

PHILOSOPHIE DU RAPPORT SIGNAL/BRUIT Un indicateur de performance industrielle

(Résumé de mon intervention du 19/11/99 au CNAM)

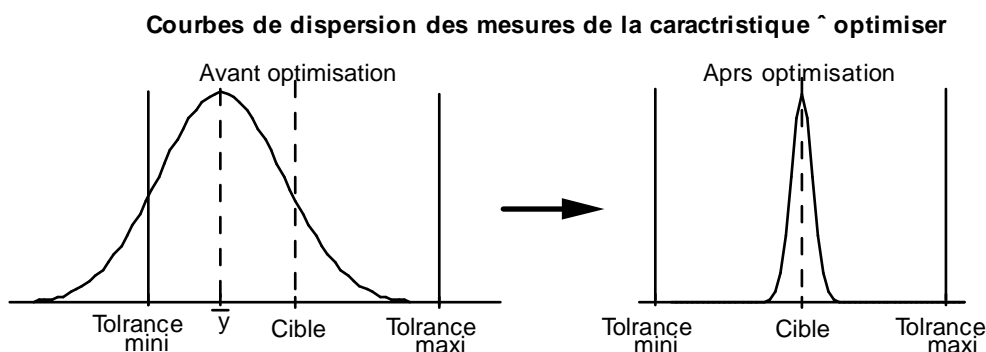
L'instabilité des valeurs des caractéristiques fonctionnelles et/ou dimensionnelles des produits fabriqués industriellement, est le problème le plus fréquent et le plus difficile que cherchent à combattre tous les ingénieurs et techniciens, quels que soient les domaines technologiques.

Les causes d'instabilité peuvent être multiples, mal identifiées. Elles sont généralement impossibles à éradiquer : variabilité des caractéristiques chimiques, cristallines, mécaniques, électriques,... des matières premières et des composants utilisés, variabilité des conditions d'environnement (température, hygrométrie, pression atmosphérique,...), variabilité de la tension d'alimentation en énergie électrique, etc.... Ces causes parasites sont dénommées *facteurs bruits*

L'instabilité d'un processus est, de loin, ce que les ingénieurs et techniciens savent le moins bien combattre, car il est illusoire de chercher à éliminer la plupart des facteurs bruits, sous peine d'accroître considérablement les coûts de production.

Pour optimiser la performance d'un processus de fabrication, il faut donc *systématiquement*, pour chacune des caractéristiques dimensionnelles, fonctionnelles,... qu'il doit respecter, minimiser *solidairement* :

- la dispersion des valeurs individuelles mesurées, par rapport à leur valeur moyenne \bar{y} et
- l'écart entre cette valeur moyenne \bar{y} et la valeur cible à atteindre.



Au lieu de chercher à éliminer ces causes parasites, ce qui est souvent économiquement inenvisageable, la stratégie consiste à identifier les valeurs des paramètres contrôlables, qui réduisent leur impact.

La recherche des « *bonnes valeurs* » à donner aux paramètres contrôlables s'effectue à l'aide d'un plan d'expériences, afin que le processus à optimiser :

- respecte les caractéristiques dimensionnelles et/ou fonctionnelles désirées,

- soit « robuste », c'est-à-dire insensible aux facteurs bruits.

Lors d'une expérimentation, il y a deux méthodes pour apprécier objectivement l'instabilité des résultats due aux facteurs bruits :

- prendre en compte, sur une période de fonctionnement suffisamment longue, l'environnement bruit naturel inhérent à tout système,

ou

- identifier certains facteurs bruits particuliers, *exceptionnellement simulés pendant l'expérimentation*, et utiliser la technique des plans produits Taguchi.

A partir des mesures des échantillons, régulièrement prélevés pendant chacun des essais du plan d'expériences, on calcule pour chacun des paramètres contrôlables testés, leurs deux types d'effets sur :

- la moyenne arithmétique des valeurs mesurées de chaque caractéristique,
- la variabilité des valeurs individuelles par rapport à leur moyenne arithmétique, exprimée par leur écart type.

Autrement dit, *en plus de l'exploitation classique traditionnelle des valeurs moyennes des mesures, il faut également effectuer un traitement identique avec un indicateur de variabilité.*

En tant qu'indicateur de variabilité, l'utilisation directe des écarts types présente plusieurs inconvénients :

- La valeur d'un écart type ne signifie rien par elle-même. Elle doit toujours être relativisée par rapport à la moyenne des valeurs mesurées (*cf.* l'exemple du joueur de golf).
- Lors de l'optimisation solidaire et simultanée de plusieurs caractéristiques (cas très fréquent), comment arbitrer objectivement entre des écarts types de valeurs et de natures très disparates (dimensions géométriques, défauts d'aspect, force de traction,...) ?

C'est pour pallier ces inconvénients, que le concept d'un indicateur appelé « rapport Signal sur Bruit » a été imaginé (appelé aussi Ratio Signal/Bruit et noté S/N (comme Signal on Noise)).

Par exemple, pour un critère ciblé dont les valeurs sont toujours positives, le cœur de la formule de calcul du rapport Signal sur Bruit est le rapport :

« moyenne des mesures » divisé par leur « écart type ».

Son principal intérêt est de relativiser l'écart type par rapport à la moyenne. Il exprime bien que la robustesse à l'instabilité est d'autant meilleure que l'écart type est faible par rapport à la moyenne.

Les formules de calcul, adaptées pour les différents types de critères (ciblé avec valeurs toutes positives, ciblé avec valeurs positives et négatives, à minimiser, à maximiser, dynamiques), sont toutes établies dans le même esprit : *plus la performance tend vers la cible visée et plus sa variabilité est faible, plus grande est la valeur algébrique du rapport Signal sur Bruit.*

Quelques artifices mathématiques (utilisation des logarithmes, valorisation en décibels, effets des facteurs exprimés en % de contribution,...) facilitent la recherche du meilleur compromis lors de l'optimisation simultanée de plusieurs caractéristiques.

La valeur d'un rapport Signal sur Bruit a peu de signification utile par elle-même ! *Seule la connaissance de son évolution est importante pour rechercher la combinaison des valeurs des paramètres contrôlables qui la maximisera, afin de minimiser l'instabilité des résultats.*

Le rapport Signal sur Bruit est seulement un indicateur de performance, utilisé pour apprécier de façon raisonnablement objective la robustesse d'une caractéristique aux variations non maîtrisables des facteurs bruits. Il ne faut surtout pas lui attribuer une analogie quelconque avec des techniques statistiques orthodoxes !

En fonction de leurs effets, les facteurs d'une expérimentation se répartissent grossièrement dans les quatre catégories suivantes :

Catgorie	Effet sur la valeur de la caractristique	Effet sur la variabilit de la caractristique
1	oui	oui
2	non	oui
3	oui	non
4	non	non

Pour optimiser efficacement une caractéristique, la démarche pratique consiste alors à :

- 1- Choisir les niveaux des facteurs des catégories 1 et 2, qui procurent des contributions positives du rapport Signal sur Bruit, puis, si c'est nécessaire,
- 2- Choisir parmi les facteurs des catégories 3 et 1, les niveaux qui permettent d'ajuster la moyenne sur la cible, et enfin,
- 3- Choisir les niveaux des facteurs de la catégorie 4 en fonction de critères économiques.

Cette démarche systématique est simple, claire, et s'avère extrêmement puissante.

Enfin, un plan d'expériences est un outil de traitement de l'information !

De façon absolument générale, dans tous systèmes de traitement, la qualité des résultats obtenus dépend davantage de la pertinence et de la précision de la valorisation des données d'entrée, que de la sophistication mathématique, technologique,... plus ou moins raffinée de l'outil de traitement.

C'est pourquoi, dans mes interventions, j'insiste toujours sur la primauté des choix corrects :

- des caractéristiques à optimiser, et des modalités de mesure des résultats obtenus,
- des facteurs et de leurs valeurs, à tester,

pour vraiment assurer le succès d'un plan d'expériences.

Ceci mériterait sans doute un développement complémentaire...

Jacques ALEXIS