

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS DE L'EXPÉRIMENTATION « eeeeeee »

Préparation de la réunion du xx/yy/20zz

1. Rappel de l'objectif et des modalités d'un plan d'expériences Taguchi

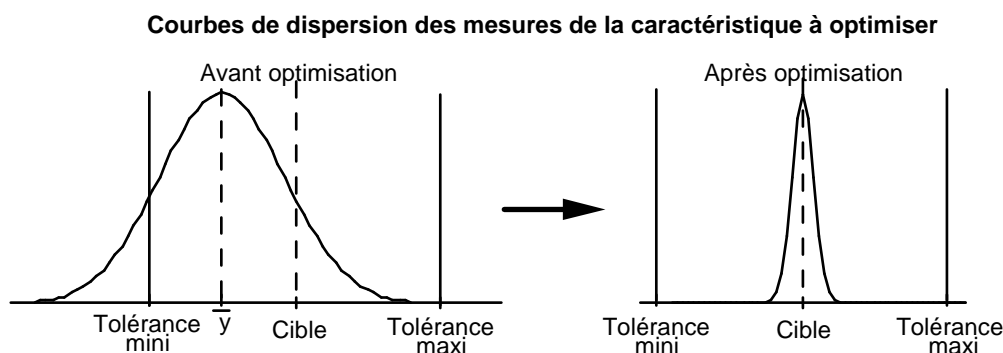
L'instabilité des valeurs des caractéristiques fonctionnelles et/ou dimensionnelles des produits fabriqués industriellement, est le problème le plus fréquent et le plus difficile que cherchent à combattre tous les ingénieurs et techniciens, quels que soient les domaines technologiques.

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.

A partir des mesures des échantillons, régulièrement prélevés pendant chacun des essais du plan d'expériences, on calcule pour chacun des paramètres contrôlés 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.

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 (largeur, poids, épaisseur) ?

C'est pour pallier ces inconvénients, que le concept d'un indicateur appelé « ratio Signal/Bruit » (**S/N**) a été imaginé.

Pour les toutes les caractéristiques à optimiser, le cœur de la formule de calcul du ratio Signal/Bruit est le rapport :

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

On voit ainsi que *plus la performance tend vers la cible visée et plus sa variabilité est faible, plus grande est la valeur algébrique du ratio Signal/Bruit.*

Pour chacun des essais du plan d'expériences, on calcule pour chacune des caractéristiques à optimiser :

- la valeur moyenne obtenue (largeur, poids, épaisseur,...),
- le ratio Signal/Bruit (**S/N**).

À partir de ces deux types de résultats, on calcule ensuite les effets individuels respectifs des 11 facteurs testés (cf. document « Protocole V6 » du 29/06/2006) :

- % Contribution **S/N** (dB)
- Effet sur la valeur mesurée

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

Catégorie	Effet sur la valeur de la caractéristique	Effet sur la variabilité de la caractéristique
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 ratio Signal/Bruit (**S/N**), puis, si c'est nécessaire,
- 2- Choisir parmi les facteurs des catégories 3 puis 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.

2. Objectifs du plan

2.1 Exploitations des données

Le but de ce plan était d'identifier et de hiérarchiser les n facteurs de fabrication retenus quant à leur origine possible pour minimiser la variabilité des p caractéristiques :

- Caractéristique n : ...
- ...

On rappelle que les résultats de l'essai N°1, où tous les facteurs ont été réglés aux valeurs les plus défavorables, était censé garantir la bonne réalisation de l'ensemble du plan.

Les p essais ont été réalisés sans problème et les mesures prévues ont été obtenues.

2.2 Principe général d'exploitation

Tableau des facteurs et de leurs niveaux

2.3 Exploitation de la variance

La première analyse porte sur la variance. Le tableau ci-dessous présente les résidus c'est-à-dire le % de variance non expliqué par tous les facteurs, plus ce % est faible, plus le diagnostic (le choix des facteurs et leurs niveaux) a été judicieux.

Les résidus sont assez faibles pour toutes les caractéristiques : → **les facteurs expliquent les variations observées.**

Tableau d'analyse de variance selon les facteurs et le résidu :

2.4 Exploitation de l'effet des facteurs sur la dispersion (S/N ratio signal sur bruit)

Le tableau ci-après présente les valeurs de ratio signal sur bruit.

Rappel plus la valeur du S/N est élevée : plus la dispersion est faible.

Les résultats sont exprimés en % de ratio S/N en + ou en – par rapport à la moyenne des essais, cela permet donc de juger de l'importance de chaque facteur sur la maîtrise de la dispersion : plus le nombre est grand (en comparaison des autres facteurs) plus le facteur a de l'influence.

Tableau des effets :

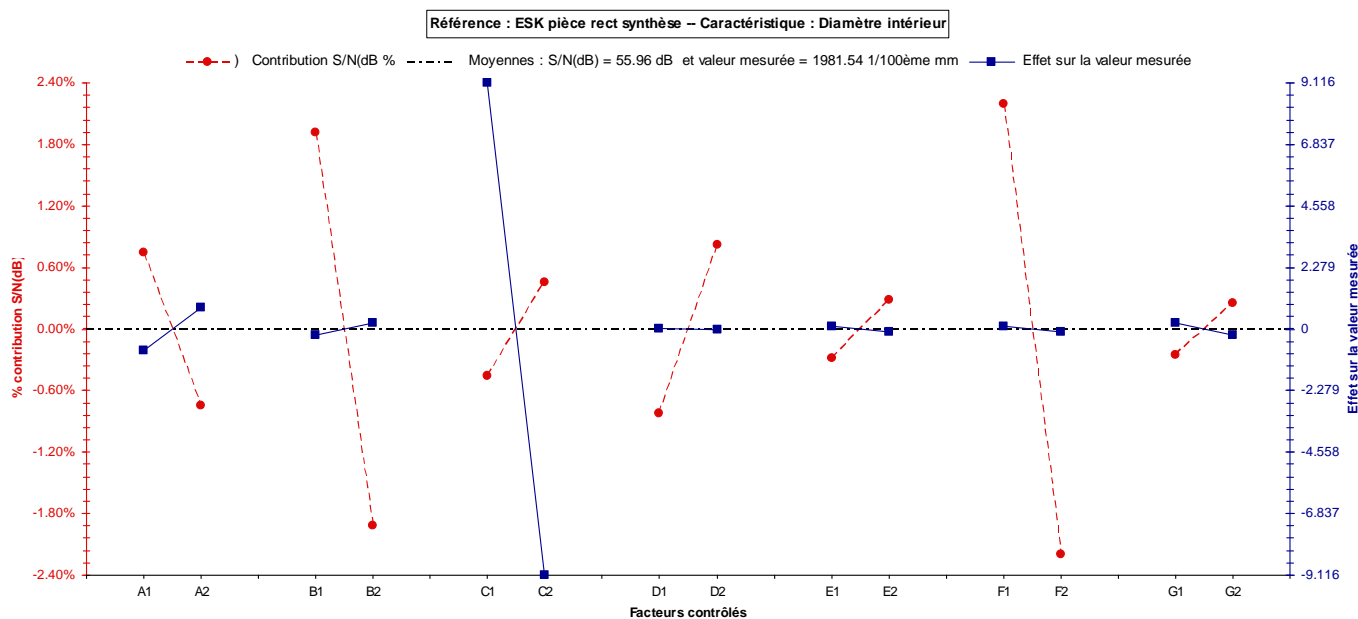
2.5 Exploitation de l'effet des facteurs sur la valeur des caractéristiques

La troisième analyse porte sur la valeur des effets de chaque facteur sur les caractéristiques. Le tableau ci-après présente les valeurs des effets en + ou en – par rapport à la moyenne des essais.

Tableau des effets :

2.6 Présentation graphique des résultats et optimisation proposée

Exemple de graphe :



La configuration optimale pour les 6 caractéristiques confondues pour minimiser la dispersion serait celle-ci :

A1 B1 C2 D2 E2 F1 G2

Dans le tableau suivant vous avez, dans chaque case à l'intersection de la caractéristique choisie et du facteur retenu avec le niveau proposé, à gauche : le % de ratio S/N (+ ou – par rapport au S/N moyen mentionné en bas du tableau) et à droite : l'effet en valeur (+ ou – par rapport à la valeur moyenne non mentionnée). Les valeurs des caractéristiques théoriquement obtenues par cette configuration optimale sont mentionnées sur la dernière ligne du tableau et les écarts type attendus sont mentionnées sur la première ligne du tableau.

OPTIMISATION PROPOSEE N°1

Référence expérimentation
pièce rect synthèse

Ecart type théorique résultant : 2.93 2.04 0.92 3.02 1.42 2.14

N°	Facteur contrôlé	Niv	% Contribution S/N(dB) & Effet sur la valeur mesurée					
			Diamètre extérieur	Diamètre intérieur	Hauteur	Circularité	Concentricité	Densité à cuit
A	Sabot	1	0.84%	0.75%	2.34%	4.53%	3.91%	-1.19%
			-0.80	-0.79	0.20	-0.53	-0.36	-0.15
B	Cadence	1	1.22%	1.92%	-2.20%	7.57%	-0.19%	-0.63%
			-0.47	-0.21	0.23	-0.93	-0.01	-0.28
C	Hauteur remplissage chambre de pâte	2	-0.24%	0.46%	1.63%	3.83%	-0.56%	0.06%
			-10.27	-9.11	-3.02	-0.47	0.04	-1.37
D	Mouvement matrice et broche	2	0.55%	0.82%	0.40%	2.20%	0.22%	0.16%
			-0.10	-0.04	-0.10	-0.48	-0.01	0.39
E	Temps arrêt sabot fin remplissage 355°	2	0.15%	0.28%	4.69%	-1.03%	1.42%	0.55%
			-0.10	-0.11	-0.35	0.28	-0.14	-0.13
F	Hauteur canule	1	1.79%	2.20%	0.43%	5.64%	4.67%	0.39%
			-0.22	0.09	-0.13	-0.77	-0.46	-0.31
G	Arrêt descente poinçon supérieur 180°	2	0.41%	0.25%	0.08%	-0.38%	3.58%	0.70%
			-0.07	-0.21	-0.42	-0.18	-0.36	0.24
Ratio S/N(dB) théorique résultant			58.02	59.70	59.44	-13.15	-13.03	63.46
S/N(dB) moyen			55.406	55.962	55.357	-16.938	-14.981	63.427
valeur mesurée ou Sensibilité théorique résultante			2 330.40	1 971.15	858.90	3.40	4.25	3 191.72
Coefficient de pondération			1	1	1	1	1	1

Philippe ALEXIS