JOURNAL DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE STATISTIQUE

ANDRÉ KOBILINSKY

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. 51-54

<http://www.numdam.org/item?id=JSFS_2000__141_1-2_51_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

André KOBILINSKY [1]

Le texte de Pierre Dagnelie met l'accent sur des aspects fondamentaux des plans d'expériences, auxquels les textes consacrés à ce sujet n'accordent souvent pas l'importance nécessaire et qui ne sont pas toujours bien pris en compte par les expérimentateurs. Ainsi il met en lumière par des exemples très pédagogiques les conséquences que peuvent avoir la quasi absence de répétitions, ainsi que «l'oubli» de la randomisation. C'est ce dernier point, pour lequel je partage totalement les préoccupations exprimées, que j'aborderai d'abord, avant de revenir sur le problème des répétitions.

L'importance pratique de la randomisation, je l'illustre souvent par cet exemple d'un collègue zoologiste qui cherchait à comparer l'effet de différents insecticides sur des cafards. Il y avait trois insecticides contenus dans trois flacons différents. Pour simplifier l'expérimentation, il avait mis les 40 premiers insectes attrapés dans le premier flacon, les 40 suivants dans le second flacon, enfin les 40 derniers dans le troisième. Je lui ai expliqué qu'il risquait ce faisant d'attraper d'abord les insectes les moins agiles, donc les plus fragiles, et ainsi d'induire un biais important dans les comparaisons entre insecticides. Il m'a détrompé en m'expliquant qu'au contraire de ce que je pensais, il avait l'impression de sélectionner d'abord les insectes les plus volumineux et vigoureux, en bref les plus beaux à ses yeux. On le voit, mon argument n'était pas le bon, mais la randomisation était dans ce cas sérieusement indiquée.

En dehors de cet exemple amusant, j'ai vu bien des cas où l'absence de randomisation rendait les résultats difficiles ou impossibles à exploiter. Un cas qui m'a frappé était une série d'essais réalisés pour chercher une façon de prévenir la bactériose de l'endive au forçage. Cette maladie peut être dévastatrice et faire pourrir toute une production d'endives. Pour les essais, les racines d'endives étaient inoculées à différentes doses, puis mises au forçage dans différentes conditions. Pour faciliter l'expérience, les cagettes d'endives traitées dans des conditions similaires avaient été remplies à la suite. On s'est aperçu en effectuant l'analyse statistique que cette façon de procéder diminuait considérablement l'estimation de la variance résiduelle, simplement parce que les racines d'endives prises ainsi séquentiellement, provenant d'une même zone de champs, avaient en conséquence des états physiologiques et

1. Unité de Biométrie, département BIA, INRA, 78352 Jouy en Josas.
e-mail : kobi@jouy.inra.fr

des réactions très semblables. A cause de ce biais, on a trouvé des effets très significatifs, qui se sont trouvés complètement contredits par des expériences ultérieures.

On pourrait accumuler ainsi les exemples d'influences néfastes de la non randomisation. L'article met clairement en évidence que cette absence de randomisation peut avoir des effets nocifs même avec une dérive relativement faible au cours du temps.

On n'insistera donc jamais assez sur cette nécessité de la randomisation, souvent négligée parce qu'elle complique sérieusement l'expérimentation par le « désordre » qu'elle introduit, alors que son intérêt est parfois difficile à percevoir.

A la décharge des expérimentateurs, il faut cependant signaler que la randomisation étudiée et théorisée par les statisticiens correspond presque exclusivement au cadre dans lequel travaillaient les pionniers Yates et Fisher : les unités sont des animaux ou des parcelles de terre, auxquels on applique des traitements parfaitement déterminés. L'erreur provient uniquement de la variabilité des unités, pas de la façon dont on expérimente ou dont on mesure.

Or, dans une expérience de laboratoire, les choses sont bien différentes. Les unités initiales peuvent par exemple être des éprouvettes, dans lesquelles on met successivement différentes solutions et additifs, à différentes dilutions. On peut décider de ne faire qu'une fois une certaine dilution, ou au contraire repartir de la solution mère pour chaque éprouvette, ce qui est souvent beaucoup plus long et malcommode, mais permet d'avoir une certaine indépendance entre les erreurs de dilution. Ultérieurement les éprouvettes peuvent être mises dans des étuves. Il peut y avoir plusieurs étuves et chacune d'elles peut être utilisée plusieurs fois, etc...

Les sources d'erreur sont donc multiples. Il importe de cerner les principales, de les prendre en compte avec des dispositifs appropriés. Dans ces expériences de laboratoire, les plans de type *split-plot* ou en *confounding* peuvent s'avérer très utiles. Ainsi si l'étuve est une source de variabilité importante, de tels plans permettent de prendre en compte correctement des facteurs tels que la température et le temps de passage à l'étuve, facteurs nécessairement constants pour toutes les éprouvettes mises dans une même étuve, donc « confondus » avec le facteur étuve. Mais les exemples de plans de ce type et les difficultés inhérentes à ce type d'expérimentation n'ont guère reçu d'attention dans la littérature statistique.

L'importance de la randomisation est indéniable. Mais on doit nuancer l'impression un peu négative donnée par l'article sur la période récente. Nombreux sont les articles apparus sur ce thème récemment (voir par exemple les articles en référence), y compris par des auteurs de langue natale française. Ces derniers se sont souvent exprimés plus en anglais qu'en français pour être entendus par l'importante communauté de ceux qui ont travaillé et publié sur ce sujet en anglais.

Sur l'aspect répétition, l'article souligne le fossé qui existe entre 2 et 10 degrés de liberté pour estimer la variance résiduelle, ou même entre 2 et

5. Il faut le savoir et en être conscient pour avoir la capacité de faire de la statistique valable. Cependant, il ne faut pas tomber dans l'excès inverse, que j'ai personnellement rencontré beaucoup plus fréquemment que l'absence de répétitions : la multiplication des répétitions inutiles. L'argument des expérimentateurs à ce sujet est simple. Si on répète trois fois chaque expérience, il est facile de repérer une anomalie par un résultat qui s'écarte nettement des deux autres. On peut aussi avoir avantage à multiplier les répétitions pour obtenir des résultats nets, indiscutables, signalés par trois grosses étoiles dans les publications, donc inattaquables. Le malheur veut que cet excès de répétitions soit réalisé au détriment du nombre de facteurs pris en compte. Le matériel expérimental n'est pas infini et, pour multiplier les répétitions, il faut sélectionner un nombre réduit de facteurs à étudier. On fait alors un choix que l'on prétend raisonné, mais qui s'avère souvent désastreux parce qu'il laisse dans l'ombre des facteurs aussi ou plus importants que ceux retenus, interagissant avec eux et donc susceptibles de beaucoup modifier les résultats. C'est ainsi que j'ai vu des collègues cherchant à produire une certaine substance par une bactérie lactique prendre un unique lait en poudre parfaitement homogénéisé pour réduire au maximum la variabilité. L'objet de leur travail était pourtant de développer des méthodes pour des industriels travaillant avec des laits de grand mélange, très variables. En sacrifiant pour multiplier les répétitions le facteur type de lait, ils ont trouvé des résultats merveilleusement nets, mais dont on peut craindre qu'ils ne soient absolument pas répétables avec des laits différents.

A propos des répétitions, il est important de savoir que l'étude d'un grand nombre de facteurs avec des plans même très fractionnaires sans aucune répétition, peut permettre de dégager un nombre de degrés de liberté non négligeable pour estimer la variance d'erreur si seuls quelques facteurs ont une influence non négligeable. Et, si beaucoup de facteurs ont une influence, de tels plans ont l'avantage de permettre de comparer entre elles les influences de ces facteurs, et de gagner ultérieurement beaucoup de temps.

Mais les dérives soulignées par l'article, ou celle que je viens de signaler, ne sont-elles pas aussi explicables par le petit nombre de statisticiens dans certains domaines. Prendre en compte beaucoup de facteurs, plusieurs systèmes de blocs, d'éventuels arrières effets ou effets de voisinage entre parcelles, etc ... rend complexe la mise en œuvre et l'analyse. La présence de spécialistes se fait fortement sentir. Dans le domaine agroalimentaire où j'ai eu beaucoup de contacts ces dernières années, c'est le manque de spécialistes que j'ai ressenti comme frein le plus important au développement et à la bonne utilisation des plans d'expériences.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BAILEY, R. A. [1984], Quasi-complete Latin squares : construction and randomization. *J. Roy. Statist. Soc.* B, 46, 323-334.

BAILEY, R. A. [1991] Stratification and randomization. ECAS-91 : Design of Experiments (cours).

MONOD H. & BAILEY R. A. [1993]. Valid restricted randomization for unbalanced designs. *J. Roy. Statist. Soc.* B, 55, 237-251.

MONOD, H., AZAIS, J.-M. et BAILEY, R. A. [1996]. Valid randomisation for the first-difference analysis. *Austral. J. Statist.*, 38, 91-106.