JOURNAL DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE STATISTIQUE

JACQUES DEMONSANT

Discussion et commentaires. La planification des expériences : choix des traitements et dispositif expérimental. La pratique industrielle des plans d'expériences

Journal de la société française de statistique, tome 141, n° 1-2 (2000), p. 39-41

<http://www.numdam.org/item?id=JSFS_2000__141_1-2_39_0>

© Société française de statistique, 2000, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Journal de la société française de statistique » (http://publications-sfds.math.cnrs.fr/index.php/J-SFdS) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (http://www.numdam.org/conditions). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
http://www.numdam.org/

DISCUSSION ET COMMENTAIRES

La planification des expériences : choix des traitements et dispositif expérimental

La pratique industrielle des plans d'expériences

Jacques DEMONSANT [1]

1. UN CONTEXTE DIFFÉRENT

Comme le rappelle Pierre Dagnelie, les plans d'expériences ont été imaginés par R. Fisher pour répondre à une problématique agronomique – comment savoir si tel ou tel facteur (semence, engrais, traitement phytosanitaire, technique culturale,...) a ou non un effet sur le rendement ? – le but étant de proposer aux agriculteurs un traitement leur donnant toute chance d'atteindre un haut rendement. Cependant puisque, par nature, le rendement agricole possède une forte composante aléatoire, l'attention des premiers promoteurs des plans d'expériences s'est focalisée tout naturellement sur la recherche de méthodes permettant de déceler l'effet de facteurs malgré la présence d'une forte dispersion.

Les plans d'expériences ont fait leur apparition plus tardivement dans l'industrie, d'abord dans les laboratoires de recherche de certaines industries (industrie du pétrole), puis dans les services qualité et bureaux d'études des industries manufacturières (industrie automobile). Dans le contexte industriel, il s'agit en général de mettre au point un produit ou un procédé de fabrication afin d'en optimiser le fonctionnement. Du fait des contraintes de coût et de délais qui pèsent de plus en plus fortement, le recours aux plans d'expériences n'est justifié que si cette technique permet de trouver rapidement une bonne solution. On ne s'étonnera donc pas que l'accent soit mis sur la minimisation du coût et surtout de la durée de l'expérimentation.

2. UN VOCABULAIRE MAL ADAPTÉ AU CONTEXTE INDUSTRIEL

Le vocabulaire des plans d'expériences forgé dans le cadre de l'agronomie s'applique très bien, semble-t-il, à la recherche médicale ; on comprend bien que

1. Renault F78288 Guyancourt Cedex ; e-mail : Jacques.Demonsant@renault.com

des *unités expérimentales* (des patients) soient soumises à des traitements. En revanche ce vocabulaire est mal adapté au contexte industriel : on serait mal compris si l'on désignait par le mot *traitement* les différentes configurations du système que l'on soumet à l'essai ; dans le vocabulaire industriel courant, réaliser une *expérience* consiste à soumettre un objet à un essai et, par conséquent, quand on modifie l'objet, on réalise une nouvelle expérience (c'est la raison pour laquelle on préfère parler de plans d'expériences avec un s).

Quand le plan d'expériences concerne la mise au point d'un produit on comprend mal ce que représentent les unités expérimentales ; quand il s'agit de la mise au point d'un procédé on pourrait éventuellement parler d'unités expérimentales à propos des différentes pièces fabriqués par les différents réglages du procédé.

3. LA VALIDATION DE LA SOLUTION OPTIMALE DÉDUITE DU PLAN D'EXPÉRIENCES

Le résultat attendu de l'expérimentation pour l'industriel est la découverte d'une bonne définition du produit ou d'un bon réglage du procédé. Pour répondre à cette question il est nécessaire de tenir compte de deux sources de variabilité :

1) celle provenant des conditions variées dans lesquelles le système réel sera amené à fonctionner ;

2) celle provenant des conditions expérimentales retenues.

3.1. Introduction de facteurs de bruit dans l'expérimentation

La prise en compte de la première source de variabilité peut être obtenue en suivant la démarche de l'*ingénierie robuste* préconisée par G. Taguchi. Une solution *robuste* est une solution qui non seulement conduit au niveau de performance souhaité dans les conditions du laboratoire d'essai, mais aussi dans les conditions réelles de fabrication et d'utilisation. Autrement dit, on cherche une solution qui soit le moins sensible possible aux variabilités que le produit (le procédé) rencontrera durant l'ensemble de son cycle d'utilisation. Pour concevoir un système robuste, G. Taguchi propose d'introduire dans un même plan d'expériences à la fois des facteurs de conception (facteurs définissant le produit ou le procédé) et des *facteurs de bruit* simulant les conditions extrêmes dans lesquelles le système aura à fonctionner.

3.2. Prise en compte de la dispersion expérimentale et de l'adéquation du modèle : validation empirique et validation statistique

Quel que soit le soin apporté à l'expérimentation, celle-ci reste entachée d'une dispersion expérimentale. Par ailleurs le modèle postulé (nullité de certaines interactions) peut être inadéquat. Les conséquences de ces deux phénomènes peuvent conduire à des conclusions erronées si l'on ne prend pas certaines

précautions pour s'en prémunir. La solution la plus répandue consiste à réaliser des validations empiriques en menant au moins deux expériences supplémentaires : l'une consistant à répéter une expérience déjà réalisée, l'autre consistant à réaliser une expérience dont les résultats sont prédits par le modèle sous-jacent.

En ce qui concerne le recours aux techniques statistiques de validation, le test le plus communément utilisé est le test de Student appliqué aux effets en retenant comme dénominateur une estimation de la dispersion expérimentale. Cette estimation peut être obtenue en répétant uniformément les expériences du plan (solution onéreuse) ou en se contentant de jalonner l'expérimentation par la répétition d'une même expérience (solution plus compatible avec les contraintes industrielles).

Des techniques telles que l'aléarisation (randomisation) ou l'introduction de blocs ne sont utilisées que si elles ne compliquent pas trop l'organisation et le temps consacré à la réalisation de l'expérimentation.

4. LA PRATIQUE INDUSTRIELLE

Le but de l'application des plans d'expériences est la résolution d'un problème pratique. Pour l'entreprise un outil est jugé selon des critères de rentabilité : quels sont les investissements (formation, moyens d'essais, temps alloué) ? combien cela rapportera-t-il (réduction des coûts ou des délais) ?

De cela il résulte que, pour que le recours aux plans d'expériences puisse avoir lieu, il est nécessaire :

- que les techniciens et ingénieurs puissent s'approprier cet outil (démarche simple, vocabulaire simple) ;
- que l'utilisation de l'outil plans d'expériences apporte un véritable gain (raccourcissement des délais, limitation du nombre de prototypes, qualité de la solution obtenue).

Cela explique sans doute le succès de praticiens tels que G. Taguchi ou D. Shainin.

5. CONCLUSION

Comme le dit fort justement Pierre Dagnelie, il est nécessaire de trouver un équilibre entre la place donnée au choix des « traitements » et celle donnée au choix du « dispositif expérimental ». Mais le point d'équilibre dépend, tout au moins dans l'industrie, de considérations économiques qui font, en général, pencher la balance du côté du choix des traitements, même s'il est, de toute manière, absolument indispensable de valider les résultats obtenus avant d'industrialiser la solution préconisée.