

STATISTIQUE ET ANALYSE DES DONNÉES

JEAN-MARIE LEGAY

Quelques réflexions sur le plan expérimental

Statistique et analyse des données, tome 11, n° 2 (1986), p. 51-57

http://www.numdam.org/item?id=SAD_1986__11_2_51_0

© Association pour la statistique et ses utilisations, 1986, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Statistique et analyse des données » 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/>

QUELQUES REFLEXIONS SUR LE PLAN EXPERIMENTAL

Jean-Marie LEGAY

Laboratoire de Biométrie
U.A. au CNRS n° 243 "Biologie des Populations"
Université Claude Bernard - Lyon I
43, Boulevard du 11 novembre 1918
69622 VILLEURBANNE CEDEX

Résumé: *Cet article a pour but de discuter des insuffisances de la planification expérimentale, de montrer la nécessité de plans d'observations et de susciter un débat méthodologique.*

Abstract: *The aim of this paper is to discuss the general insufficiency of the design of experiments, to show the necessity of planned observations and to promote a methodological debate.*

Mots clés: *Plan expérimental, Plan d'observations.*

Indices de classification STMA: *10-000, 14-000, 15-010.*

Si la "singularité de la science moderne" selon l'expression de Prigogine [1] est à rechercher, à travers la rencontre entre la technique et la théorie, dans "le dialogue expérimental", alors quelques réflexions sur le plan expérimental ne sont pas inutiles.

Réaliser une expérience, c'est en définitive effectuer des observations sur un système partiellement maîtrisé. Cela signifie qu'on a été amené à mettre en œuvre, en particulier depuis un siècle, toute une gamme d'expériences dont le degré d'organisation a varié dans une large mesure. Si bien qu'aujourd'hui on peut même se demander si l'opposition qu'on se plaisait à marquer entre expérience et observation n'est pas en train de se réduire au point qu'on puisse hésiter parfois à classer une recherche dans l'une ou l'autre catégorie. Chaque protocole est inféodé à une situation: "la notion d'expérience n'a pas de sens général dans les sciences" (Bachelard [2]).

L'extrême mérite de l'Ecole Fisherienne n'a pas été seulement de proposer des procédures d'interprétation sous la condition d'une planification de l'expérience, elle a été

Manuscrit reçu le 7 avril 1986

révisé le 6 octobre 1986

d'admettre explicitement l'existence et l'action de toute une série de facteurs autres que ceux expérimentés, de les considérer comme non contrôlés, de montrer qu'on pouvait en extraire une partie grâce à des expériences ultérieures adéquates, mais qu'en définitive il resterait toujours une part résiduelle puisqu'on ne pouvait prétendre maîtriser la totalité du système étudié. Tant il est vrai que la réalité est inépuisable et que précisément l'interprétation Fisherienne en tient compte de façon très habile. Ce qui constitue l'un des progrès conceptuels les plus substantiels de la première moitié de ce siècle.

1 - LA DEMARCHE FISHERIENNE

L'idée première est d'*organiser l'expérience* pour pouvoir en interpréter les résultats, et elle est essentielle.

En définitive, la génétique est née lorsque dans le chaos apparent de la variabilité, on a eu l'idée de s'appuyer sur la parenté pour essayer de la comprendre, et finalement d'*organiser une parenté* par le jeu de croisements dirigés avant d'observer ressemblances et différences. Quel que soit le degré d'approfondissement ou de raffinement auquel est arrivée la génétique, quel que soit le niveau où elle s'exerce (organismique ou moléculaire), le principe qui vient d'être indiqué reste fondamental. L'intensité des liaisons, la nature de la parenté, les moyens de l'obtenir, le niveau où elle est prise en compte ne conduisent qu'à des modulations du principe de base.

L'idée seconde est de *planifier les expériences*. Il faut se souvenir que le point de départ de cette approche était technique. Ce sont les propres termes de R.A. Fisher [3], qui donne un sens concret aux progrès dans ce domaine: une méthode est supérieure à une autre, dit-il, si elle permet d'extraire davantage d'informations des données, et si elle conduit à des estimations ou à des tests de plus grande sensibilité. Il emploie l'expression de plan d'expérimentation et d'observation, dit que ces plans doivent être cohérents avec les buts recherchés et, ce qui est encore plus intéressant, que la planification expérimentale n'est pas une extension des études statistiques, mais un point central dans les Sciences de la Nature.

Dans certains domaines, c'est le temps qui tout naturellement est à la base d'un plan de travail, soit que les manipulations doivent être faites en temps limité, soit que le phénomène étudié évolue en fonction du temps, en tant que durée, comme peut l'être le devenir à court terme d'une substance injectée dans un organisme, soit qu'il varie de façon cyclique en fonction d'un temps lui-même organisé, comme c'est le cas de phénomènes rythmés. La mise en œuvre récente des statistiques circulaires (Batschelet [4]) permet de traiter les données de façon plus cohérente, plus correcte, et permet de séparer des catégories de variables qu'on avait tendance à confondre. D'une façon générale, on peut dire que le temps n'a pas été bien exploité, y compris dans le secteur médical, jusqu'à ces dernières années, bien que l'analyse des données permette grâce aux techniques multivariées la prise en compte du temps et que des méthodes opérationnelles existent et sont sans doute mal connues; il reste que les données longitudinales posent de redoutables problèmes.

Dans d'autres domaines, et c'est sans doute le cas le plus étudié depuis longtemps, c'est la structuration spatiale qui constitue un procédé d'organisation expérimentale (Fisher [5], Yates [6], Kempthorne [7]). Mais sans doute faut-il insister sur le fait qu'une séparation spatiale de lots expérimentaux permet non seulement de suivre de façon individuelle des ensembles de nature différente, mais aussi d'explorer et d'assumer

l'hétérogénéité du milieu. C'est ce qui est parfaitement clair dans l'expérimentation agricole, qui a d'ailleurs légué son vocabulaire à tout le domaine, ce qui conduit parfois à un jargon assez étonnant. Mais pour en revenir à la non-homogénéité du milieu, même dans une étude dont les caractéristiques climatiques sont théoriquement entre nos mains, les différences de température et d'humidité selon la position des objets dans une étuve restent suffisamment fortes pour entraîner des effets significatifs et appellent des plans sophistiqués pour en tenir compte ou tenter de les effacer. Une étuve n'est elle-même qu'un modèle d'environnement, un simulateur, c'est-à-dire un instrument de travail, avec toutes les qualités et les défauts qui lui sont attachés.

La répétition, qui est sans doute la première contribution de la statistique à l'expérimentation et le point de départ de toutes les questions, la randomisation et l'analyse de ses effets, le contrôle de l'erreur, le regroupement des données, qui a été l'une des étapes les plus significatives dans l'organisation et la comparaison des expériences, la définition de l'unité d'observation, l'examen critique des variables concernées, la structuration des expériences en fonction des objectifs sont autant d'opérations concrètes qui ont conduit au constat de l'hétérogénéité fondamentale et grandissante de l'expérimentation.

2 - LA REALISATION DU PLAN D'EXPERIENCE

Que dire alors d'un champ ou d'un agro-système en général, où la maîtrise des principaux éléments du système est rien moins qu'assurée. On comprend à quel point la planification des expériences est nécessaire, non par souci d'ordre, mais pour maîtriser par d'autres moyens que l'intervention matérielle expérimentale, je veux parler de moyens logiques, des facteurs non contrôlables, et en tout cas non contrôlés à un moment donné.

Cependant l'examen des situations réelles, celles de l'application des plans, nous donne des raisons très diverses de réflexions critiques.

En effet *les plans* ne sont pas toujours réalisés conformément aux prévisions. Ainsi dans le domaine agronomique, ce qui aurait dû être planté le même jour l'a été avec un décalage important, et qui plus est, ce décalage n'a pas touché le système de façon aléatoire; les acteurs de l'expérimentation n'ont pas exactement les mêmes pratiques, que ce soit pour un repiquage, une taille, etc.; des événements accidentels (prédateurs, dégâts du gel, ...) conduisent à des trous, à des données manquantes; l'importance et la complication de certains plans entraînent des erreurs de positionnement ou de traitement. Si le travail se déroule en région non-tempérée, certains facteurs biologiques, économiques ou sociaux accusent de façon considérable les écarts qui viennent d'être évoqués par rapport au plan initial.

Bien entendu, *en médecine*, les difficultés accidentelles se doublent d'interdits déontologiques; non seulement l'expérience au sens scientifique du terme n'est pas possible, mais même dans le cadre d'essais limités de traitements, certaines formules sont exclues. D'autre part la stabilité de la population étudiée n'est pas assurée; le patient peut changer de médecin, d'hôpital, de ville, et sortir du champ normal d'observations prévu par le plan. En tout état de cause, dans toute étude longitudinale, la population de départ s'amenuise considérablement (Sempé [8]), et le phénomène peut être source de biais.

Les *moyens informatiques*, conjugués à des efforts statistiques, ont permis le développement de procédures plus ou moins complexes, autorisant la prise en compte de

facteurs additionnels, ou bien de détecter les erreurs, ou bien encore de remplacer dans certains cas les données manquantes. Nous enregistrons donc à la fois une extension du domaine de validité d'un plan, et un élargissement du concept de données expérimentales. La prise en compte de relations de voisinage (modèles avec compétition, modèles avec autocorrélation spatiale) relève, de façon positive, de cette idée qui consiste à dépasser le cadre du plan d'expérience.

Car en fait il y a plus que des *difficultés* à mettre en œuvre un plan d'expérience; il y a *insuffisance* à décrire la réalité. Ceci nous conduit à un deuxième type de commentaires.

A l'occasion d'une expérience planifiée, on peut en effet être amené à réaliser des observations qui sortent du cadre du plan, pour peu que la curiosité du chercheur reste en éveil et qu'il réalise lui-même au moins une partie du travail expérimental. Il y a de nombreuses raisons à cela: des événements imprévus ont modifié la situation, un facteur sous-estimé se révèle de première importance, etc.. D'une façon générale dès qu'une expérience vise un objet complexe ou se déroule sur une longue durée, non seulement la maîtrise d'un plan n'est pas assurée, mais surtout l'acquisition possible de données peut largement dépasser celle qui était envisagée.

Ces observations supplémentaires ne seront pas facilement prises en compte, ni interprétées par le traitement prévu. L'épuisement des informations potentielles, en particulier s'il y a des données qualitatives additionnelles, passe alors par les méthodes dites d'analyse de données, employées concurremment à celles de leur traitement classique, et parfois même articulées avec elles dans les cas les plus favorables. Là encore les moyens informatiques ont eu un rôle décisif, puisque les premières méthodes d'analyse de données datent des années 30 et que leur développement tardif n'est pas dû à l'inconscience ou l'indifférence, mais à l'impossibilité de réaliser de lourds calculs, et plus encore d'essayer de nouvelles procédures sur des fichiers réels.

D'autre part quelle que soit la discipline, *l'organisation de toutes les expériences possibles* n'est pas accessible loin de là. Dans certains cas les raisons sont économiques (les sélections sont presque toujours "unilatérales", l'expérimentation complète serait trop chère ou trop longue, ...) ou déontologiques (les médicaments sont faits pour guérir les sujets malades); dans d'autres cas les raisons sont d'ordre logique: la situation n'a pas été complètement analysée, ou on n'a pas été capable d'imaginer toutes les circonstances possibles. Dans l'étude des systèmes complexes, et bien entendu dans leur gestion, l'une des difficultés essentielles est précisément d'oublier des cas de figures et par conséquent de ne pouvoir y faire face quand ils se présentent. C'est sans doute ici qu'il faudrait dire quelques mots du "savoir-faire", de "l'expérience acquise", qui permettent d'éviter les plus gros écueils.

Il serait naturel d'évoquer au même moment *la question des témoins* qu'il devient de plus en plus difficile de définir [9]. La notion classique de témoin était contemporaine de celle d'évidence; mais celle-ci a pratiquement disparu, remplacée par celle de cohérence entre résultats qui se recoupent et dont la validité est souvent assurée par le fonctionnement d'un modèle, beaucoup plus que par des comparaisons terme à terme.

Et ce n'est pas sans rapport avec la question précédente qu'il faudrait souligner le problème de *la définition de l'individu*, car les choix qu'elle implique sont dans une certaine mesure arbitraires. Dans la hiérarchie des objets concernés par nos expériences ou nos observations, quel est celui, porteur de nos mesures ou de nos dénombrements, qui sera désigné comme "individu" ? c'est-à-dire celui qui représentera le niveau auquel l'interprétation devra se limiter.

En amont des problèmes techniques et méthodologiques, c'est donc toute notre logique qui est en train d'évoluer.

3 - LE PLAN D'OBSERVATION

A la suite de cet ensemble de remarques, on comprend mieux que le plan expérimental ne soit pas la seule manière d'approcher de façon scientifique une réalité complexe, dont on accepte la complexité [10] et dont on ne veut pas risquer la déformation par des simplifications non justifiées.

Nous ne pouvons nous priver d'aborder *les données apparemment non organisées* par l'homme, provenant de la "nature" par opposition à celles qui viennent du "laboratoire" ou du "champ cultivé". En fait la nature est très loin de ne pas être influencée par l'homme: aucune plante, fut-ce un lichen, aucun animal, fut-il un insecte, ne peut prétendre être entièrement libre des actions plus ou moins conscientes des hommes. Même en forêt tropicale, réputée si cahotique, certains arbres sont plantés par l'homme, et ils ne le sont probablement pas n'importe comment puisqu'au moins dans certaines régions celui qui a planté reste propriétaire de la récolte; et en tout état de cause l'agroforesterie tropicale passe par la découverte des structures existantes, même si d'autres "formes" devraient être imposées plus tard. Car on n'a pas de raison de penser que l'homme soit le seul facteur organisateur dans la nature.

De façon plus générale encore le domaine des sciences humaines, telles que la sociologie, l'économie, la psychologie, la pédagogie, etc., se prête mal à la mise en œuvre d'une planification expérimentale, ne serait-ce que pour des raisons déontologiques au niveau individuel ou collectif. Et on comprend bien que ces disciplines ne peuvent, pour autant, être rejetées hors de la science. L'effort méthodologique doit alors porter sur un plan d'observations, c'est-à-dire *une organisation des observations*, qui tiendra compte de certaines hypothèses à tester sur la situation étudiée, et conduira à des *données interprétables* par les méthodes de la statistique et de la modélisation. L'impact d'un nouveau transport urbain, les conséquences d'une décision scolaire, les effets secondaires d'un médicament, ... sont des questions difficiles pour lesquelles notre méthodologie est insuffisante et à propos desquelles il existe pourtant une demande pressante des professionnels correspondant.

L'acquisition des données sur le terrain, telle qu'on la conçoit en écologie, ne doit plus être faite sans contraintes méthodologiques, et surtout pas "au hasard" (Chessel [11]). Elle suit elle-même un plan, systématique, qui permet l'interprétation ultérieure, qui est même de façon plus précise un outil calculé pour extraire certaines informations. C'est le plan d'échantillonnage qui contient *toute la volonté méthodologique* au niveau du terrain; il y aura d'autres manières de l'exprimer ensuite au moment du traitement des données. Ainsi on ne peut pas dire qu'il n'y ait pas de plan, mais celui-ci est plus subtil; il ne remodèle pas une réalité matérielle comme dans le cas de l'expérimentation agronomique classique; il crée une réalité intermédiaire sous la forme d'un corpus de données que l'on va transcrire en fichiers passibles d'informatisation. C'est parce qu'on ne connaît pas bien a priori les relations entre cette réalité intermédiaire et la réalité physique que la planification des observations de type écologique doit être particulièrement élaborée et prudente.

4 - CONCLUSIONS

Chacune des deux approches que j'appellerais pour simplifier *plan d'expérience et plan d'observation* a été rendu nécessaire par des conditions différentes dans des régions différentes de la science. La planification, en tant que pratique de production de connaissances, est évidemment indissociable de la discipline dans laquelle elle s'exerce, de son histoire, de ses moyens techniques. Quoiqu'il en soit, ces approches ont des caractéristiques particulières et semblent être perçues de manière bien différente par les chercheurs. La première approche donne l'impression de modifier la nature, d'être à la fois plus grossière, plus volontariste et plus objective dans ses conclusions; la seconde d'être plus soumise aux faits expérimentaux, plus discrète et en même temps moins sûre dans ses interprétations.

En fait, elles ont en commun d'organiser le travail de recherche et de mettre en œuvre un plan, mais pas au même moment de la recherche, pas au même endroit dans les maillons de la chaîne qui relie l'expérimentateur à l'objet de son travail. Mais il n'y a pas contradiction. On peut donc être certain de voir converger ou plus exactement de voir se développer des relations entre ces deux types de travaux.

Dès à présent certains critères paraissent généraux. Celui d'*économie* en premier lieu. Il correspond bien à un souci de tous les expérimentateurs, et semble d'autant plus facile à satisfaire que les objectifs sont bien définis et les hypothèses clairement exprimées. Il est cité par tous les auteurs d'ouvrages concernant l'organisation et le traitement des données.

En second lieu le caractère *progressif* de l'expérience et de son organisation se traduit différemment selon les cas: par des plans séquentiels d'un côté, par des procédures plus ou moins emboîtées de l'autre. En fait l'interaction entre résultats et plans est devenue banale, mais ce qu'il faut peut-être souligner, c'est que le pas de rétro-action des uns sur les autres a diminué au point qu'on puisse intégrer cette rétro-action dans la planification.

La *précision* est évidemment un souci constant, mais elle n'est pas obtenue, selon les approches et selon les objectifs, par les mêmes moyens. Il n'est pas inutile d'insister un peu, non pas sur les aspects techniques, mais sur la justification des efforts qui leur sont consentis. Les physiciens savent bien qu'une décimale peut demander des dizaines d'années de travail, mais que l'enjeu est toujours très important; on pourrait multiplier les exemples concernant cette question dans tous les domaines: astronomie, mécanique, télécommunications, etc. Les biologistes se sont longtemps contentés à juste titre d'ordres de grandeur, jusqu'au jour où les progrès de leurs connaissances, l'étude de phénomènes répétitifs, les besoins de la modélisation aussi bien en dynamique de populations qu'en évolution moléculaire, ont montré que de petites variations d'un paramètre pouvaient entraîner des conséquences très significatives dans le fonctionnement des systèmes biologiques qu'ils étaient en train d'analyser. Autrement dit, la course à la précision atteint maintenant la biologie et entraîne des points de vue méthodologiquement nouveaux.

En conclusion, je voudrais dire que le domaine *des plans d'expérimentation et d'observation* me paraît loin d'être épuisé, parce que les exigences des chercheurs augmentent, que les sujets qu'ils acceptent d'étudier sont de plus en plus marqués par leur complexité, que les méthodes, enfin, qu'ils pourront adopter, reflètent dans une large mesure l'état d'avancement de leurs disciplines.

Note: Le point de départ de ce texte réside dans une intervention d'introduction à la journée d'étude de la Société Française de Biométrie en 1985. Les deux lecteurs qui ont examiné le manuscrit soumis à cette revue ont exprimé, en vue de la version finale, des critiques très constructives, dont je les remercie vivement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] PRIGOGINE, J. et STENGERS, J., *La nouvelle alliance*, Gallimard, Paris, 1979.
- [2] BACHELARD, G., *Le rationalisme appliqué*, Vrin, Paris, 1955.
- [3] FISHER, R.A., "The place of Design of experiments in the logic of scientific inference", *Le plan d'expériences*, Colloque international du CNRS, CNRS éd., Paris, 1963, pp. 13-19.
- [4] BATSCHELET, E., *Circular Statistics in Biology*, Academic Press, New-York, 1981.
- [5] FISHER, R.A., *The design of experiments*, Oliver and Boyd, London, 1951 (1ère édition, 1935).
- [6] YATES, F., *Sampling methods for censures and surveys*, Griffin, London, 1965 (1ère édition 1949).
- [7] KEMPTHORNE, O., *The design and Analysis of Experiments*, John Wiley and Sons, New York, 1952.
- [8] SEMPE, M., et al., Rapport d'activité terminal de l'Equipe Française, Centre international de l'Enfance, XIII^e Réunion de Coordination des équipes chargées des études sur la croissance et le développement de l'Enfant Normal, 60 p. + ann., Groupe d'Auxologie Médico-sociale, Hopital Debrousse, Lyon, 1976.
- [9] LEGAY, J.-M., Méthodes et modèles dans l'étude des systèmes complexes, Colloque National du MRT "Diversification des modèles de développement rural; questions et méthodes", *Les cahiers de la Recherche Développement*, n° 11, 1986 (sous presse).
- [10] LEGAY, J.-M., "Contribution à l'étude de la complexité dans les systèmes biologiques", Ecole de Biologie Théorique du CNRS, Solignac, 10-12 juin 1985.
- [11] CHESSEL, D., "Description non paramétrique de la dispersion spatiale des individus d'une espèce", in *Biométrie et Ecologie*, ed. par Legay J.M. et Tomassone R., Soc. Fr. de Biométrie, 1, 1978, pp. 45-135.