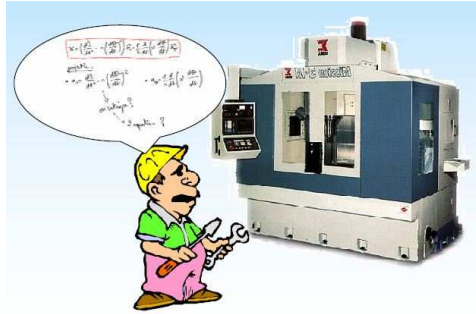


## Le tolérancement inertiel appliqué en décolletage



Mondialisation, augmentation du coût de l'énergie et des matières, pressions sur les coûts.... Les entreprises doivent évoluer dans un contexte changeant aux contraintes toujours plus grandes. Pour conforter leur place sur le marché, elles ont l'obligation de s'adapter en permanence et notamment, de réagir vite sur des dysfonctionnements qui impactent leur performance.

Le tolérancement inertiel, nouveau mode de calcul de tolérances développé par Maurice Pillet (laboratoire Symme de l'Université de Savoie) et récemment normalisé (XP E04-008 septembre 2009) sous l'impulsion du pôle Arve Industries par l'Union de Normalisation de la Mécanique (UNM) est pour les entreprises un nouvel outil de tolérancement et pilotage permettant de réduire les coûts de non qualité.

En remplacement des intervalles de tolérances traditionnels, l'inertie (I), dont la formule de calcul intègre à la fois le décentrage par rapport à la cible ( $\delta$ ) et la dispersion ( $\sigma$ ) des lots de pièces fabriquées, permet de piloter des fabrications avec un maximum de liberté pour le fournisseur tout en garantissant l'assemblage et la fonctionnalité des produits pour le client, en fonction du niveau de risque contractualisé.

Le « club tolérancement inertiel », animé par Maurice Pillet et Marc Bouix (Somfy), réunit des industriels autour du projet de recherche. Dans ce cadre ont déjà été mis en œuvre plusieurs cas industriels avec l'accompagnement d'un expert.

Cet article présente un nouveau cas dont les résultats ont été présentés lors de la dernière réunion du club.

### **Exposé du problème industriel**

Dans cet exemple, l'industriel fabrique deux pièces:

- un cylindre (Diamètre extérieur =  $6,995 \pm 0,002\text{mm}$ ),
- un alésage cylindrique (Diamètre intérieur =  $7 \pm 0,002\text{mm}$ )

Ces composants sont ensuite assemblés avec une exigence fonctionnelle de 4 à  $7\mu\text{m}$ . (d'où l'Intervalle de Tolérance sur l'Exigence Fonctionnelle  $IT_{EF} = 3\mu\text{m}$ )

Cette dernière opération demande un appairage réalisé aujourd'hui avec 5 classes par pièces car les populations produites ne sont pas centrées. L'assemblage est réalisé du premier coup 1 fois sur 3 seulement, et le taux de rendement synthétique (TRS) est de 45%.

Dans ce cas, les objectifs que s'est fixé l'industriel avec la mise en place du tolérancement inertiel sont :

- la diminution de la variabilité des caractéristiques produites sur les deux composants,
- le centrage des distributions,

- la réduction du nombre de classes d'appairage des jeux,
- la réduction des rebuts, des pertes à l'assemblage,
- l'amélioration des taux de rendements à l'assemblage.

## La démarche mise en place

La démarche mise en place s'est déroulée en plusieurs étapes :

- Formation d'une journée du responsable qualité réalisée au Centre Technique de l'industrie du Décolletage (CTDEC),
- Analyse du cas industriel avec un expert du tolérancement inertiel,
- Détermination des inerties sur les caractéristiques fonctionnelles élémentaires (CFE) à maîtriser pour chaque pièce,
- Vérifications des capacités des moyens de mesure,
- Vérifications des capacités des moyens de production,
- Mise en place d'actions d'améliorations,
- Formation des opérateurs de production,
- Mise en place de cartes de contrôles inertielles.

Avec l'objectif de minimiser les freins à l'introduction d'une innovation en atelier, l'industriel a souhaité disposer des mêmes outils habituellement utilisés par les opérateurs de production. Le logiciel (figure 1) en place de Maîtrise Statistique des Procédés (MSP) a été modifié par l'éditeur, également membre du « club tolérancement inertiel » afin d'intégrer le tolérancement inertiel et les cartes de contrôle associées.

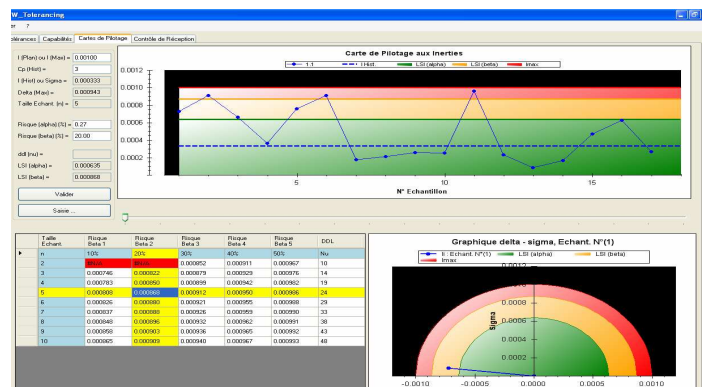


Figure 1 : extrait du logiciel de MSP inertiel

## Calcul des tolérances inertielles

La norme XP E04-008 (septembre 09) définit la formule de calcul de l'inertie maximale ( $I_{MAX}$ ) de la caractéristique fonctionnelle élémentaire (j):

$$I_{jMAX} = \beta_j \cdot \frac{IT_{EF}}{\sqrt{6 \sum_j \alpha_j^2 \cdot \beta_j^2}}$$

avec :

$IT_{EF}$  : intervalle de tolérance sur l'exigence fonctionnelle

$\alpha_j$  : coefficient d'influence



$\beta_j$  : pondération de faisabilité

Dans ce cas, les faisabilités des deux procédés étant considérées égales, on prend  $\beta=1$ .

Compte tenu de la chaîne de cotes, les coefficients  $\alpha$  des deux composants sont également égaux à 1. Le calcul de l'inertie est donc similaire pour les deux caractéristiques de la chaîne de cotes et revient à :

$$I_{MAX} = \frac{3}{6 \times \sqrt{2}} = 0,35 \mu m$$

Les spécifications à porter au plan, conformément à la norme, sont :

Diamètre du cylindre : 6,995  $^{+0,00035}_{-0,00035}$    
 Diamètre de l'alésage : 7,000  $^{+0,00035}_{-0,00035}$  

On peut constater que dans le cas où le calcul de l'intervalle de tolérance ( $IT_j$ ) traditionnel de la caractéristique fonctionnelle élémentaire aurait été réalisé au préalable en mode statistique quadratique,

$$IT_j = \beta_j \cdot \frac{IT_{EF}}{\sqrt{\sum_j \alpha_j^2 \cdot \beta_j^2}}$$

il suffisait de diviser par 6 la valeur pour obtenir celle de l'inertie maximale à mettre au plan.

Par rapport au mode arithmétique (ou pire des cas), l'intervalle de tolérance est augmenté de  $\sqrt{n}$ ,  $n$  étant le nombre de composants de la chaîne de cote.

L'inertie apporte à la production des composants un maximum de liberté dans des limites qui garantissent l'assemblage et la fonctionnalité des produits, aux risques client et fournisseur habituel et normalement contractualisé. Ce qui est gagné en dispersions ( $\sigma$ ) est perdu sur le décentrage ( $\delta$ ) autorisé et vice versa :

- Dans le cas où la distribution des valeurs des caractéristiques d'une population de pièce fabriquées est centrée, l'inertie permet alors une dispersion égale à celle obtenue en mode statistique quadratique,
- Par contre en cas de décentrage, le respect de l'inertie maximale imposera une réduction de la dispersion.

### **Mise en place des cartes de contrôle**

Plusieurs types de carte de contrôle sont applicables avec l'inertie. Le choix dépend de la capacité court terme du procédé, de la taille de l'échantillon et de la capacité long terme visée. Du choix de la carte va dépendre la contrainte mise en production ; on va plus ou moins autoriser, sous contrôle, des dérives de la moyenne en fonction de la dispersion observée. Des outils simples d'utilisation ont été développés afin de réaliser le bon choix de la carte à utiliser.

Dans le cas présenté, la carte utilisée est la carte inertielle au risque  $\alpha$  et  $\beta$  avec dérive autorisée (figure 2).

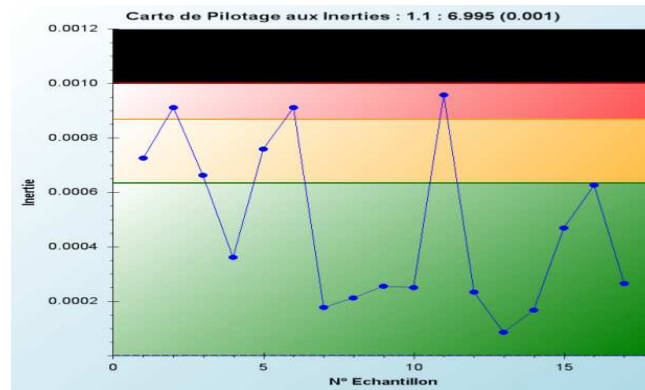


Figure 2 : carte inertielle au risque  $\alpha$  et  $\beta$  avec dérive autorisée

Dans la zone verte, avec l'hypothèse  $\sigma$  constant, le processus est centré sur la cible (au risque  $\alpha$ ). La production est maîtrisée. Aucune intervention n'est requise.

Dans la zone orange, l'inertie a dérivé par rapport à une situation sous contrôle, mais on garantit le respect de l'inertie au plan (au risque  $\beta$ ). Il n'est pas nécessaire de régler ; il faut néanmoins être vigilant.

Dès qu'un résultat de contrôle apparaît dans la zone rouge, bien que l'inertie ne soit pas au niveau du plan, on prend un risque (supérieur au risque  $\beta$ ) que l'inertie du lot ne soit pas conforme. Il est recommandé de régler la machine.

D'une manière générale, il est préférable alors de régler au plus proche de la valeur cible.

Dans d'autre cas, selon la capacité du procédé, des cartes spécifiques permettent soit de donner plus de liberté à la production soit de mieux maîtriser les dérives.

Un avantage des cartes inertielle particulièrement apprécié des opérateurs de production est leur simplicité d'utilisation, en particulier par rapport aux cartes habituellement utilisées en MSP. L'inertie mesurée sur l'échantillon est bonne ou mauvaise, nécessite un réglage ou non. Il n'y a pas de règle d'analyse des dérives. Ce côté binaire rend ainsi plus simple la prise de décision par l'opérateur de production.

## Résultats obtenus

Le pilotage des productions des deux composants à partir de cartes inertielle a permis d'améliorer la capacité long terme du procédé en améliorant à la fois le décentrage et la dispersion. Les indicateurs de capacité obtenus sont :

Indicateurs de capacité long terme	Cylindre	Alésage
$I_p = I_{MAX}/\sigma$	2,4	1,3
$I_{pi} = I_{MAX}/I$	1,8	1,2

Cela s'est traduit au niveau de l'assemblage par la réduction du nombre de classes à 3 au lieu de 5 initialement. Les performances d'assemblage ont également été nettement améliorée : 3 du premier coup sur 4 au lieu de 1 sur 3. Le TRS a été porté à 70%.

L'acceptation de l'innovation par les opérateurs de production a été totale grâce à la mise en place immédiate d'outils adaptés, à une formation adéquate, et aux avantages liés à la nouvelle méthode qui facilitent le travail (simplicité des cartes, diminution du nombre de réglages et du nombre de contrôles).

## **Conclusion**

Le pôle de compétitivité Arve industrie, réunissant dans le cadre du programme « Tolérancement et Qualité des Produits » le laboratoire Symme de l'Université de Savoie pour la recherche, le Centre Technique de l'industrie du Décolletage (CTDEC) pour le transfert vers l'industrie, et les industriels locaux, a permis en seulement quelques années d'apporter des innovations dont le tolérancement inertiel, agissant directement sur l'amélioration de la performance industrielle.

Avec le concours de l'Union de Normalisation de la mécanique (UNM) l'élaboration de normes facilite l'application industrielle en particulier dans le cadre de relation client-fournisseur.

Les décolleteurs du pôle Arve Industries parfois seuls, comme dans l'exemple ci-dessus, ou parfois accompagnés de leurs clients ont su innover à la fois pour leur productivité et celle de leur client. Le tolérancement inertiel leur a permis dans tous les exemples traités d'améliorer la qualité des composants et des produits. Les litiges entre clients et fournisseurs, les rebuts et dérogations ont été réduits.

La supply chain gagne en performance. C'est du gagnant-gagnant. Contrairement aux critères qualité actuels, la cohérence de l'inertie comme critère de qualité permet de garantir au client la qualité de l'assemblage et de la fonction recherchée au moindre coût.