

# Réduire le nombre d'expériences grâce aux statistiques

**Optimisation.** Méconnu, sous-exploité, le plan d'expériences a pourtant fait ses preuves en matière de réduction de coûts et de délais pour le développement de produits ou la résolution de problèmes techniques. Une méthode à découvrir d'urgence et à généraliser.

**L**e plan d'expériences ou DOE (Design of experiments) s'applique partout. Conception d'une prise étanche chez Legrand, formulation d'un nouveau rouge à

lèvres chez LVMH ou gain de productivité dans l'usage de micro-réacteurs au sein des laboratoires de Sanofi Aventis, la méthode prouve son efficacité dans tous les domaines et tous les secteurs indus-

triels. Son but : optimiser les campagnes d'expérimentation tout en s'assurant d'obtenir les données pertinentes nécessaires à la prise de décision. « La méthode ne résout pas tous les problèmes et ne s'applique pas tout le temps », reconnaît Michel Genetay, responsable laboratoire, qualité et environnement chez Produits Céramiques de Touraine, rompu à l'exercice. De fait, le plan d'expériences est pertinent dans deux cas, qui couvrent néanmoins un grand nombre de problèmes. Il sert soit à estimer ou comparer les effets des paramètres de réglage d'un processus, soit à régler les paramètres d'un processus pour atteindre un optimum. En établissant des relations entre les causes (facteurs) et les effets (réponses) d'un système, grâce à une collection de modèles mathématiques statistiques, le plan d'expériences cherche surtout à tirer le maximum de résultats pour une dépense aussi faible que possible.

Son premier objectif réside en fait à éviter la méthode « une variable à la fois » ou OFAT (one factor a time), qui consiste à fixer tous les facteurs sauf un pour connaître l'effet sur la réponse, trop coûteuse

## LES ÉTAPES D'UN PLAN D'EXPÉRIENCES

- > **Définir les objectifs.** Au sein d'un groupe de travail mixte laissant une grande place aux **experts des métiers**, poser les attentes : comparaison des effets des paramètres de réglages d'un processus ou recherche d'un optimum.
- > **Construire le plan d'expériences.** Après avoir défini les facteurs potentiellement influents, évaluer leurs domaines de variation d'intérêt et les contraintes de mises en œuvre. Choisir ensuite la stratégie expérimentale : soit en se servant des tables historiques ; soit en créant un plan à la carte grâce aux logiciels du marché, indispensables pour **extraire les essais les plus pertinents** à partir d'un modèle mathématique d'exploration.
- > **Expérimenter.** Faire valider le plan d'expérimentation par les **opérateurs**, le respecter scrupuleusement. Noter toutes les observations pertinentes.
- > **Analyser les résultats.** Dépouiller le plan et **communiquer** les résultats (effets des facteurs et des éventuels couplages ou surfaces de réponse), avec des représentations graphiques et dans le langage des hommes du métier. **Valoriser le travail en termes de temps et de coût.** Partager l'expérience.

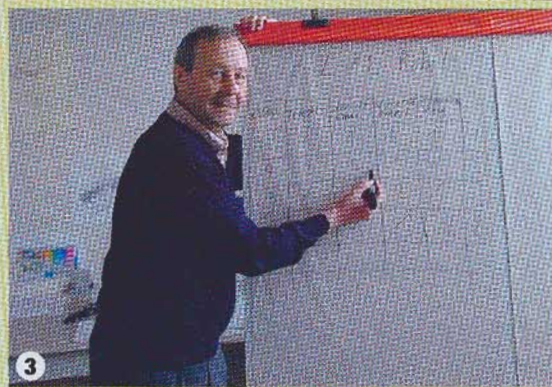
LISTE RÉALISÉE AVEC LUC DELPLANQUE, CI-CONTRE.

Luc Delplanque, professeur à l'IUT d'Orléans, département qualité et organisation industrielle, responsable de l'association Expérimentique.

# PRODUITS CÉRAMIQUES DE TOURAINE DIMINUE SES COÛTS DE PRODUCTION



**L'OBJECTIF : SAUVER UN SITE DE PRODUCTION (1).** En 2002, Produits Céramiques de Touraine, PCT (300 personnes, 37,5 millions de chiffre d'affaires dans les équipements sanitaires) a un tel problème de rendement sur de nouveaux équipements que la pérennité du site de Selles-sur-Cher (Loir-et-cher) est remise en cause. Pour sauver cette filiale de Sanitec, le service qualité propose de **compenser par une action sur le prix de revient**, en cherchant à réduire de 30° la température de cuisson et de 10 euros par tonne le coût des matières premières.



**LA SOLUTION : REFORMULER LA PÂTE ET L'ÉMAIL (2).** Des milliers de tests auraient été nécessaires pour trouver les nouvelles formules. Un plan d'expériences, mené en cinq mois avec deux stagiaires, a limité à une trentaine les échantillons à réaliser. Après un an d'essais et de modification des procédés, près de 3 euros sont économisés par pièce, soit 30 % du coût de revient. Cerise sur le gâteau : l'enthousiasme qui a entouré les résultats a permis d'améliorer le rendement (plus de 90 %).

**L'ASTUCE : UN EXPERT EN INTERNE (3)** Michel Genetay, responsable laboratoire, qualité et environnement de PCT, a déjà mené plusieurs plans d'expériences. En 1998, en jouant sur la pression d'injection et la température des matériaux, il avait réussi à augmenter de 50 % le rendement d'une machine.

en nombre d'essais et inefficace. Dans un plan d'expériences au contraire, toutes les données sont utilisées simultanément pour calculer chaque effet, mais après avoir sélectionné statistiquement les essais à mener.

Issu des travaux de Fisher (1925) pour le monde de l'agronomie, vulgarisé dans les années soixante par le Docteur Tagushi, qui l'a appliqué à l'ingénierie robuste (pour minimiser les effets des facteurs de bruits à partir de réglages bien choisis des facteurs contrôlés), le plan d'expériences est devenu plus accessible à mesure que la puissance de calcul des ordinateurs s'est accrue. « En effet, lorsque les stratégies expérimentales historiques, qui peuvent être traitées à partir de

tables, ne s'appliquent pas, il faut avoir recours aux logiciels pour créer de nouveaux modèles mathématiques exploratoires », explique Luc Delplanque, professeur à l'IUT d'Orléans et responsable de l'association Expérimentique.

## 1 CERNER LES LIMITES DE LA MÉTHODE

« De la formulation à l'amélioration de rendement, le plan d'expériences s'applique dans tous les cas, à une condition : que l'expérimentation physique soit possible », rappelle Philippe Pagès, consultant indépendant en statistique. Face à un problème pour lequel on dispose de nombreuses données (histo-

riques de tests, de production) les technologies statistiques d'analyse de données suffisent. Mais, lorsque les informations manquent et qu'il faut les créer, le plan d'expériences s'applique pour limiter le nombre d'expériences à réaliser.

Jusqu'à présent, le système était toutefois limité aux systèmes qui pouvaient être modélisés par des polynômes de premier ou de deuxième degré. La puissance de calcul des ordinateurs autorise maintenant à appliquer le plan d'expériences à des phénomènes non linéaires (ou curvilignes) grâce aux réseaux de neurones. « En revanche, lorsqu'un système est instable, le plan d'expériences ne peut rien faire », reconnaît Philippe Pagès.

« Cette méthode fait passer l'expérimentateur de l'espace industriel à l'espace mathématique pour déterminer le nombre minimal d'essais à réaliser et prédire la qualité de l'information obtenue. Mais il ne faut jamais oublier l'espace industriel », rappelle François Louvet, professeur à l'ENSCI (Ecole nationale supérieure de céramique industrielle) de Limoges.

Néanmoins les plans d'expériences s'appliquent aussi dans un monde plus virtuel. En simulation numérique, par exemple, ils servent à réintroduire la notion d'erreur, indispensable au calcul de robustesse d'un modèle. Dans ce cas, ils aident à sélectionner quels calculs de simulation il est vraiment nécessaire d'effectuer. (suite page 76) ///

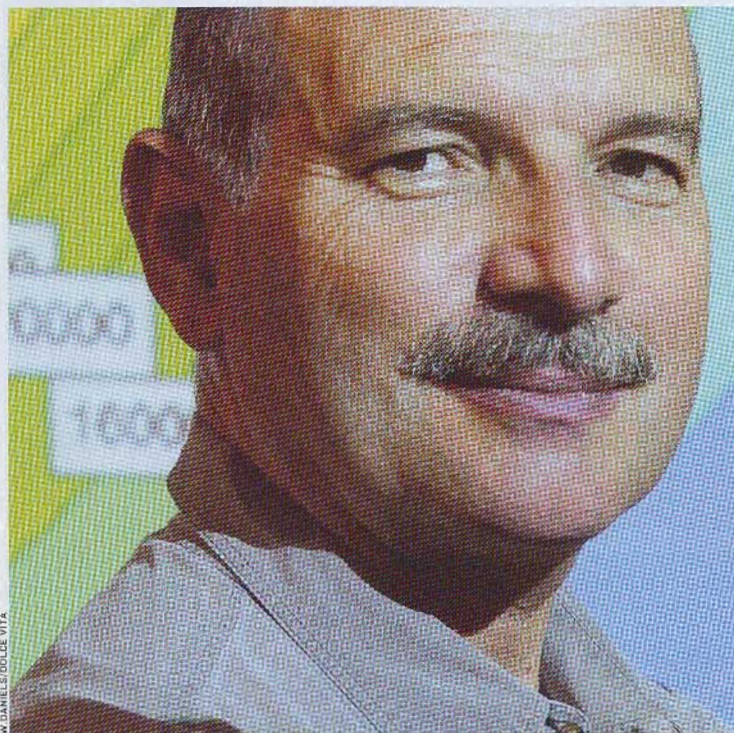


/// (suite de la page 75)

## L'AVIS DE L'EXPERT

# “Constituer un groupe de travail pluridisciplinaire”

**PHILIPPE PAGÈS,**  
consultant indépendant



“ Deux fois sur trois, si un plan d'expériences échoue, c'est que le problème était mal posé. La phase de définition doit donc représenter au moins la moitié du temps consacré au plan, hors expérimentation. Et doit respecter quelques grandes règles. Avant tout, il faut faire le point sur les connaissances préalables sur le sujet, que ce soit dans la littérature, avec le savoir des experts ou les résultats d'essais antérieurs. Rien ne sert de rechercher ce que l'on sait déjà. Ensuite, les réponses attendues doivent être correctement définies, quantitatives et mesurables. Le plus complexe reste pourtant la définition du domaine d'expérimentation qui en fixe les limites. Pour autant, même si l'on s'est trompé, les informations acquises servent toujours à recadrer le problème. Pour toute cette phase, la constitution d'un groupe de travail pluridisciplinaire est donc indispensable. Rares sont en effet les cas où un seul homme maîtrise toutes les données d'un problème et la méthodologie des plans d'expériences. »

## 3 LEVER LES FREINS CULTURELS

Malgré son efficacité, le plan d'expériences reste méconnu. Tous ses partisans incriminent en premier lieu l'enseignement supérieur technique français qui ignore la statistique. De fait, la plupart des ingé-

nieurs et techniciens supérieurs n'ont jamais entendu parler des plans d'expériences pendant leurs études. « Nous nous heurtons encore à des freins culturels », observe Philippe Boffelli, chez Sanofi Aventis. Dans le groupe les plans d'expériences sont pourtant utilisés depuis 1998 pour réduire le temps de développement des pro-

duits. Des experts proposent même d'assurer des prestations de service autour de la méthode pour les autres laboratoires du groupe. « Malgré des dizaines d'opérations concluantes, leur usage n'est pas généralisé, nous faisons encore figure de précurseur », regrette encore Philippe Boffelli.

Et même lorsque la méthode est reconnue, elle est sous-employée. « Nous n'avons pas encore la culture nécessaire pour nous poser et réfléchir à chaque fois à l'optimisation de l'expérimentation », reconnaît-on chez LVMH. L'utilisation de la méthode en entreprise est le plus souvent liée à l'expertise d'une seule personne. Il existe pourtant des cas, où c'est la direction générale qui pousse. Depuis six à sept ans, le siège de l'équipementier Arvin Meritor s'applique à généraliser l'usage d'un logiciel de plan d'expériences dans les bureaux de calcul de ses filiales. « Mais attention, lorsque l'impulsion vient d'en haut, les ingénieurs sont réticents ! », prévient Philippe Pagès. « Pour les convaincre, il faut leur présenter des exemples concrets », préconise Jean-Pierre Biesse, d'Altadis.

Alors les entreprises fonctionnent au coup par coup, avec des stagiaires. Depuis huit ans pourtant, une association, Expérimentique organise des sessions de travail et d'échanges pour apporter une aide technique et pratique aux entreprises qui veulent utiliser la méthode. Elle vient même de publier un livre, « Les plans d'expériences : une approche pragmatique et illustrée », qui synthétise le résultat de ses travaux. Dès les premières pages de l'ouvrage, la lecture des témoignages d'industriels finira de convertir les plus sceptiques. ●

AURÉLIE BARBAUX

### ENCORE PLUS D'INFOS

[usinenouvelle.com](http://usinenouvelle.com)

> Complétez vos informations avec des liens sur notre site.

## 2 RESPECTER LES RÈGLES À LA LETTRE

Comme toutes les méthodes efficaces, le plan d'expériences s'accompagne d'une méthodologie rigoureuse. Pourtant, si la phase de construction du plan, à l'aide d'outils mathématiques, est largement décrite dans la littérature, la phase amont, cruciale, de définition du problème et des attentes est souvent survolée. Dommage, car même si, pour une raison ou une autre, le plan d'expériences échoue, cette étape est toujours riche d'enseignements car elle ouvre d'autres points de vue. La méthode rappelle en effet que l'on ne part jamais de rien, et qu'il faut toujours interroger ceux qui savent. D'autant que le simple fait de se mettre autour d'une table pour réfléchir à un problème, apporte parfois la solution. « La méthode permet de se poser le problème avec tout le monde », confirme Pascal Bonduel, responsable essais et simulation chez Arvin Meritor France, qui utilise les plans d'expériences dans une démarche de design robuste. « Elle force à inclure les gens de terrain dans le processus de R & D. Pour une fois, on leur demande leur avis », explique Michel Genatay de PCT.

Même s'il faut respecter la méthode du début à la fin, rien n'empêche de faire preuve d'imagination. « A chaque fois que je suis sorti du domaine en ajoutant des connaissances techniques, j'ai été récompensé », reconnaît Michel Genatay.

Dans tous les cas, il faut toujours souligner les objectifs, et surtout ne pas les perdre de vue. « Et pour éviter les déceptions, ne pas oublier dès le départ de préciser ce que l'on n'obtiendra pas avec le plan », conseille Jean-Pierre Biesse, responsable statistique au centre de recherche de Saint-Jean-de-Braye (Loiret) du fabricant de cigarettes Altadis.