEMENT

Par Pierre BOURDET, Luc MATTHIEU, Bernard ANSELMETTI, ENS CACHAN
Didier BUYASSE, RENAULT, Maurice PILLET, LLP CESALP, Paul CLOZEL, MECAMASTER
Pascal COUPEL, PSA PEUGEOT CITROËN

Mercredi 7 mars 2001 - 9h30/12h30

20 ans
years

www.birp.com

Qualité des produits et conformité...

l'objectif cible de la conception à la fabrication

PILLET Maurice
LLP CESALP
Université de Savoie – Laboratoire de Logiciels pour la Productique
9 rue de l'arc en Ciel
BP 240 74942 Annecy le Vieux Cedex
maurice.pillet@univ-savoie.fr
Tel 04 50 09 22 75

1. Introduction

Dans le cas de produits assemblés ou résultant de la combinaison de plusieurs processus élémentaires, on peut dissocier deux niveaux dans l'évaluation de la conformité :

- le niveau du produit fini assemblé ;
- le niveau des caractéristiques élémentaires.

Un des principes essentiel de la qualité est la conformité. La norme la définit de la façon suivante : "Satisfaction aux exigences spécifiées" [ISO 8402]. Derrière cette définition bien vague et bien succincte se cache un vrai problème pour l'industriel. Quelle doit être l'exigence à spécifier pour assurer la qualité des produits ?

La pratique actuelle ne dissocie pas ou peu les deux niveaux d'appréciation de la qualité. On fixe des limites maximales de variation et tant que la valeur mesurée reste dans cet intervalle de variation, la mesure est déclarée conforme. La satisfaction aux exigences spécifiées devient systématiquement la conformité aux tolérances. Pourtant, ne doit-on pas établir une hiérarchie dans les deux niveaux d'évaluation de la conformité ? La demande du client final ne concerne pas les caractéristiques élémentaires, mais le produit final assemblé. La décision de conformité d'une caractéristique élémentaire ne devrait pas se prendre sur une évaluation indépendante du contexte combinatoire mais sur les risques que l'on prend à générer un produit final qui ne donnerait pas satisfaction. La question est donc la suivante : comment définir de façon précise une spécification au niveau d'une caractéristique élémentaire afin de satisfaire à l'exigence suprême : "la satisfaction des besoins exprimés ou implicites du client final ?"

Pour répondre à cette question nous proposons de définir la conformité d'une caractéristique élémentaire comme étant "**l'aptitude à rendre le plus probable possible la conformité du produit final**". Cette redéfinition de la conformité au niveau des caractéristiques élémentaires nous permettra d'échapper à la traditionnelle conformité aux tolérances.

2. Les critères d'évaluation des productions

Les méthodes les plus souvent rencontrées pour l'évaluation de la conformité d'une caractéristique sont fondées sur le respect des tolérances. Nous rappellerons brièvement deux méthodes très connues : la réception sur un Niveau de Qualité Acceptable (NQA) et la réception sur un indice d'aptitude (ou de capabilité).

Réception sur Niveau de Qualité Acceptable

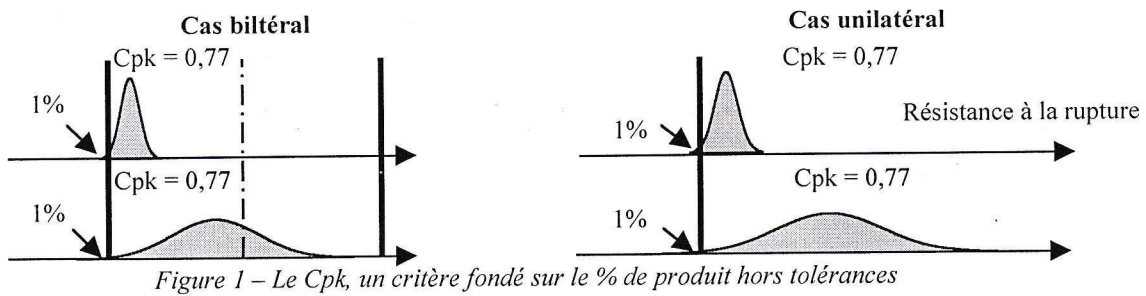
Cette méthode bien que fort ancienne est encore très utilisée de nos jours. Le contrôle le plus courant consiste en un contrôle aux attributs en utilisant un contrôle simple double, multiple ou encore progressif. En fonction du nombre de défauts prélevés, on conclut à l'acceptation du lot ou à son refus moyennant un risque de première et de seconde espèce. Dans ce cas, le critère de conformité est clairement fondé sur le pourcentage de produits hors tolérance.

Réception sur un indice de capabilité tel que Cp, Cpk

Si on veut maintenir des prélèvements de taille économique, la démarche précédente de contrôle aux attributs ne peut pas détecter des niveaux de non-qualité inférieurs à 1%. Cela est bien sûr inacceptable pour atteindre le standard de qualité exigé actuellement. Pour améliorer l'efficacité des contrôles, il faut passer au contrôle aux mesures afin de ne plus chercher la pièce hors tolérance, mais plutôt à prévoir sa présence. Sont alors apparus les indicateurs de capabilité (ou d'aptitude) Cp et Cpk tels que :

$$C_p = IT/6\sigma \quad [eq 1] \quad C_{pk} = \text{Min} \left(\frac{TS - \bar{X}}{3\sigma}; \frac{\bar{X} - TI}{3\sigma} \right) \quad [eq 2]$$

Dans le cas d'un contrôle aux mesures, on demande au producteur de s'assurer que le moyen de production employé est capable de fournir un Cpk supérieur à un mini spécifié (souvent 1,33). Dans ce cas de figure, on a conservé comme critère de conformité le pourcentage de produits hors tolérances. Le cas de la figure 1 montre bien deux productions dont les conséquences sur le produit fini ne seront pas les mêmes et qui pourtant donneront le même indicateur de capabilité Cpk.



Réception dans le cas de distributions non normales

La capabilité (aptitude) d'un procédé a d'abord été définie dans le cas d'une loi normale. On a établi la dispersion du procédé comme étant 6 écarts types. Cela correspond, dans le cas d'une loi normale, à 99,73% de la population. Dans le cas d'une loi non-normale on a voulu une certaine équivalence dans la notion de la dispersion avec le cas classique de la loi normale. Comme 6 écarts types ne donnent pas 99,73% de la population, il fallait choisir :

- soit la dispersion était l'intervalle contenant 99,73% de la population ;
- soit la dispersion correspondait à 6 écarts types.

Le choix s'est porté sur la première solution, ce qui, à notre avis, n'était pas la meilleure solution comme nous le montrerons dans cette présentation. Dans la plupart des procédures actuelles, la conformité est décidée à partir d'une dispersion contenant 99,73% des produits. On est clairement dans une logique de simple respect des tolérances.

3. La prise en compte de la combinatoire

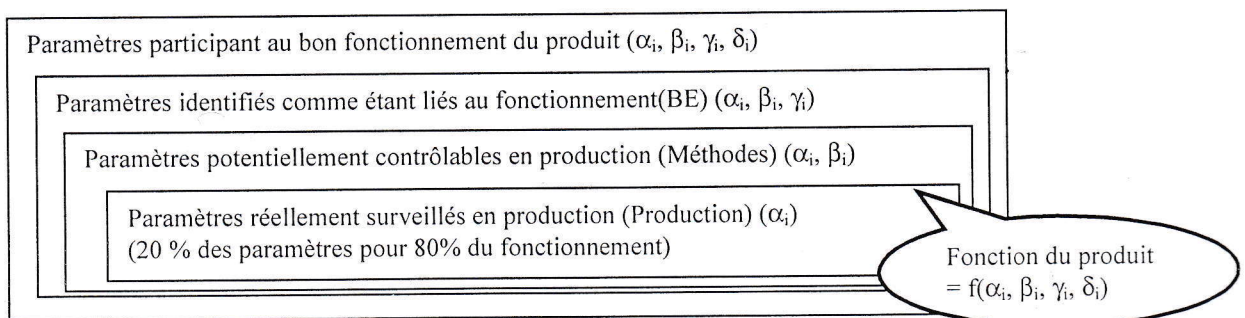


Figure 2 – Emboîtement des différents paramètres

Une analyse d'un grand nombre de produits industriels, nous a conduit à la conclusion suivante : il est exceptionnel de trouver une caractéristique qui soit seule, directement liée à la qualité d'un produit fini. La qualité d'un produit fini est toujours le résultat d'une combinatoire de plusieurs caractéristiques qui ne sont d'ailleurs pas toujours contrôlées. Quels que soient les systèmes industriels, même pour les plus simples, on retrouve toujours cet invariant : la qualité finale du produit résulte de la combinaison plus ou moins complexe d'un nombre important de paramètres élémentaires gigognes que nous pouvons classer selon la figure 2.

Pour assurer le fonctionnement idéal, il faudrait contrôler tous les paramètres participant au bon fonctionnement ($\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \delta_i$). Cependant, ces paramètres ne sont pas tous identifiés. Parmi les paramètres identifiés, certains (β_i, γ_i) ne peuvent être surveillés en production pour des problèmes de faisabilité (contrôle destructif par exemple) ou de coûts. On se limite donc en règle générale au suivi de quelques paramètres (α_i) considérés comme critiques afin d'assurer la qualité finale du produit qui doit bien sûr être le seul objectif. Pour cela, il faut non seulement que les α_i satisfassent des tolérances, mais en plus, ils doivent être configurés de telle sorte que le produit fini soit robuste par rapport aux variations non contrôlées des paramètres ($\beta_i, \gamma_i, \delta_i$).

3.1. La recherche de la cible permet d'atteindre la robustesse

Lorsque l'on considère l'aspect combinatoire dans l'assemblage d'un produit, on note l'importance de concentrer le plus possible de produits sur la cible. Prenons l'exemple de l'assemblage d'un arbre et d'un alésage. Si le diamètre de l'arbre est parfaitement placé sur la cible (pièce 1), quel que soit le diamètre de l'alésage, on aura un jeu acceptable. Dans le cas d'un arbre en limite de tolérance (pièce 2), on prend le risque d'assembler cet arbre avec un alésage également en limite de tolérance, et ainsi de se situer dans une "zone à risque".

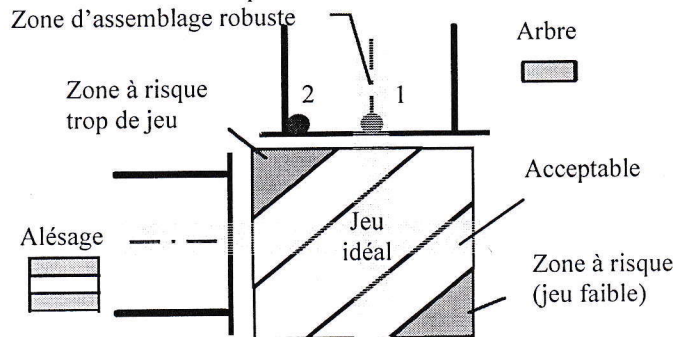


Figure 3 – La cible donne la robustesse

Ainsi, le fait de placer une caractéristique élémentaire (α_i) sur la cible, rend le produit plus "robuste" par rapport aux variations des autres (α_i) mais aussi par rapport aux fluctuations des caractéristiques ($\beta_i, \gamma_i, \delta_i$) qui ne sont pas contrôlées. Cela va bien dans le sens de la conformité telle que nous l'avons définie.

3.2. La qualité du produit fini ne dépend pas directement du pourcentage hors tolérances sur les caractéristiques élémentaires

Nous avons vu que les principes actuels de détermination de la conformité sont fondés sur la recherche du zéro défaut au niveau des caractéristiques. Nous allons démontrer que dans le cas de produits assemblés ce raisonnement ne permet pas de garantir le niveau de qualité souhaitable au niveau du produit fini.

Dans les cas des processus combinatoires, il est très important de connaître la relation liant une caractéristique finale Y aux caractéristiques élémentaires X. Les variables X variant généralement peu, il est possible de linéariser la caractéristique finale Y au voisinage de la cible. La connaissance d'une relation linéaire du premier ordre du type :

$$Y = \alpha_0 + \alpha_i X_i + \varepsilon \quad [\text{eq 3}]$$

suffit en général largement à la description du phénomène au voisinage du point de fonctionnement.

Notation :

- $E(X)$: moyenne de la caractéristique X
- $C(X)$: Cible de la caractéristique X
- $V(X)$: Variance de la caractéristique X
- $T(X)$: Tolérance sur la caractéristique X

On obtient facilement sous réserve d'indépendance des X l'espérance mathématique et la variance de la fonction finale Y en fonction des espérances et des variances des X.

$$E(Y) = \alpha_0 + \alpha_i E(X_i) \quad [\text{eq 4}] \quad V(Y) = \alpha_i^2 V(X_i) \quad [\text{eq 5}]$$

Première conclusion : La qualité finale d'un produit dépend du centrage des caractéristiques élémentaires et de leur variance.

Afin de démontrer que le pourcentage hors tolérance n'est pas un bon critère pour définir la qualité, nous nous appuyerons sur un contre exemple.

Hypothèse de situation :

Supposons $Y = f(X)$ tel que les caractéristiques X ont une même tolérance T et sont centrées avec $Cp = Cp_k = 1.33$ soit $V(X_i) = T^2 / 64$. On a :

$$E(Y) = E(X) = C(Y) \quad [\text{eq 6}]$$

$$V(Y) = V(X) = (n) \frac{T^2}{64}$$

$$\text{soit } \sigma(Y) = T \frac{\sqrt{n}}{8} \quad [\text{eq 7}]$$

Comparons deux situations de dégradation de la caractéristique k correspondant au même pourcentage hors tolérances sur la caractéristique k (voir figure 1).

Situation 1 : centrage

La caractéristique k reste centrée, mais subit une augmentation de dispersion conduisant à un pourcentage hors tolérances.

$$Cp_{Xk} = Cp_{k_{Xk}} < Cp_{initial} \text{ soit } \sigma_{Xk} = \frac{T}{6Cp_{Xk}}$$

$$E(Y) = E(X) = C(Y) \quad [\text{eq 8}]$$

à partir de l'équation 3 on tire :

$$V(Y) = V(X) = (n-1) \frac{T^2}{64} + \frac{T^2}{36Cp_{Xk}^2}$$

$$\sigma(Y) = \frac{T}{2} \sqrt{\frac{n-1}{16} + \frac{1}{9Cp_{Xk}^2}} \quad [\text{eq 9}]$$

Situation 2 : décentrage sur X_k

La caractéristique k est décentrée, mais conserve un faible dispersion.

$Cp_{Xk} = 2$ avec un décentrage de $\delta\sigma$ tel que la proportion hors tolérance de la situation 2 soit égale à la situation 1.

$$V(X_k) = T^2 / 144 \quad E(X_k) = C(X_k) + \delta \frac{T}{12}$$

$$E(Y) = E(X) = C(Y) + \delta \frac{T}{12} \quad [\text{eq 10}]$$

$$V(Y) = V(X) = (n-1) \frac{T^2}{64} + \frac{T^2}{144}$$

soit $\sigma(Y) = \frac{T}{4} \sqrt{\frac{n-1}{4} + \frac{1}{9}}$ [eq 11]

À partir des équations 8 à 11, on peut facilement illustrer par la figure 4 l'influence d'un décentrage et d'une augmentation de la dispersion d'un X sur la caractéristique finale Y en fonction de plusieurs Cpk sous l'hypothèse d'un calcul statistique des tolérances tel que :

Cp _{Xk}	0.5	0.75	1
δ équivalent avec Cp = 2	4.89	4.03	3.22
Proportion hors tolérance	0.1336	0.0244	0.0027

La figure 4 montre bien que pour un même pourcentage hors tolérance, l'impact d'un décentrage sur la qualité finale est beaucoup plus important que l'impact d'une augmentation de la dispersion.

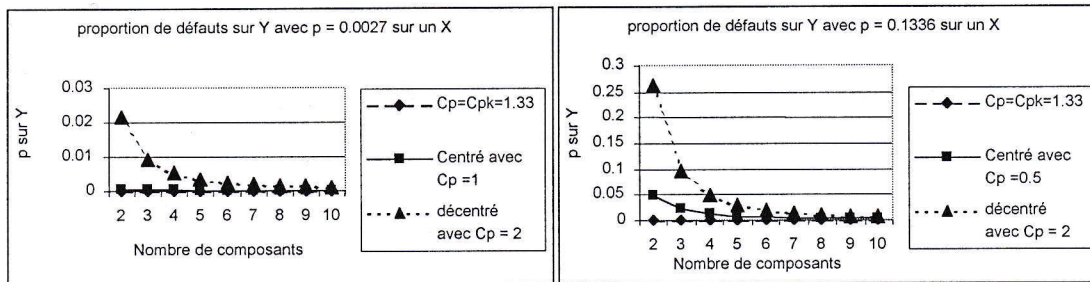


Figure 4 – Effet d'un décentrage et d'une augmentation de dispersion

3.3. La définition de la dispersion comme étant 99,73% de la population n'est pas adaptée aux produits assemblés

La qualité visée doit être la qualité du produit assemblé. La décision de conformité sur la caractéristique élémentaire ne doit être prise qu'en considérant l'impact sur le produit final. Dès lors, peut-on considérer que le choix qui a été fait dans les différentes normes de définir la dispersion comme 99,73% de la production est une bonne solution ?

Dans l'hypothèse d'une relation telle que l'équation 3 entre la caractéristique Y et les caractéristiques X, les caractéristiques de position et d'échelle sur Y (équation 4 et 5) ne dépendent que des moyennes $E(X_i)$ et des variances $V(X_i)$. Ces relations sont établies indépendamment de la normalité des distributions des variables X_i . On ne peut pas montrer d'influence prioritaire des distributions marginales des X_i . En conséquence, si on veut tenir compte dans la décision de conformité des X_i de l'impact qualité sur les variables Y, nous devons tenir compte des deux grandeurs d'influences que l'on peut démontrer soit $E(X_i)$ et $V(X_i)$ et ceci indépendamment de la loi de distribution des X_i .

Nous proposons de redéfinir la dispersion comme étant l'intervalle $(\bar{X} - 3\sigma, \bar{X} + 3\sigma)$ plutôt que l'intervalle contenant 99,73% de la population.

Cas des populations non normales : Dans ce cas également, de nombreuses contributions [1] [2] [3] [4] [5] [6] ont été réalisées sur le sujet afin d'estimer la dispersion à 99,73% dans différents cas de figure à partir d'approches paramétriques ou non paramétriques. On peut d'ailleurs sans risque de se tromper affirmer que ce sujet est loin d'être épuisé tant le nombre de situations non normales peut se multiplier à l'infini. Le problème de cette approche est qu'elle nous semble inutilisable pour l'industriel et inadaptée à l'objectif essentiel : la qualité des caractéristiques Y.

Comme nous l'avons montré, le résultat sur les Y dans le cas de produits assemblés dépend principalement de la moyenne et de la variance des caractéristiques X. L'application du théorème central limite permet de montrer que l'importance de la non-normalité n'est pas très importante dans le cas de l'addition de plusieurs caractéristiques X. La distribution des Y convergera vers une loi normale même si les caractéristiques X s'éloignent de la normalité.

De plus, le résultat ne sera pas seulement l'addition des paramètres X contrôlés en production, mais également l'addition des paramètres non contrôlés que nous avons notés $(\beta_i, \gamma_i, \delta_i)$. Il faut en plus ajouter à cela les paramètres liés aux conditions d'utilisation du produit. Nous sommes donc toujours dans les cas d'application du théorème central limite, ce qui justifie de s'intéresser prioritairement aux

paramètres de position et de dispersion plutôt que de s'intéresser à la forme de la distribution pour définir la conformité.

Mais ce n'est pas parce que nous ne prenons pas en compte la normalité pour définir la conformité de la caractéristique que nous négligeons pour autant l'importance de la forme de la distribution. En effet, une répartition normale est le signe d'un processus sous contrôle. Il est donc très important dans les cas de non-conformité de déterminer les causes spéciales à l'origine de cette situation afin de ramener le processus sous contrôle. La normalité est un outil d'analyse, pas une condition pour décider de la conformité.

Conclusion

Suite à cette analyse, nous retenons trois éléments majeurs qui sont à l'origine de l'objectif cible :

1. La définition de la dispersion à 99,73% n'est pas adaptée pour garantir la qualité des produits finis. Une définition à \pm trois écarts types, indépendamment de la distribution est plus adaptée, tout en simplifiant considérablement les procédures de calculs pour les industriels.
2. Le nombre de pièces hors tolérance n'est pas un bon critère pour évaluer la conformité des caractéristiques élémentaires. Il faut préférer un indicateur fondé sur les paramètres de position et d'échelle tel que le Cpm proposé par Chang [7] pour les cas de tolérances bilatérales ou que nous avons proposé [8] pour les cas unilatéraux.
3. Le centrage des productions est un impératif pour assurer la qualité des produits finis à moindre coût. Une production centrée donne de la "robustesse" contre les fluctuations des autres paramètres, y compris les paramètres non contrôlés.

4. L'objectif cible, une autre façon de penser la conformité

Comme nous l'avons montré dans cette communication, les normes et procédures industrielles sont très orientées vers une démarche zéro défaut cherchant à éliminer les produits hors tolérances sans considérer la façon dont les productions sont réparties dans les tolérances. Il est nécessaire de faire évoluer ce raisonnement afin d'introduire la règle suivante : ce qui est important, ce n'est pas seulement qu'une pièce soit dans l'intervalle de tolérance, mais c'est aussi et surtout la répartition des pièces à l'intérieur de cet intervalle. Il faut une répartition **centrée sur la cible avec une dispersion la plus faible possible** minimisant la fonction perte de Taguchi [9][10].

Pour atteindre cet objectif, il faut une convergence de points de vues de tous les services de l'entreprise. L'objectif cible commence dès la définition des spécifications par la prise en compte du centrage qui permet une large utilisation du tolérancement statistique. Les services d'industrialisation, de production et de qualité sont également largement engagés dans la démarche et doivent mettre en œuvre des actions particulières pour satisfaire l'objectif cible. Il faut donc développer une méthodologie particulière dans l'approche de la qualité des produits que nous appelons "l'objectif cible". Nous donnerons les grandes lignes de la démarche et les objectifs à atteindre pour les principaux services qui interviennent.

4.1 La conception "objectif cible"

La conception "objectif cible" a pour principale finalité de parfaitement définir les cibles idéales sur les différentes caractéristiques. La première tâche qui incombe au concepteur est d'identifier les paramètres les plus importants qu'il est nécessaire de suivre. L'utilisation du QFD (Quality Function Deployment) permet de définir de façon optimum les cibles ainsi que les tolérances sur les caractéristiques attendues par le client. Le concepteur devra déterminer de façon précise les cibles à atteindre afin de garantir un produit robuste et fiable. Dans cette tâche, les plans d'expériences flous Bayésiens [11], et la démarche de conception robuste que nous avons proposée prennent une importance primordiale.

Utilisation du tolérancement statistique

Un produit doit bien sûr être robuste et fiable, mais il doit également être bon marché. Pour cela, la cotation statistique offre de larges possibilités de diminution des coûts qui ne sont pas assez exploitées actuellement. Cependant, ce type de cotation n'est pas sans risque et il faut imposer à la fabrication le centrage absolu des caractéristiques par le respect de capacités adaptées telles que le Cpm. Toutes les caractéristiques qui ont fait l'objet d'une cotation statistique doivent ainsi être repérées sans équivoque.

Le tolérancement statistique ne doit pas prendre en compte uniquement la relation linéaire, mais également l'ensemble des caractéristiques intervenant dans la combinatoire finale. Dans cet objectif, le tolérancement par régression multiple permet de prendre en compte les paramètres secondaires. Ils apparaissent dans la variance résiduelle et sont donc pris en considération.

La cotation "objectif cible"

La façon dont les plans sont cotés doit impérativement être modifiée. Sur chaque caractéristique, la cote cible doit apparaître clairement. Les tolérances doivent être indiquées en cotes centrées. Le type de cotation $10^{+0.05}_{+0.01}$ est interdit dans un bureau d'étude qui travaille en "objectif cible". Systématiquement on utilisera la notation $10,03 \pm 0,02$. Ce point est un point essentiel. Exceptionnellement, lorsque la cible n'est pas le milieu de la tolérance, on note les tolérances en clair autour de la cible. La cotation en cote cible nécessite l'utilisation intensive de la notion de capacité dans les bureaux d'étude.

Lorsque la cible n'est pas fixée par le concepteur, la cible est choisie librement par les opérateurs qui peuvent faire des erreurs de calculs ou avoir une cible changeante, parfois ils visent le maxi, parfois ils visent le mini. Cela crée de la variabilité qui inévitablement se retrouve au niveau du produit fini.

4.2 L'industrialisation "objectif cible"

Au niveau du service d'industrialisation, un gros travail de préparation doit également être fourni. Avec l'objectif cible, on cherche impérativement le centrage absolu des caractéristiques. Cela modifie considérablement la façon de travailler et le choix des moyens de production. Par exemple :

- On préfère les moyens qui permettent le centrage des caractéristiques avec une bonne précision même si c'est légèrement au détriment de la dispersion.
- On cherche à figer les cibles sur les paramètres procédés.
- Même si la cible idéale n'est pas connue, il faut quand même fixer une cible, cela réduit la variabilité et améliore le produit fini.
- On élimine systématiquement toute dérive de caractéristiques procédés en utilisant le plus possible des compensations automatiques.
- On doit vérifier la capacité des moyens de production au sens du Cpm.

4.3 La production "objectif cible"

Enfin, en production, avec ou sans carte de contrôle, la règle est simple, il ne suffit plus d'être dans les tolérances, on cherche à centrer la production sur la cible. Le respect de cette règle permet d'obtenir des tolérances beaucoup plus larges, et ainsi de diminuer les coûts de production.

En visant la cible sur les caractéristiques surveillées, on rend le produit **robuste** par rapport à toutes les caractéristiques non surveillées mais qui fluctuent quand même. Ce centrage doit être réalisé en utilisant bien sûr les cartes de contrôle, mais en utilisant également tous les moyens qui assurent le centrage. On peut citer :

- La façon dont les appareils de mesure sont utilisés. On cherche systématiquement à visualiser la cible au centre du cadran, là où les opérateurs ont naturellement tendance à se placer.
- La façon dont les documents sont rédigés, qui doit insister sur le respect de la cible
- L'utilisation massive de points "zéro défaut".
- L'utilisation massive des compensations automatiques désormais possibles sur les armoires de commande des machines.
- ...

Garantir le centrage dans toutes les conditions, même dans le cas des petites séries ou des procédés non normaux. Dans ces contextes particuliers, nos travaux sur l'application des cartes de contrôle permettent d'assurer cet impératif [12] [13].

4.4 Le contrôle de réception "objectif cible"

Comme nous l'avons souligné, le contrôle des productions ne doit plus se faire par comptage ou estimation d'un pourcentage de non-conformes, mais par le calcul d'un indicateur de capacité C_{pm}. Mais que faire lorsque la conformité n'est pas acceptée ?

Supposons qu'un fournisseur livre des pièces selon le schéma figure 5 (loi uniforme qui remplit les tolérances). L'écart type d'une loi uniforme est égal à $R/\sqrt{12}$

Dans ce cas, les capacités seront : $C_{pm} = C_p = IT/6\sigma = IT/6(T/\sqrt{12}) = 0,58$

Si on donne à trier le lot avec les tolérances, le fournisseur ne trouvera aucune non-conformité, et le lot reviendra dans les mêmes conditions. Le but du tri dans ces conditions n'est plus d'éliminer les pièces non conformes, mais de rendre le lot conforme aux capacités demandées. Pour cela, une solution simple consiste à **trier les pièces par rapport à la moitié de la tolérance**.

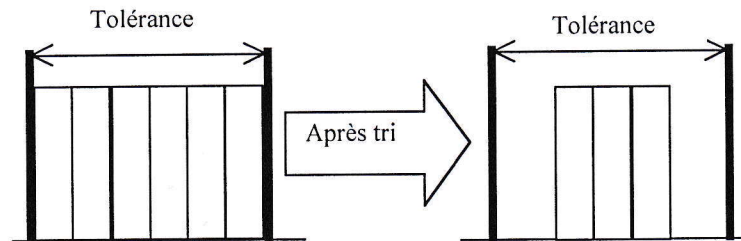


Figure 5 – Le tri dans le cas de réception non conforme en "objectif cible"

Dans ce cas, les capacités seront : $C_{pm} = C_p = IT/6\sigma = IT/6(T/2\sqrt{12}) = 1,15$

On trouve une capacité égale à 1,15 dans le cas d'une loi uniforme, ce qui est jugé acceptable dans le cas d'un tri. Pour obtenir une capacité de 1,33 en fin de tri, il faudrait diviser l'intervalle de tolérance par 2,3. On choisit généralement de diviser la tolérance par 2 pour des raisons de simplicité.

5. Les principes essentiels

Nous pouvons résumer les principes essentiels de l'objectif cible par les points suivants :

- La fonction d'un produit est presque toujours une combinatoire de caractéristiques élémentaires surveillées ou non en production.
- Pour diminuer les coûts de production, il est indispensable de tenir compte de cette combinatoire en utilisant les principes du tolérancement statistique.
- Compte tenu de cette combinatoire, la forme de la répartition importe peu, par contre les paramètres de position (\bar{X}) et d'échelle (σ) sont très importants. On doit utiliser le C_{pm} pour évaluer la conformité.
- La dispersion doit être définie par l'intervalle $\bar{X} \pm 3\sigma$ plutôt que par l'intervalle contenant 99,73% de la population
- Chaque caractéristique surveillée en production doit avoir une cible parfaitement définie.
- La cible représente le niveau idéal de la caractéristique. Tous les opérateurs doivent s'efforcer de centrer le procédé sur cette cible.
- La cible doit être définie consensuellement entre tous les services concernés.
- La cible doit apparaître clairement sur les plans de fabrication.
- Les services de conception, méthodes, production doivent utiliser les outils de la Maîtrise Statistique des Procédés pour satisfaire le centrage du procédé sur cette cible.

La mise en place de ces principes pourtant très simples, nécessite une véritable remise en cause de l'entreprise pour assimiler les concepts suivants :

- la différence entre la qualité finale du produit et la qualité d'une caractéristique ;
- l'intérêt économique d'élargir le plus possible les tolérances en utilisant la cotation statistique, MAIS en imposant un centrage sur la cible ;
- l'abandon de la conformité au sens traditionnel bon/pas bon pour évoluer vers une conformité exprimée en capacité par le C_{pm} ;

- l'application des cartes de contrôle ou de toutes autres méthodes pour garantir que la production respecte la cible et satisfait les capacités au sens du Cpm.

Ces concepts sont essentiels pour la bonne mise en place de la Maîtrise Statistique des Procédés dans les entreprises. L'échec de plusieurs entreprises dans l'introduction de la MSP vient du non-respect de cette étape. On a voulu mettre en place des cartes de contrôle alors que la philosophie de l'entreprise était basée sur d'autres principes le principe du simple respect des tolérances. Nous avons fait dans cette démarche la même erreur que nous avons faite précédemment en mettant en place du Kanban sans avoir mis en place les principes du juste à temps dans la culture de l'entreprise. Il faut d'abord introduire la démarche de cote cible avant de mettre en place les outils du SPC tels que les cartes de contrôle. La mise en œuvre de ces concepts est très intéressante pour l'entreprise. Elle procure en même temps une diminution des coûts de revient, et une amélioration de la qualité des produits.

Bibliographie

- [1] CASTAGLIOLA P. - Evaluation of non normal Process capability indices using Burr's distributions - *QUALITY ENGINEERING* 8(4):587-593 - (1996)
- [3] CLEMENTS J.A. - Process capability calculations for non normal distributions - *QUALITY PROGRESS* - N°22 pp 95-100 - (1989)
- [4] FARNUM R.N. - Using Johnson curves to describe non-normal process data, *QUALITY ENGINEERING* 9(2) - pp329-336 - (1997)
- [5] GUIDEZ L. - MSP : Impact de la non normalité sur les indicateurs de capacité - 2^{ème} congrès Pluridisciplinaire Qualité et Sécurité de Fonctionnement - (1997)
- [6] REARN W.L. & KOTZ S. - Application of clements method for calculating second and third generation capability indices for non normal pearsonian population, *QUALITY ENGINEERING* 7(1) pp 139-145 - (1995)
- [7] CHAN L. K., CHENG S. W., SPIRING F. A. - A new measure of Process Capability : Cpm *JOURNAL OF QUALITY TECHNOLOGY*, Vol 20. (1989)
- [8] PILLET M. - ROCHON S. DUCLOS E. - Generalization of capability index Cpm - Case of unilateral tolerances - *QUALITY ENGINEERING* - Etats-Unis - 10(1), 171-176 (1997-1998)
- [9] TAGUCHI G.- *System of experimental design* - American Supplier Institute - (1987)
- [10] TAGUCHI G. ELSAYED A. HSIANG T. C. - *Quality engineering in production systems* - Mc Graw-Hill - (1989)
- [11] ROCHON S. PILLET M. COURTOIS A. - Etude de cohérence entre la fiabilité prévisionnelle et la fiabilité opérationnelle application à la conception robuste et fiable des produits - 1^{er} congrès Qualité & Sécurité de fonctionnement - Compiègne - (1994)
- [12] DUCLOS E. PILLET M. COURTOIS A. - Optimisation de la maîtrise statistique des procédés par une méthode de filtrage d'ordre - *REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUEE* - France - XLIV(2), 61-79 - (1996)
- [13] PILLET M. - *Appliquer la maîtrise Statistique des procédés (MSP/SPC)* - Edition d'organisation - 320 pages - (1996)