

L'ÉQUILIBRE ENTRE “CHOIX DES TRAITEMENTS” ET “DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL” DANS LA PLANIFICATION DES EXPÉRIENCES ¹

Pierre Dagnelie

Faculté universitaire des Sciences agronomiques
B-5030 Gembloux (Belgique)

pierre@dagnelie.be

Le plan d'expérience ou protocole expérimental

Nous considérons que les principaux éléments constitutifs d'un plan d'expérience ou d'un protocole expérimental sont normalement [1] [2]:

1. la définition du ou des *buts* et des *conditions* de l'expérience;
2. la définition du ou des *facteurs* dont on désire étudier l'influence, de ses ou de leurs niveaux ou variantes ou modalités, et des combinaisons de ces niveaux, variantes ou modalités qui seront en fait expérimentées;
3. la définition des individus ou, d'une manière plus générale, des *unités expérimentales* qu'on se propose d'observer;
4. la définition des *observations* qui devront être réalisées;
5. la manière dont les différentes modalités ou combinaisons de modalités des facteurs devront être affectées aux différentes unités expérimentales et la *répartition* des unes et des autres dans l'espace et/ou dans le temps;
6. des informations relatives à l'*analyse des résultats*.

Les éléments qui, dans cet ensemble, retiennent surtout l'attention sont en général les points 2 et 5. Le point 2, auquel correspond la notion de *plan ou schéma des traitements (treatment design)*, fait intervenir des concepts tels que ceux d'expérience factorielle, d'expérience factorielle fractionnaire, de plan relatif à l'étude d'une surface de réponse, de plan optimal, etc. Le point 5, qui définit le *dispositif ou plan expérimental (experimental design)*, prend en considération les concepts de randomisation, de constitution éventuelle de blocs, complets ou incomplets, etc.

Evolution récente

Jusqu'au milieu des années 1980, un certain équilibre entre ces deux principaux domaines d'intérêt était globalement assuré dans l'ensemble des publications (livres et articles) relatives aux plans d'expériences. L'importante

¹ *Actes des XXXIIIèmes Journées de Statistique*. Nantes, Ecole nationale d'Ingénieurs des Techniques des Industries agricoles et alimentaires, 274-277, 2001.

bibliographie de Federer et Balaam [4], qui contient, pour les années 1950 à 1967, 1.939 références relatives à l'aspect *treatment design* et 1.683 références relatives à l'aspect *experimental design*, en est un excellent témoignage.

Ultérieurement au contraire, l'accent a été mis plutôt, et parfois de façon quasi exclusive, sur le choix des traitements, en particulier dans les livres publiés en français [3].

Quelques conséquences

Le fait de concentrer l'attention exclusivement ou presque exclusivement sur le choix des traitements, lors de l'élaboration d'un protocole expérimental, n'est cependant pas sans conséquences.

D'une part, on peut ainsi négliger la notion de *répétition* et, de ce fait, ne pas avoir de connaissance précise de la variabilité relative au matériel étudié et aux conditions expérimentales (variabilité résiduelle ou expérimentale). On ne dispose pas, alors, d'idées précises quant à la qualité des estimations et des tests d'hypothèses auxquels on procède ou auxquels on pourrait procéder.

Dans certains cas, on possède des estimations basées sur un très petit nombre d'observations ou caractérisées par un très petit nombre de degrés de liberté (parfois 2 ou 3 degrés de liberté seulement). Les estimations et les éventuels tests d'hypothèses sont alors de très faible qualité.

D'autre part, on néglige la notion de *randomisation* ou répartition au hasard, ce qui peut induire des erreurs systématiques importantes.

Enfin, on néglige les possibilités de *réduction de la variabilité résiduelle*, et donc d'amélioration des estimations et des éventuels tests d'hypothèses, par l'introduction de blocs ou d'autres dispositifs expérimentaux.

Importance de ces conséquences

Ces différentes objections sont sans importance aucune quand toutes les conditions de l'expérience sont parfaitement stables. Tel est le cas par exemple lors de certaines simulations réalisées sur ordinateur.

Ces objections peuvent également être d'importance relativement secondaire quand la variabilité résiduelle est très faible, par comparaison avec les effets des facteurs qu'on souhaite ou qu'on espère mettre en évidence. Nous pensons cependant que ce point de vue peut être fallacieux et dangereux. Notre expérience de la consultation statistique, très largement agronomique, mais orientée aussi vers la chimie et les industries agroalimentaires, nous a souvent montré que la variabilité résiduelle était en réalité largement supérieure à ce que les chercheurs en pensaient a priori.

Mais le problème se corse quand les mêmes principes sont suivis, par ignorance ou par facilité, dans des domaines qui sont caractérisés par une variabilité importante. Or, il n'est pas rare à l'heure actuelle de voir de tels principes appliqués de façon inconsidérée dans le domaine biologique par exemple.

Quelques exemples

On peut illustrer ces quelques points en examinant à titre d'exemples divers problèmes particuliers [3]. Tel sera l'objet principal de l'exposé oral.

En ce qui concerne l'impact du *nombre de degrés de liberté* qui sont disponibles pour estimer l'écart-type ou la variance résiduelle, nous avons envisagé les problèmes d'estimations de moyennes et de fonctions linéaires des moyennes, d'écart-types et de variances, ainsi que les tests d'égalité de moyennes.

A cet égard, on peut facilement constater que, quand on passe par exemple de 10 à 3 ou à 2 degrés de liberté, les longueurs des intervalles de confiance des moyennes ou des fonctions linéaires des moyennes sont majorées de 40 ou 90 % environ, que les rapports entre les valeurs extrêmes (la limite supérieure divisée par la limite inférieure) des intervalles de confiance des écart-types sont multipliés par 2,6 ou 4,8, et que les mêmes rapports relatifs aux variances sont multipliés par 6,9 ou 23. En outre, dans les mêmes conditions, les risques de deuxième espèce des tests d'égalité de deux moyennes, c'est-à-dire les probabilités de ne pas mettre en évidence des différences qui sont cependant bien réelles, peuvent être multipliés par 5 ou 10 au moins.

En matière de *nombres d'observations et de répétitions*, nous avons considéré la question de la recherche du maximum d'une courbe ou d'une surface de réponse.

Par simulation, nous avons observé par exemple, qu'avec moins de 10 ou 12 observations, le maximum d'une courbe de réponse parabolique ne peut être identifié valablement que quand l'influence du facteur étudié est au moins de l'ordre de grandeur de l'écart-type résiduel, dans le domaine expérimental considéré, et que la détermination des limites de confiance de l'abscisse du maximum exige même que l'influence du facteur étudié dépasse deux fois la valeur de l'écart-type résiduel. Des résultats similaires ont aussi été obtenus dans le cas d'une surface de réponse parabolique faisant intervenir deux facteurs.

En ce qui concerne la *randomisation* et la constitution éventuelle de *blocs*, nous avons considéré notamment l'influence possible d'une dérive ou d'un gradient, consistant par exemple en une évolution linéaire des conditions expérimentales au cours du temps, sur les résultats des comparaisons de moyennes qui peuvent être réalisées par l'analyse de la variance.

Nous avons constaté qu'en l'absence de randomisation, même une dérive relativement faible, dont l'amplitude ne serait que de quelques pour cent de l'amplitude des moyennes, peut avoir une influence considérable. Les valeurs observées des variables F de Fisher-Snedecor peuvent alors varier dans un rapport de 1 à 3 au moins, et les probabilités qui leur sont associées dans un rapport de 1 à 10, ou plus.

Conclusion

Les différents exemples que nous avons considérés mettent bien en évidence les risques qui sont inhérents au fait de négliger ou de ne pas accorder une attention suffisante aux notions de nombre d'observations, de répétition, de randomisation, etc., dans la conception d'un plan d'expérience ou d'un protocole expérimental.

Nous pensons donc devoir recommander:

- que les ouvrages généraux d'expérimentation, même si leur objectif est d'être entièrement consacrés aux problèmes de choix des traitements, fassent toujours état de l'importance des autres points à prendre en considération dans l'élaboration des protocoles expérimentaux;
- que les protocoles expérimentaux englobent toujours les différents points que nous avons évoqués au début de ce résumé;
- que, dans la conception des plans d'expériences, une place suffisante soit toujours accordée aux questions de répétition, de randomisation, de constitution de blocs, etc., ainsi qu'à l'estimation de la variabilité résiduelle ou de ses différentes composantes;
- que dans cette optique, un minimum de 10 degrés de liberté par exemple soit toujours affecté, autant que possible, à l'estimation de cette ou de ces différentes sources de variation.

En formulant ces recommandations, nous souhaitons simplement contribuer à établir (ou à rétablir) un équilibre raisonnable entre les différentes composantes du plan d'expérience, en particulier entre la place accordée aux facteurs étudiés et la place accordée aux variations résiduelles. Nous ne faisons aussi que rappeler les trois principes de R.A. Fisher: *replication, randomization, blocking*.

Bibliographie

- [1] Dagnelie P. (1981). *Principes d'expérimentation*². Gembloux, Presses agronomiques, 182 p.
- [2] Dagnelie P. (1997). La planification des expériences et l'analyse de la variance: une introduction. *In: Driesbeke J.J., Fine J., Saporta G. (éd.). Plans d'expériences: applications à l'entreprise*. Paris, Technip, 13-67.
- [3] Dagnelie P. (2000). La planification des expériences: choix des traitements et dispositif expérimental (avec discussion). *J. Soc. Franç. Statist.* **141** (1-2), 5-69.
- [4] Federer W.T., Balaam L.N. (1972). *Bibliography on experiment and treatment design pre-1968*. Edinburgh, Oliver and Boyd, 769 p.

²Cet ouvrage, qui est épuisé, a été réédité en 2003 sous le titre *Principes d'expérimentation: planification des expériences et analyse de leurs résultats* (voir <<http://www.dagnelie.be/expres.html>>).