



Viser la cible pour une meilleure maîtrise des procédés une meilleure qualité des produits

Maurice Pillet

► **To cite this version:**

Maurice Pillet. Viser la cible pour une meilleure maîtrise des procédés une meilleure qualité des produits. 7eme Journée des CPIM de France 1997, 1997, Paris, France. pp.CDROM, 1997. <hal-00974298>

HAL Id: hal-00974298

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00974298>

Submitted on 6 Apr 2014

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.

Viser la cible pour une meilleure maîtrise des procédés une meilleure qualité des produits

Maurice PILLET – CFPIM
Université de Savoie – Annecy
Maurice.Pillet@Univ-Savoie.fr

Dans le célèbre triplet Qualité/Délai/Prix, la gestion industrielle apporte une part très importante en travaillant sur l'organisation de la production et sur la logistique. Pour supprimer les coûts inutiles, on a cherché à supprimer toutes les opérations n'apportant pas de valeur ajoutée. L'énorme travail réalisé dans les entreprises sur cet aspect a permis de réduire de façon considérable les coûts de production en considérant le processus de production comme "intouchable". On travaillait prioritairement sur l'environnement de la production. Cette approche dans la réduction des coûts reste encore très intéressante dans de nombreuses entreprises et reste la source de nombreux progrès potentiels. Cependant, une approche complémentaire consiste à s'intéresser aux opérations qui apportent "soi-disant" de la valeur ajoutée.

Comme dans tout Pareto, lorsque les parties importantes ont été traitées, ce sont les éléments de plus faibles importances qui ressortent, aussi est-il venu le temps pour le gestionnaire industriel de se poser certaines questions :

- n'est-il pas possible d'aller au-delà en diminuant le nombre des opérations apportant soi-disant de la valeur ajoutée ?
- ne peut-on pas diminuer le coût de ces opérations par l'utilisation de moyens moins coûteux ?
- les caractéristiques demandées sur les produits sont-elles adaptées aux performances attendues sur le produit ?

Nous avons acquis la certitude que de nombreux produits sont aujourd'hui trop cher à cause de caractéristiques demandées sur les pièces élémentaires trop sévères où plutôt mal adaptées aux performances attendues sur le produit. Ces caractéristiques trop sévères entraînent l'ajout d'opérations supplémentaires telles qu'une rectification après tournage qui génèrent des coûts inutiles. La démarche cohérente de l'industriel est de mettre en place toute une démarche de conception des produits et de l'outil de production afin de satisfaire le client pour un coût minimum. Pour l'aider dans cette approche, de nombreux outils statistiques existent mais sont trop souvent utilisés isolément alors que c'est en les associant dans une démarche globale que l'on obtient des résultats probants. Nous proposons dans cette conférence de montrer l'importance de la démarche statistique dans l'approche industrielle de la qualité des produits. Plutôt que d'être appliquée comme une succession d'outils indépendants, nous montrons l'importance de la cohérence dans l'utilisation de ces outils et la transversalité inter-services qu'ils impliquent.

Première partie

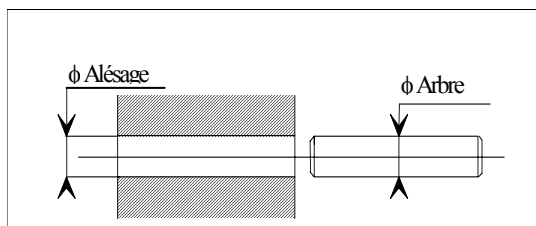
Qualité produit versus Qualité d'une caractéristique

Pour appliquer correctement la démarche statistique, il faut avoir préalablement assimilé un certain nombre de notions. La notion la plus importante sur laquelle il est utile de passer un peu de temps est la différence entre la qualité d'un **produit** et la qualité associée à une **caractéristique élémentaire**.

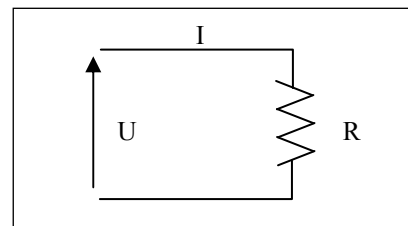
Qualité d'un produit : la notion de qualité est assez claire lorsqu'on parle de produits finis livrés aux clients. Il faut que le produit satisfasse les exigences ... longtemps.

Qualité associée à une caractéristique élémentaire : Lorsque l'on réfléchit à la notion de qualité d'une caractéristique élémentaire, par exemple une cote tolérancée sur un produit mécanique, la première idée consiste à dire : le produit est de qualité si la caractéristique est conforme au plan. Les choses sont malheureusement plus complexes, comme nous le verrons plus loin, mais comme nous n'avons pas assez réfléchi sur le sujet, nous contournerons le problème en mettant des tolérances de plus en plus serrées qui conduisent inévitablement à des coûts de production toujours plus élevés.

Pour illustrer ce propos prenons deux exemples simples en mécanique (assemblage d'un arbre et d'un alésage) et en électronique (loi d'Ohm $U = RI$).



Arbre alésage

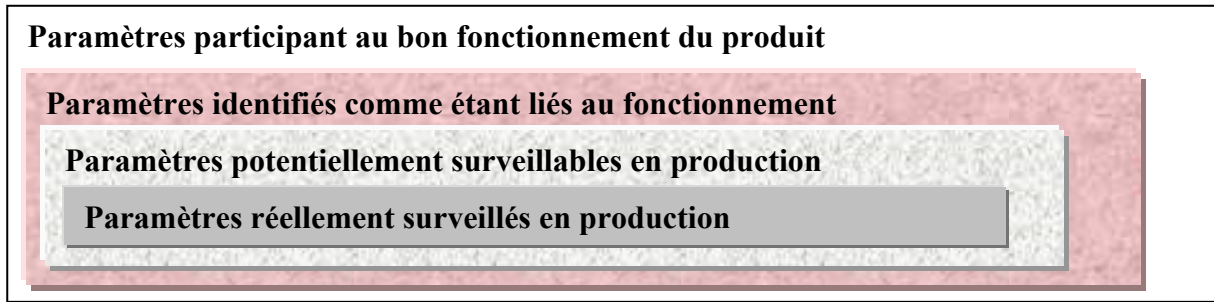


$U = RI$

- ✓ Que souhaite le client final ? Que le produit fonctionne.
- ✓ Quelles sont toutes les caractéristiques élémentaires qui participent au bon fonctionnement du produit ? De très nombreuses, on peut citer entre autres :

- Le diamètre de l'alésage
- Le diamètre de l'arbre
- La cylindricité
- La rugosité des surfaces
- La dureté
-
- La valeur de la résistance
- La résistance du fil
- La température extérieure
- L'intensité
- La qualité des soudures
-

Quels que soient les systèmes industriels, même 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 de la façon suivante :

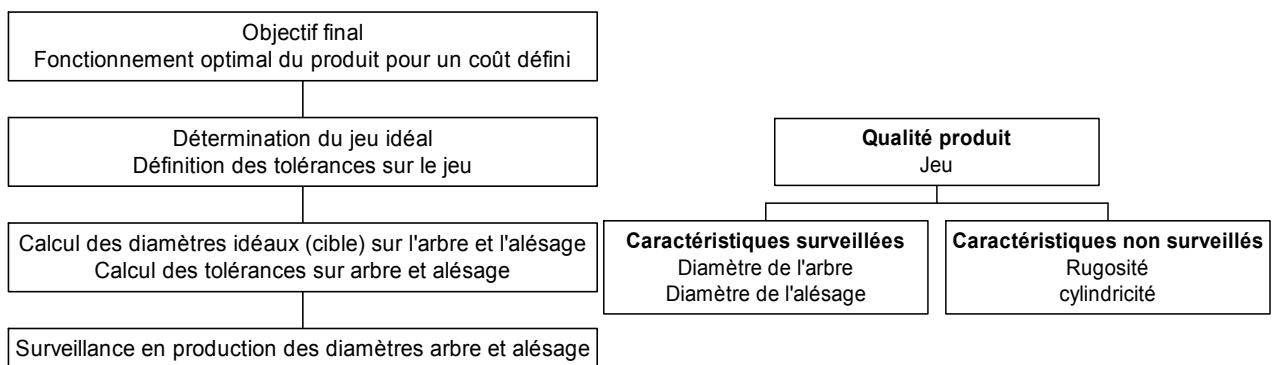


Pour assurer le fonctionnement idéal, il faudrait contrôler tous les paramètres participant au bon fonctionnement. Mais ces paramètres ne sont pas tous identifiés. Parmi les paramètres identifiés, certains ne peuvent être surveillés en production pour des problèmes de faisabilité ou de coûts. On se limite donc en règle générale au suivi de quelques paramètres considérés comme critiques afin d'assurer la qualité finale du produit qui doit bien sûr être notre seul objectif.

Dans ces conditions, quelles doivent être les bonnes tolérances de fabrication sur ces quelques caractéristiques surveillées ? Comment interpréter ces tolérances ?

La démarche traditionnelle consiste à fixer des tolérances à partir de normes ou de l'expérience des concepteurs, et de considérer la caractéristique acceptable si elle est dans ces tolérances, inacceptable si elle est en dehors des tolérances. Nous pensons que cette démarche est restrictive et que nous devons faire évoluer cette approche.

Prenons le cas de l'assemblage de l'arbre avec l'alésage. Le produit fonctionnera correctement si le jeu entre l'arbre et l'alésage est égal à la cible recherchée. Pour obtenir cette cible, on fixe sur l'arbre et sur l'alésage des diamètres tolérancés calculés en fonction de l'intervalle de tolérance souhaité sur le jeu. Mais ce fonctionnement ne sera idéal que si les autres critères non surveillés comme la rugosité, la cylindricité reste dans des limites raisonnables. On a donc le schéma suivant :



Considérons maintenant trois situations :

- Lorsque l'arbre est au maxi et l'alésage au mini, ces caractéristiques sont acceptables. Pourtant, supposons que des paramètres non surveillés comme la cylindricité, la rugosité ou la dureté sont également en limite, le fonctionnement du produit fini sera dégradé, la qualité ne sera plus assurée.
- Considérons dans un second cas l'alésage placé sur la cible. Le jeu est plus proche du jeu idéal, et la qualité du produit pourra être assurée même si les caractéristiques non surveillées sont défavorables.

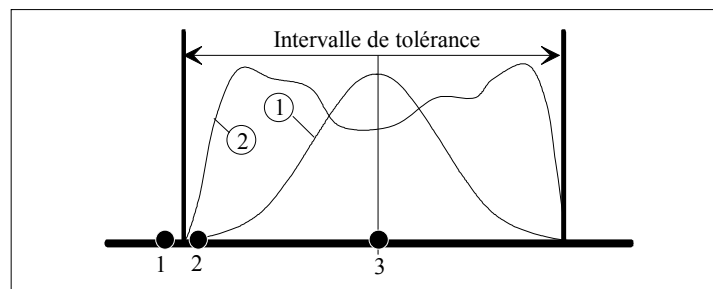
- Supposons maintenant que l'arbre et l'alésage sont tous les deux sur leurs cotes cibles. Le jeu serait alors idéal, et le produit pourrait alors "encaisser" des paramètres non surveillés en limite.

La qualité des produits est souvent (pour ne pas dire toujours) une combinatoire de plusieurs caractéristiques élémentaires. Si on veut se concentrer sur la qualité des produits, il faut se concentrer sur cette combinatoire qui amène naturellement la notion de cible.

Un principe incontournable : viser la cible

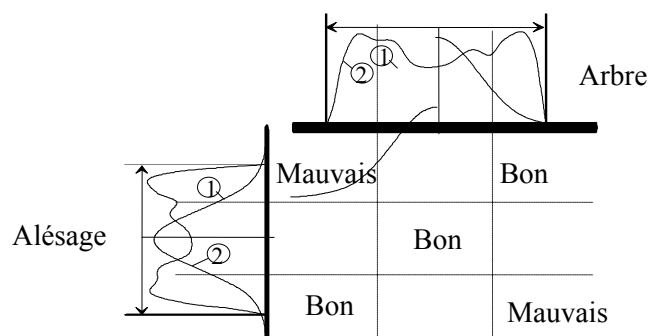
Dans la plupart des entreprises, nous considérons qu'un produit est bon à l'intérieur des tolérances, mauvaise à l'extérieur, sans différence de nuance. En suivant ce raisonnement, un système de tri automatique éliminant systématiquement les pièces hors tolérances permettrait d'obtenir une production considérée comme parfaite.

Sur la figure ci-dessous, nous avons représenté trois pièces : 1, 2 et 3. Les pièces 2 et 3 sont dans l'intervalle de tolérance. La pièce 1 est hors intervalle de tolérance. Or, d'un point de vue fonctionnel, il y a probablement peu d'écart entre la pièce 1 et la pièce 2.



Nouvelle façon de voir l'intervalle de tolérance

Considérons maintenant, les deux répartitions ① et ②. La répartition ① bien centrée, en forme de cloche, génère un certain pourcentage de pièces non conformes. La répartition ② répartie sur l'ensemble de l'intervalle de tolérance ne génère pas de pièce non conforme grâce à un système de tri efficace.

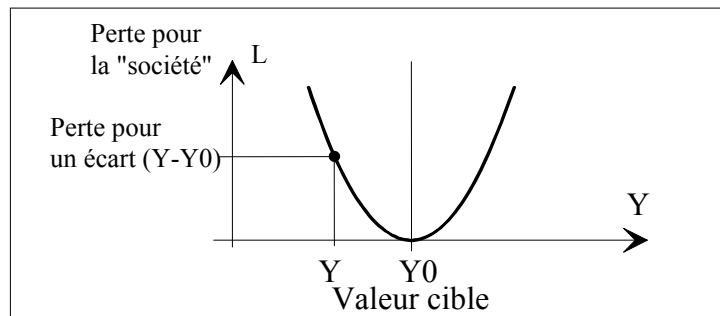


Assemblage Arbre/Alésage.

Dans le cas de l'assemblage précédent, quelle est la répartition préférable pour l'arbre et l'alésage ?

Le raisonnement traditionnel conduit à choisir la répartition ② car toutes les pièces sont conformes. Le raisonnement statistique conduit à choisir la répartition ① pour l'alésage et l'arbre. En effet, si l'arbre et l'alésage sont produits selon la répartition ①, la probabilité d'assembler un arbre fort avec un alésage faible est presque nulle. En revanche, dans le cas de la répartition ②, la probabilité d'assembler un arbre fort avec un alésage faible est très importante.

En fait, la "perte" due à l'écart d'une caractéristique par rapport à une valeur nominale n'est pas nulle à l'intérieur de la tolérance et infinie à l'extérieure. TAGUCHI définit la fonction perte comme étant une fonction du second degré si la caractéristique être centrée sur une cible.



Fonction perte de TAGUCHI

La fonction perte s'exprime par $L = K (Y - Y_0)^2$ avec :

K : une constante qui dépend du problème posé

Y_0 : valeur cible recherchée

Y : valeur prise par la caractéristique

Il est donc nécessaire de faire évoluer notre raisonnement en matière d'intervalle de tolérance et nous pouvons déjà conclure : 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**, de dispersion la plus faible possible.

La notion importante qui apparaît ici est la notion de cible. La cible est très souvent le milieu de la tolérance, mais ce n'est pas toujours le cas. Ce qui est important c'est que tout le monde soit d'accord sur cette cible. Il n'est pas normal de mettre sur un plan simplement un mini et un maxi. Un plan d'atelier devrait comporter en gros la cible qui a été définie consensuellement entre tous les services concernés.

En visant la cible sur les caractéristiques surveillées, on rendra le produit **robuste** par rapport à toutes les caractéristiques non surveillées mais qui fluctuent quand même. Nous pouvons résumer les principes essentiels de la cible par :

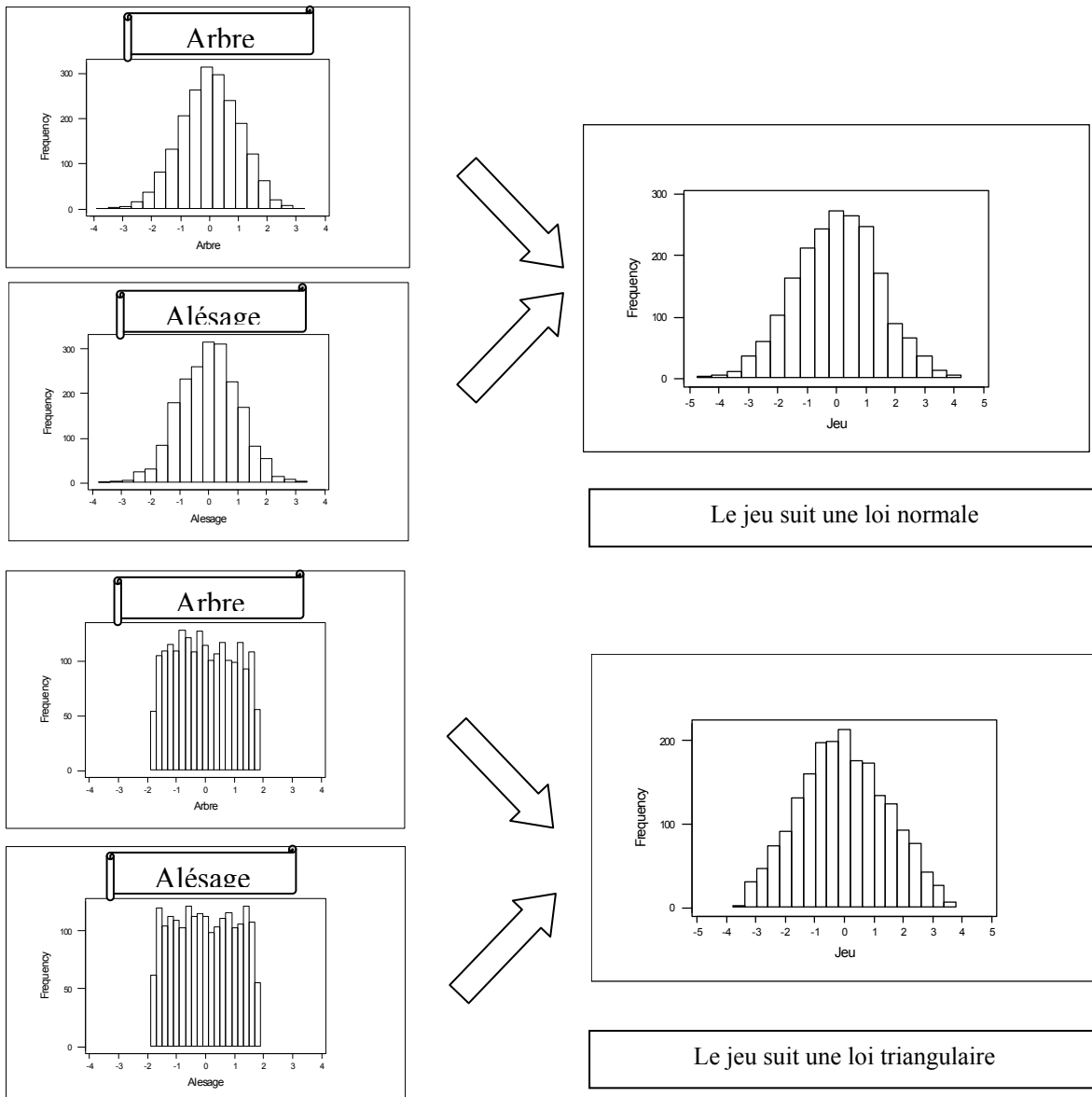
- Chaque caractéristique surveillée en production doit avoir une cible parfaitement définie.
- La cible représente le niveau idéal de la caractéristique. Tous les opérateurs doivent s'efforcer de centrer le procédé sur cette cible.
- La cible doit être définie consensuellement entre tous les services concernés
- La cible doit apparaître clairement sur les plans de fabrication

- Les services de production doivent utiliser les outils de la Maîtrise Statistique des Procédés pour satisfaire le centrage du procédé sur cette cible.

Etude de la combinatoire entre plusieurs caractéristiques

Cas de deux caractéristiques

Pour bien montrer l'importance fondamentale de la cible, étudions la façon dont ces deux caractéristiques se combinent dans différents cas de figure de même moyenne (0) et de même écart-type (1).



Combinatoire de deux caractéristiques

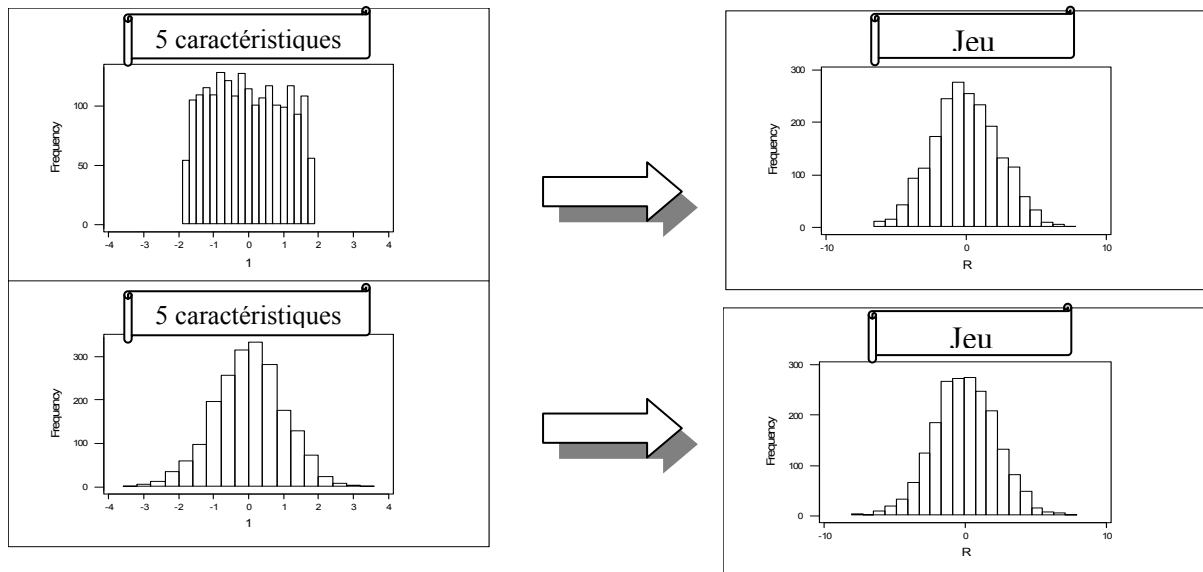
On le constate, le résultat sur le jeu est sensiblement identique alors que les répartitions initiales sur les caractéristiques élémentaires sont très différentes.

Conclusion : la répartition finale sur la caractéristique produit dépend principalement de la moyenne et de l'écart-type des caractéristiques élémentaires, et dans une moindre mesure de leur répartition.

Etude de la combinatoire dans le cas de cinq caractéristiques

En fait, il faudrait considérer non seulement les caractéristiques surveillées, mais également les caractéristiques non contrôlées. Pour cela observons la combinaison de cinq caractéristiques indépendantes centrées sur leur cible dans deux cas de répartition :

- La première où tous les éléments ont une répartition uniforme
- La seconde où tous les éléments ont une répartition de Gauss

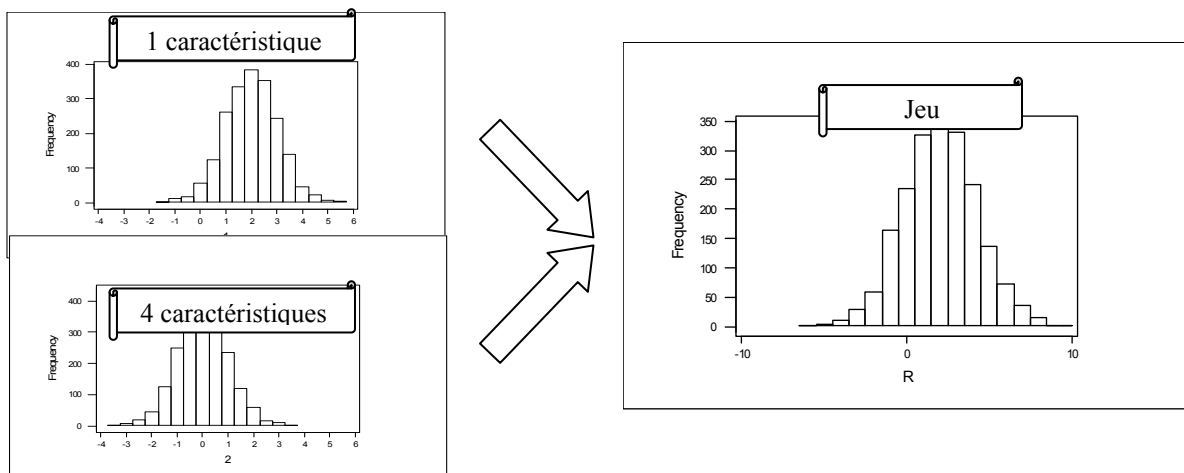


Combinatoire de cinq caractéristiques

Conclusion : la répartition finale sur la caractéristique produit dépend principalement de la moyenne et de l'écart-type des caractéristiques élémentaires, et **très peu de leur répartition**

Etude de l'influence du décentrage :

Dans tous les cas précédents, nous avons considéré que chaque caractéristique était centrée sur la cible. Dans le cas où une des caractéristiques élémentaires est décentrée, la caractéristique produit subit de plein fouet ce décentrage. La figure ci-dessous montre l'importance d'un décentrage d'une caractéristique.



Influence du décentrage

En conclusion

La qualité finale du produit exige un centrage absolu des caractéristiques élémentaires.

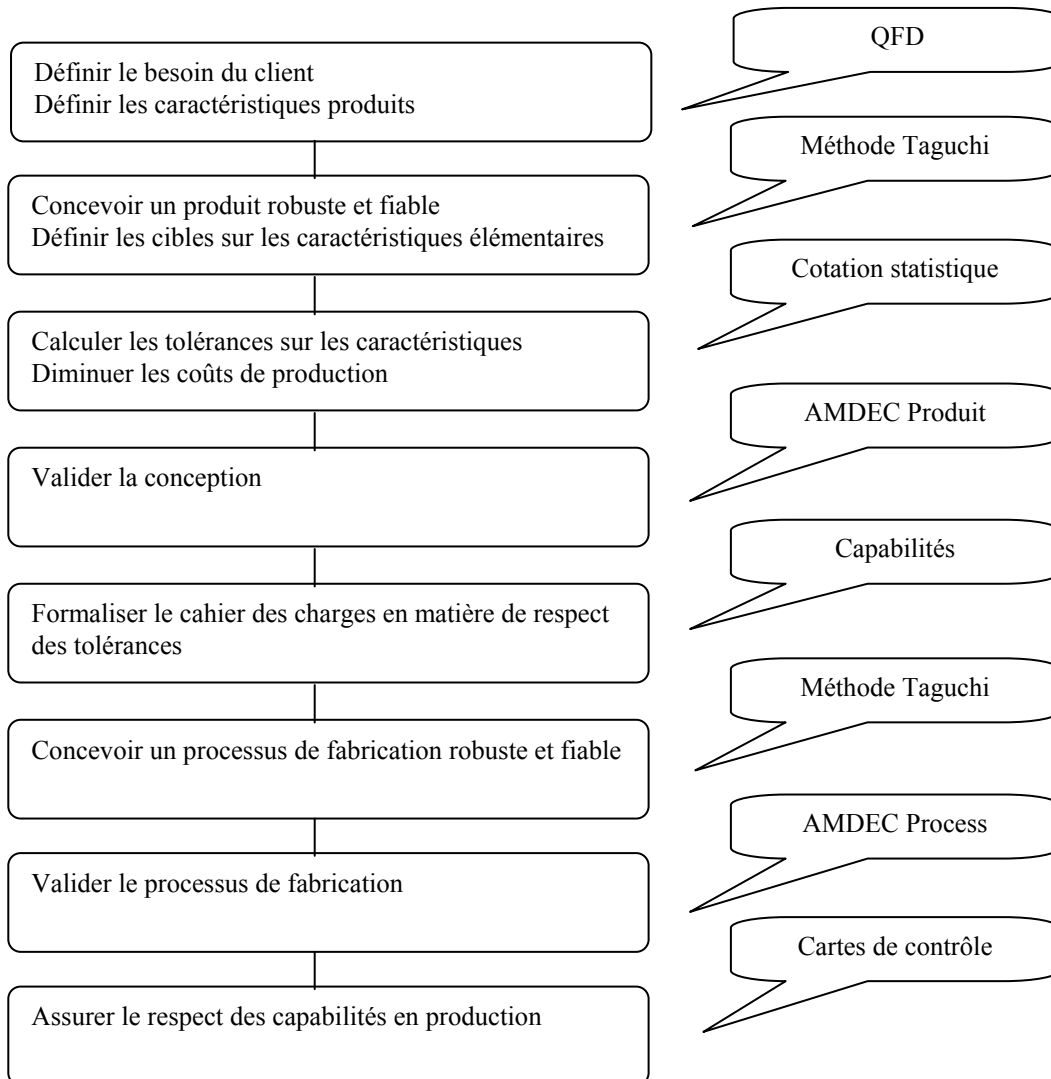
L'objectif final de tout industriel est de livrer des produits de qualité pour un prix minimum. On a vu par cette petite étude que pour atteindre cet objectif, il fallait s'intéresser à la combinatoire des caractéristiques élémentaires. Cette étude a montré l'importance du centrage des caractéristiques sur une valeur cible, et la pertinence de deux critères fondamentaux : la moyenne et l'écart-type des répartitions.

La Maîtrise Statistique des procédés permet à partir de deux outils fondamentaux (le carte de contrôle, l'étude des capacités) de suivre ces objectifs. Ces outils ne seront appliqués correctement que si les notions que nous venons d'exposé sont parfaitement comprises par l'ensemble du personnel.

Seconde partie

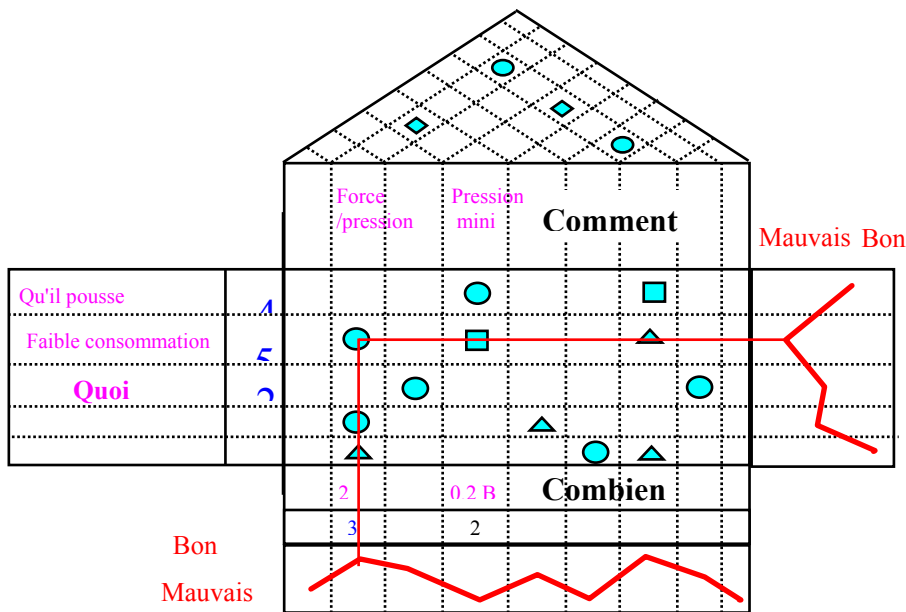
La démarche statistique pour atteindre la qualité des produits

La démarche statistique se propose de répondre de manière cohérente à toutes les questions que nous avons soulevées dans la première partie de notre conférence. En s'appuyant sur des outils souvent connus mais pas toujours très bien utilisés, cette démarche donne une cohérence dans la recherche de la qualité. Nous préciserons l'apport de ces outils pour satisfaire les exigences que nous avons évoquées. Le schéma ci-dessous montre l'enchaînement logique de leur utilisation.



C'est par l'utilisation conjointe de tous ces outils dans une démarche globale que l'on pourra intégrer l'aspect combinatoire des caractéristiques élémentaires et ainsi diminuer considérablement les coûts en augmentant considérablement les tolérances de fabrication.

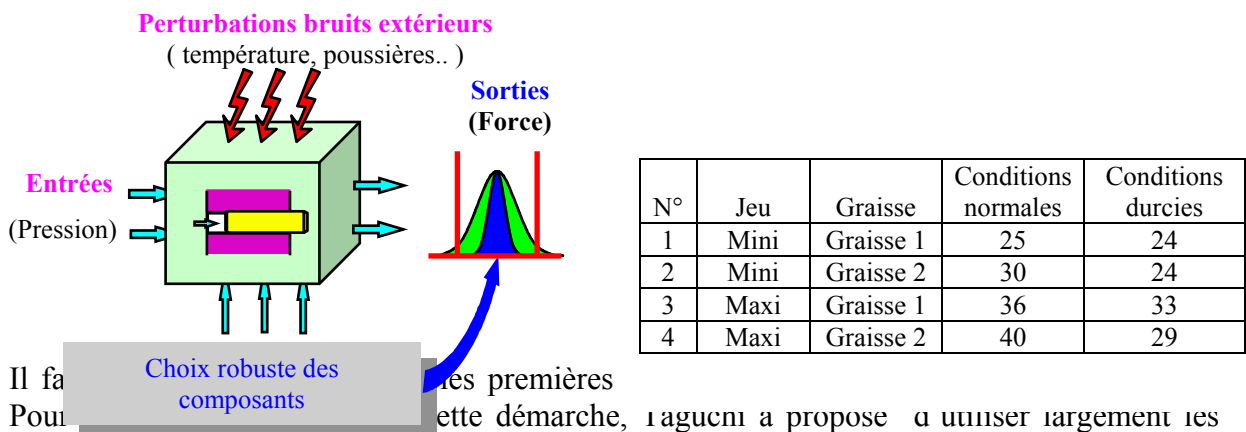
Partir du besoin du client - QFD



Une démarche globale part nécessairement du besoin du client. C'est ce besoin qui doit être formalisé et mis en forme pour en déduire les caractéristiques essentielles attendues par le client. Cette première étape est largement aidée par un outil connu mais trop peu utilisé le QFD. La matrice QFD oblige les services concernés par la conception des produits à connaître parfaitement les besoins des clients, de les hiérarchiser, et de connaître l'évaluation des produits de la société par rapport à la concurrence. Elle permet également de vérifier que les caractéristiques techniques définies sur le produit sont à même de garantir la satisfaction du client. Le QFD représente les fondations de la démarche statistique.

Développer un produit robuste – Démarche Taguchi

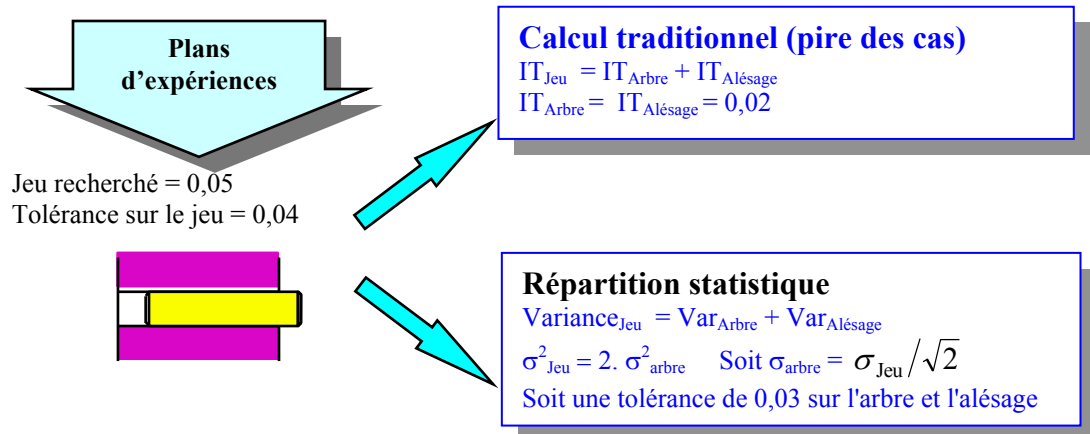
Partant du besoin du client, formalisé par le QFD, le bureau d'étude se doit de développer un produit **robuste** capable de fonctionner dans toutes les conditions, et étudié de manière à être fabriqué à moindre coût. Dans la démarche traditionnelle de conception, le concepteur développe son produit, le met au point dans des conditions normales de laboratoire, puis valide cette conception par un test de fiabilité. Mais c'est souvent trop tard, les choix fondamentaux de conception sont faits, et il n'est plus possible de modifier en profondeur le produit. On a alors recours au célèbre "emplâtre sur une jambe de bois" qui pénalisera les performances et le coût du produit tout au long de sa vie.



"plans d'expériences produits" qui permettent de trouver un point de fonctionnement robuste c'est-à-dire capable de fonctionner quelles que soient les conditions extérieures.

Faire un produit qui fonctionne, c'est facile. Faire un produit qui fonctionne longtemps, c'est plus difficile. Pour assurer cette fiabilité, on doit intégrer cette notion de temps dès les premières phases de l'étude. Pour cela, on peut donner une dimension orthogonale supplémentaire aux plans produits en intégrant le temps.

Elargir les tolérances – cotation statistique



La **cotation statistique** permet d'augmenter considérablement les tolérances afin de permettre une fabrication à un coût plus faible. Cette cotation tient compte de la combinatoire des caractéristiques élémentaires. Dans l'exemple ci dessus, le passage de la cotation traditionnelle à la cotation statistique permet de multiplier par 1,414 les tolérances de fabrication. Cependant, l'utilisation de ce type de cotation peut être dangereuse si on ne valide pas ce calcul par des exigences en matière de capabilité et de centrage. Cet outil doit être largement utilisé pour diminuer les coûts de production, mais en prenant garde à bien appliquer les étapes suivantes pour garantir le respect des hypothèses de centrage et de dispersion.

Valider la démarche de conception – AMDEC

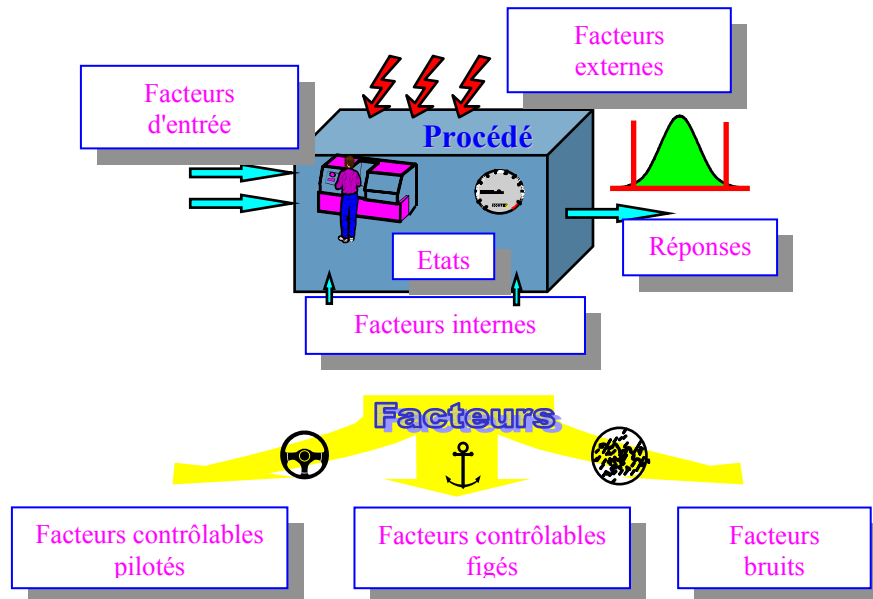
Toute démarche doit avoir un rebouclage, c'est l'objectif de l'AMDEC qui permet de vérifier si la conception du produit permet d'assurer sans défaillance les fonctions attendues du produit. Bien que n'étant pas spécifiquement un outil statistique, l'AMDEC trouve toute sa place dans la démarche et en est un point essentiel.

Une nouvelle vision des tolérances – capabilités

Cette nouvelle approche dans la conception implique une nouvelle vision de l'intervalle de tolérance qui n'est plus fondée sur le pourcentage de pièces non conformes mais sur l'écart moyen par rapport à la cible et sur une «**fonction perte**». Cette nouvelle vision implique une nouvelle définition des **capabilités** avec de nouveaux indicateurs tels que le **Cpm**. Contrairement aux indicateurs classiques, le Cpm est lié à la qualité des produits plus qu'à la

qualité de la caractéristique considérée. Il inclut la dimension combinatoire et intègre la notion de cible.

Concevoir un processus de fabrication robuste et fiable



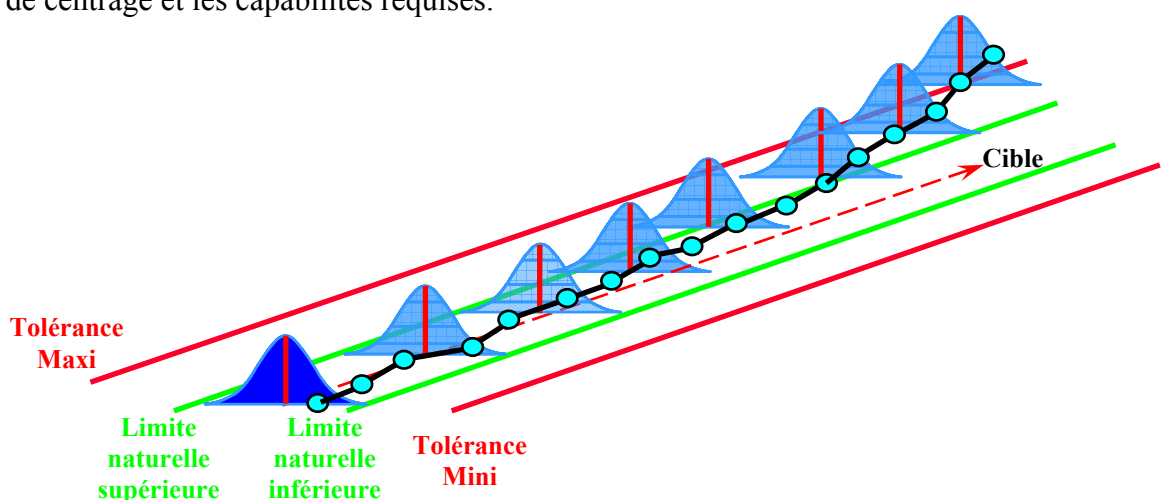
Les services d'industrialisation doivent définir des processus de fabrication capables de satisfaire ces nouveaux indicateurs de capacité. Pour cela ils doivent concevoir des processus de fabrication robustes et pilotables par une approche méthodique dans la classification des différents paramètres de pilotage. On doit être capable en utilisant la méthodologie Taguchi de dissocier :

- les facteurs contrôlables pilotés qui sont modifiables par l'opérateur (un ou deux maxi) ;
- les facteurs contrôlables figés qui sont fixés afin d'obtenir la robustesse du processus face aux facteurs bruits.

Là encore les plans d'expériences ainsi que la fonction perte seront d'une grande utilité.

Garantir la qualité des productions – SPC

Enfin, pour garantir la qualité des productions, les services de fabrication doivent utiliser des outils de pilotage de la production tels que les cartes de contrôle afin de satisfaire les conditions de centrage et les capacités requises.



Conclusion

Depuis fort longtemps, les outils statistiques ont été utilisés dans nos entreprises. Cependant trop peu d'entreprises ont intégré ces outils dans une véritable culture industrielle. En laissant à quelques spécialistes la maîtrise de l'utilisation, nous n'avons pas su suffisamment démocratiser l'utilisation des statistiques dans nos entreprises. Heureusement, grâce à quelques gros donneurs d'ordres de l'automobile et de l'électronique, quelques avancées importantes ont été faites notamment avec le SPC, l'AMDEC, et un peu les plans d'expériences.

Il reste cependant à transformer l'essai en donnant une cohérence à l'utilisation de tous ces outils, et en intégrant tous les acteurs de l'entreprises depuis le marketing jusqu'au service après vente. Et pour cela, commençons à faire prendre conscience aux bureaux d'étude que le SPC n'est pas un outil réservé aux services de production !

Bibliographie

Peace G.

Taguchi methods - Addison wesley - 1993

Pillet M.

Appliquer la Maîtrise Statistique des procédés - édition 1997 - Les éditions d'organisations – 1997

Pillet M.

Les plans d'expériences par la méthode Taguchi – Edition 1997 – Les éditions d'organisation - 1997

Pillet M. – Rochon S. – Duclos E.

SPC - Generalization of capability index Cpm - Case of unilateral tolerances
Quality Engineering - 1997

Rochon S. - Pillet M. - Courtois A.

Méthode de calcul de fiabilité prévisionnelle associant plans d'expériences et jugements d'experts -
2^{ème} congrès Qualité - Anger 1997

Taguchi G.

On-line and off-line Quality control system - conférence - Tokyo 1978

Taguchi G.

System of experimental design (tome I et II) - Unipub/Kraub - 1987

Taguchi G. - Konishi S.

Orthogonal arrays and linear graph - American Supplier Institute Press - 1987

Taguchi G. - Elsayed A. - Hsiang T.

Quality Engineering in production system - Mc Graw-Hill international - 1989

Kowk-leung Tsui

Interprétation of process capability indices and some alternatives - Quality Engineering
9(4), 587-596 (1997)