

GEORGES CHÉROUTE

**Discussion et commentaires. La planification
des expériences : choix des traitements et
dispositif expérimental**

Journal de la société française de statistique, tome 141, n° 1-2 (2000),
p. 35-38

http://www.numdam.org/item?id=JSFS_2000__141_1-2_35_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

Georges CHÉROUTE¹

Si à l'origine les plans d'expériences ont été élaborés pour répondre à des problèmes agronomiques, aujourd'hui les plans d'expériences sont utilisés dans des contextes extrêmement variés amenant des problématiques pouvant être fondamentalement différentes.

Différents éléments sont à prendre en considération pour estimer l'importance du choix des traitements (*treatment design*) par rapport au dispositif expérimental (*experimental design*). L'équilibre entre ces deux aspects dépend essentiellement du contexte d'utilisation des plans d'expériences.

Les exemples valant mieux qu'un long discours, prenons l'exemple d'un plan d'expériences de robustesse (au sens Taguchi du terme) en suivant les 6 points décrits par Pierre Dagnelie dans le paragraphe 3 de son article :

1. *Le but de l'expérience* : pour une définition d'une porte d'un véhicule déterminer si l'ensemble des variabilités de fabrication inhérentes à la fabrication de la porte, de la vitre et des joints n'ont pas, vu la conception du lève-vitre, une influence telle que les efforts de transfert de la vitre deviendraient inacceptables pour le client (pour des lève-vitres électriques le moteur grillerait). Dans le cas où les variabilités ordinairement réalisées seraient inacceptables, il s'agit également de déterminer les tolérances qu'il faudrait respecter.
2. *La détermination des facteurs* est, dans ce cas précis, le véritable problème, car les facteurs peuvent être excessivement nombreux : défauts dimensionnels dans les 3 dimensions pour chaque partie de chaque élément (porte (avant, arrière, haut, bas, ...), joint, vitre), défauts géométriques pour chaque élément : galbe, rectitude, vrillage, etc... Les modalités par facteur seront souvent égales à 3 car il s'agit de mesurer les réponses pour chaque extrême de la variabilité de chaque caractéristique et de vérifier le poids de chaque caractéristique en vérifiant l'effet lorsque la caractéristique est dans sa position moyenne.
3. *La définition des individus* qui sont observés (pour employer le langage d'origine agronomique) ne pose dans ce cas pas de problème particulier

1. Prévoyance Systèmes France 36130 Déols ; e-mail : cheroute.Prevsys@wanadoo.fr

puisqu'un banc d'essai sera construit pour simuler l'effet des différents facteurs qui seront sélectionnés pour le plan d'expériences. Il est en effet inenvisageable (ne serait ce que d'un point de vue coût et délai) de réaliser un prototype pour chaque expérience à mener.

4. *La définition des observations* ne pose aucun problème particulier, si ce n'est qu'un temps de rodage des joints est nécessaire avant de procéder à quelque mesure que ce soit.
5. *La répartition des modalités et des combinaisons de modalités de facteurs dans le temps* ne doit pas, surtout dans ce cas, être randomisée. Certains essais peuvent en effet faire évoluer le lève-vitre (dont seulement deux exemplaires seront disponibles vu le coût des prototypes) de façon irréversible. Il importe de placer ces expériences en fin de plan. D'autre part le facteur temps est introduit comme facteur bloc pour vérifier que le rodage a été bien effectué.
6. *L'analyse des résultats* ne se pose pas tant par l'analyse de variance (vu la méthode d'essai la variance de reproductibilité est très faible) que par la représentativité des résultats trouvés par rapport à ce qui sera réellement observable.

La variance résiduelle justifiant de privilégier le dispositif expérimental (*experimental design*) au choix des traitements (*treatment design*) est composée de :

- la variance de répétabilité des mesures effectuées ;
- la variance de reproductibilité des mesures effectuées ;
- la variance de répliquabilité (répétition des essais avec un autre exemplaire prototype réputé identique au précédent ¹) ;
- la variance due à l'inadéquation du modèle sous-jacent.

Le type de plan mis en exemple montre que deux positions sont possibles selon le contexte :

- **Ne pas avoir la possibilité de diminuer la variance résiduelle.** Dans ce cas, l'analyse de variance est indispensable avec un nombre de degrés de liberté suffisant. La randomisation peut dans certains contextes être indispensable. Cependant certains facteurs influents peuvent ne pas ressortir comme significatifs vu l'importance de la variance résiduelle.
- **Avoir la possibilité de diminuer la variance résiduelle ce qui permet de mieux faire mettre en évidence les facteurs significatifs mais peut dans certains cas être limitatif de la représentativité des essais.**

Nous abondons donc dans le sens de Pierre Dagnelie quand il affirme en fin de paragraphe 5 qu'il est dangereux de transposer certains principes acquis dans un contexte d'utilisation à un autre contexte d'utilisation, sans aucune

1. La notion de répliquabilité a été développée par Fowlkes et Creveling (1995).

DISCUSSION ET COMMENTAIRES

précaution. Mais nous tenons à souligner que l'équilibre entre les deux notions « choix des traitements » et « dispositif expérimental » dépend essentiellement du contexte. S'il est évident, dans un contexte pour lequel il est impossible de diminuer la variabilité résiduelle, qu'il est nécessaire d'avoir de nombreux degrés de liberté résiduels pour effectuer des tests pertinents, il est par contre absurde, dans des contextes pour lesquels la variabilité résiduelle est très faible, de disposer de degrés de liberté surabondants, notamment si chaque expérience réalisée est onéreuse.

Après analyse sur de nombreux cas traités, les critères à prendre en considération pour privilégier une position plutôt qu'une autre sont très variés. Mais avant de les lister notons qu'au moins cinq types de facteurs sont à distinguer :

- a) Les facteurs physiques : ce sont ceux qui physiquement agissent, tels que la masse, la charge électrique, etc... ;
- b) Les facteurs de contrôle : ce sont ceux sur lesquels on peut physiquement agir, tels que la charge de lest, le temps de chargement électrique, etc... ;
- c) Les facteurs signal : ce sont ceux pour lesquels on souhaite un ajustement de la réponse, tels que la décélération d'un véhicule en fonction de la charge exercée sur une pédale de frein ;
- d) Les facteurs de réglage : ce sont ceux que l'on réglera dans un plan d'expériences pour simuler un autre facteur que l'on ne peut pas faire varier. Ainsi, pour l'exemple du lève-vitre, on simulera une gauche de la vitre (défaut de rectitude à l'horizontale) par une diminution du puits de vitre (écartement entre le panneau extérieur de la porte et le panneau intérieur de la porte) ;
- e) Les facteurs de bruit : ce sont les facteurs variant intempestivement en utilisation réelle. Comme nous l'avons dit précédemment lorsque les facteurs bruit sont objet principaux de l'expérimentation le plan est un plan de robustesse.

Parmi les critères pour privilégier une position, le but de l'expérimentation est l'élément principal : les facteurs sources de la variabilité résiduelle, facteurs bruit au sens Taguchi, sont-ils objet de l'expérimentation (plans de robustesse), ou cherche-t-on une optimisation sur les facteurs de contrôle indépendamment des facteurs de bruit ? Dans certains types de plans d'expériences, on ne cherche qu'à identifier les facteurs influents. Dans d'autres il est possible de chercher des surfaces de réponse.

Les facteurs bruit seront-ils subis ou essaiera-t-on de les figer ? Ce choix est dépendant du but de l'expérimentation et du type de problème posé.

Les facteurs sont-ils parfaitement déterminés ou sont-ils sujets à caution ? Il existe des processus pour lesquels les facteurs sont parfaitement déterminés ou d'autres pour lesquels les facteurs peuvent être longuement débattus. Selon le cas, on privilégiera une position plutôt qu'une autre.

Les réponses retenues, réponses objet de l'expérimentation, sont-elles totalement représentatives du phénomène ou ne sont elles pas des caractéristiques

de substitution ? Ainsi, s'il est évident que souvent dans le cas de l'agronomie le rendement est représentatif de l'objet de l'optimisation, dans le cas par exemple où le plan d'expériences a pour but la diminution d'un taux de rebuts, il est souvent inenvisageable que les réponses mesurées soit des taux de rebuts de l'ordre de quelques parties par million pour des produits manufacturés. Aussi emploie-t-on des caractéristiques de substitution.

Quel est le degré de variabilité des réponses, et cette variabilité est-elle liée à des facteurs pas du tout, peu, partiellement ou totalement identifiés ? Selon le cas, les stratégies peuvent être totalement différentes.

En tout état de cause quel que soit le problème, il s'agit d'équilibrer les priorités selon le contexte et le problème posé entre trois aspects de natures totalement différentes :

- Le choix de facteurs objets de l'expérimentation qui dans certains cas peut se révéler le problème le plus délicat et non indépendant des deux autres aspects ;
- Le choix des traitements ;
- Le dispositif expérimental c'est-à-dire la répartition des différents traitements et leurs répétitions éventuelles.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

FOWLKES, WILLIAM Y. et CREVELING, CLYDE M. [1995] « Engineering Methods for Robust Product Design », Addison-Wesley Publishing Company, traduit en français par Jacques Demonsant (1998), « L'ingénierie Robuste », Dunod.