LES PLANS D'EXPÉRIENCES (Maîtrise Qualité) N°18

1) DÉFINITION DES PLANS FRACTIONNAIRES

Gen'ichi TAGUCHI a conçu une méthode statistique pour réaliser des plans d'expériences fractionnaires. Appliquée dans l'industrie, cette méthode se concentre avant tout à minimiser les variations autour de la valeur de consigne. L'objectif est d'obtenir des produits, processus et systèmes aussi robustes et insensibles que possible aux perturbations externes en réalisant un nombre d'expérience très réduit. Cette méthode est appliquée dans le cadre de l'amélioration de la qualité et de la méthode Six Sigma au travers des actions DMAIC (voir fiche n°10). Le plan d'expérience est un outil mathématique et d'organisation qui permet, lorsqu'on est en présence d'un phénomène, ou d'un système, non maîtrisé, de pouvoir qualifier et quantifier l'influence de chacune des causes de variation.
Cette méthode pragmatique permet de définir rapidement les paramètres les plus influents sur un processus
Cet outil permet :

- De limiter le nombre des essais, et donc de ne pas se noyer dans une masse de résultats,
- De caractériser l'interaction des paramètres entre eux,
- D'éviter de faire des expériences inutiles,
- D'apporter la meilleure aide possible à la prise de décisions,
- D'avancer à coup sûr et sans remettre en cause les essais effectués,
- D'accélérer la validation des programmes de recherche afin de poser régulièrement le problème de leur poursuite ou de leur abandon.

La méthode des plans d'expérience a été introduite en Europe dans les années 1986-1988

2) PRINCIPE DES PLANS FRACTIONNAIRES

L'exemple utilisé est celui présenté par Gen'ichi TAGUCHI dans le japon de l'après-guerre concernant une fabrique de tuiles qui à la suite du changement de son vieux four de cuisson remplacé par un tunnel de cuisson neuf a constaté un pourcentage anormal de tuiles hors tolérances lorsqu'elles sont placées autour et au-dessus de la palette lors de la cuisson. Une analyse par la méthode des 5M a remis en cause 7 paramètres et il a été décidé de procéder à des expérimentations sur 2 niveaux différents. Si on souhaite réaliser toutes les expériences possibles, il faut planifier 2^7 expériences soit 128 expériences à raison ½ journée minimum par campagne de test. Il est rarement acceptable de devoir attendre aussi longtemps pour solutionner un problème. Comme le montre cet exemple, un plan d'expérience complet est un plan dit sans risque car il permet de déterminer tous les effets et toutes les interactions sans ambiguïtés mais il est très souvent irréalisable à cause du nombre très élevé d'expériences qui sont nécessaires pour le conduire.
Les plans fractionnaires ont été conçus pour remédier à l'inflation rapide du nombre d'essais dans les plans complets. L'objectif des plans fractionnaires va consister à réduire le nombre d'expériences à réaliser, par rapport au nombre maximum donné par le plan complet. Les plans à deux niveaux sont très utilisés parce qu'ils sont économiques en nombre d'essais. Mais il est aussi possible de considérer des plans ayant des facteurs prenant plus de deux niveaux. Il faut donner à chaque facteur le nombre de niveaux nécessaires aux exigences de l'étude.
Les plans fractionnaires à 2 niveaux : On parlera de plan 2^{k-p}(p entier) pour indiquer un plan fractionnaire issu du plan complet 2^k avec k facteurs à 2 niveaux. Par exemple le plan 2^{4-1} est un plan fractionnaire permettant l'étude de 4 facteurs en utilisant la matrice des effets du plan complet 2^3: 8 expériences sont à réaliser au lieu des 2^4 expériences du plan complet. Le nombre d'expériences est divisé par 2, il correspond à la réalisation d'un demi plan complet. De la même manière il est possible de réaliser des plans 2^{k-n} par exemple 2^{7-4} pour réaliser une étude de 7 facteurs avec seulement 2^3 expériences au lieu de 2^7. Plus le nombre (p) augmente, plus la charge expérimentale va diminuer mais au détriment d'un risque de plus en plus grand sur la qualité des informations tirées du plan. Il faudra donc évaluer les risques avant de démarrer l'expérimentation et les minimiser en construisant le plan fractionnaire adéquat. C'est le pari du plan fractionnaire.
Plan fractionnaire 2^{7-4}, Vouloir représenter un plan d'expérience fractionnaire contenant 7 facteurs à deux niveaux avec 8 expériences seulement revient à représenter les résultats dans un tableau de 7 colonnes avec 8 lignes comme s'il s'agissait d'un plan complet de 3 facteurs à 2 niveaux (soit 2^3) constitué de 3 facteurs (A, B, C) avec toutes les interactions. C'est-à-dire l'ensemble des effets de A❶, B❷, C❸, AB❹, AC❺, BC❻, et ABC❼
Les facteurs (D, E, F, G) qui sont alors utilisés en lieu et place des interactions (AB, AC, BC, et ABC) sont dit « Aliasés »

Il est donc fortement souhaitable que l'ensemble des 7 facteurs du plan fractionnaire 2^{7-4} aient entre eux très peu d'interactions. Si jamais une des interactions n'était pas négligeable, les coefficients du modèle seraient entachés d'erreur. C'est tout le pari d'un plan fractionnaire !
Pour conclure, les plans fractionnaires sont souvent utilisés en tant que plans de criblage destinés à déterminer quels sont les facteurs les plus influents sans forcément étudier les interactions d'ordre 2. C'est souvent le cas si le nombre de facteurs est très élevé.

RÉSOLUTION D'UN PLAN FRACTIONNAIRE

Nous allons prendre l'exemple décrit par TAGUCHI concernant le four à tuiles qui comporte 7 facteurs à 2 niveaux 2^{7-4} pour lequel 8 expériences vont être conduites selon la table ci-dessous. Chaque facteur intervient autant de fois au niveau (-1) et au niveau (1) dans les expériences. Aucun d'entre eux n'est sur-représenté dans le plan. La réponse recherchée pour l'expérience est le % de défectueux donc il faut viser le % le plus faible possible

	Facteurs à tester	Niveau (-1)	Niveau (1)
A	Quantité de pierre à chaux	5%	1% (Act.)
B	Granulométrie des additifs	Grossière (Act.)	Fine
C	Quantité d'agglomérant	43%	53% (Act.)
D	Type d'agglomérant	Nouveau	(Act.)
E	Lots de chargement	1 300	1200 (Act.)
F	Quantité de rebroyé	0% (Act.)	4%
G	Quantité de feldspath	5% (Act.)	0%

(Act.) = Utilisé actuellement

Liste des facteurs

n	A	B	C	D	E	F	G	% de défectueux Réponse
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	16%
2	-1	-1	-1	1	1	1	1	17%
3	-1	1	1	-1	-1	1	1	12%
4	-1	1	1	1	1	-1	-1	6%
5	1	-1	1	-1	1	-1	1	6%
6	1	-1	1	1	-1	1	-1	68%
7	1	1	-1	-1	1	1	-1	42%
8	1	1	-1	1	-1	-1	1	26%

Table d'expérimentation utilisée

Moyenne **24,125%**
Ecart Type **21,277%**

La résolution du plan fractionnaire consiste à remplacer une première fois les niveaux (-1) par la réponse moyenne obtenue lors de de chaque expérience et de calculer la moyenne de chacun des facteurs pour déterminer le niveaux (-1), puis de procéder de la même manière en remplaçant cette fois les niveaux (1) par la réponse moyenne obtenue, pour connaitre les niveaux (1) de chacun des facteurs.

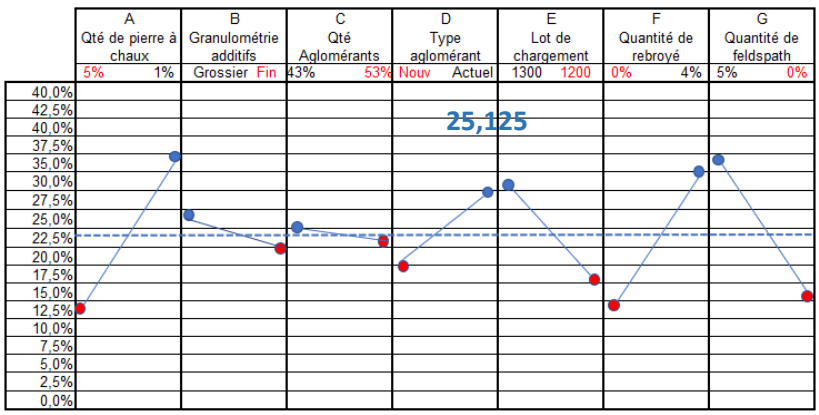
n	A	B	C	D	E	F	G
1	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%
2	17%	17%	17%				
3	12%			12%	12%		
4	6%					6%	6%
5		6%		6%		6%	
6		68%			68%		68%
7			42%	42%			42%
8			26%		26%	26%	
Moy	12,75%	26,75%	25,25%	19,00%	30,50%	13,50%	33,00%

Tableau des moyennes par facteur pour les niveaux (-1) de la matrice

n	A	B	C	D	E	F	G
1							
2				17%	17%	17%	17%
3		12%	12%			12%	12%
4		6%	6%	6%	6%		
5	6%		6%		6%		6%
6	68%		68%	68%		68%	
7	42%	42%			42%	42%	
8	26%	26%		26%			26%
Moy	35,50%	21,50%	23,00%	29,25%	17,75%	34,75%	15,25%

Tableau des moyennes par facteur pour les niveaux (+1) de la matrice

On peut alors tracer le graphe de chacun des facteurs. Les facteurs retenus seront ceux qui ont contribués à la meilleure réponse (dans notre cas le taux de défauts le plus bas.)



Résumé de la méthode

ÉTAPE 1 : Formaliser le problème à résoudre
ÉTAPE 2 : Sélectionner les paramètres
ÉTAPE 3 : Construire le plan.
ÉTAPE 4 : Réaliser les essais
ÉTAPE 5 : Analyser les résultats
ÉTAPE 6 : Conclure