

Principes d'expérimentation

Planification des expériences
et analyse de leurs résultats

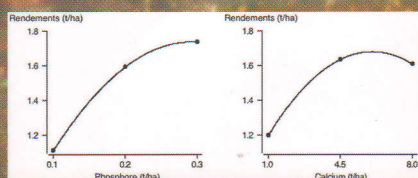
Pierre Dagnelie

16	2	7	9	8	10	6	4
15	13	14	1	3	11	5	12
14	10	12	3	5	9	1	16
4	15	7	8	13	11	2	6
7	2	10	5	15	6	11	9
12	1	14	4	8	13	16	3

Planification



Réalisation



Interprétation

Sources de variation	Degrés de liberté	S. des carrés des écarts	Carrés moyens	F	P
Phosphore	2	6,2949	3,1474	39,9***	0,0000
Régression linéaire	1	5,7348	5,7348	72,8***	0,0000
Régression quadrat.	1	0,5601	0,5601	7,11*	0,018
Calcium	2	3,5022	1,7511	22,2***	0,0000
Régression linéaire	1	2,4494	2,4494	31,1***	0,0001
Régression quadrat.	1	1,0528	1,0528	13,4**	0,0023
Interaction	4	0,1525	0,0381	0,48	0,75
Blocs	2	1,9191	0,9596		
Variation résiduelle	15	1,1820	0,0788		
Totaux	25	13,0607			

Analyse

Table des matières

Introduction	13
Observation et expérimentation. Historique. Protocole expérimental. Plan général. Objectif. Deux tendances générales. Logiciels. Bibliographie. Documentation par internet.	
1 Le but et les conditions de l'expérience	23
1.1 Définition du but de l'expérience	24
Expérience à objectif unique. Expérience à objectifs multiples.	
1.2 Définition des conditions de l'expérience	26
Expériences plus ou moins importantes. Stratégie ou programme expérimental. Conditions réglementaires.	
2 Les facteurs et les traitements ou objets	31
2.1 Concepts de base	32
La notion de facteur. La notion de traitement ou objet.	
2.2 Les expériences à un facteur	35
Le choix des modalités. Les témoins ou objets de référence.	
2.3 Les expériences factorielles et factorielles fractionnaires	38
Principes généraux. Les expériences factorielles complètes. Les expériences factorielles fractionnaires.	
2.4 Les autres expériences à deux ou plusieurs facteurs	54
L'étude des surfaces de réponse. L'étude des mélanges. Les plans optimaux. Les expériences organisées en deux ou plusieurs phases. Les expériences numériques.	
3 Les unités expérimentales	79
3.1 La notion d'unité expérimentale	80
3.2 Les dimensions des unités expérimentales	81
Principes généraux. Les bordures et les périodes tampons.	

3.3	La forme des unités expérimentales	86
3.4	Le nombre de répétitions	88
3.5	La variabilité du matériel expérimental	93
	Principes généraux. L'étude de la variabilité par le modèle de SMITH. L'étude de la variabilité par l'analyse spatiale.	
3.6	Exemple : expérience d'uniformité	97
	Présentation et données. Interprétation des résultats : modèle de SMITH. Interprétation des résultats : analyse spatiale.	
4	Les observations	107
4.1	Différents types d'observations	108
4.2	La nature et l'enregistrement des observations	110
5	Les expériences complètement aléatoires	115
5.1	Principes	116
5.2	Analyse des résultats	118
5.3	Discussion	120
5.4	Exemple 1 : expérience complètement aléatoire à deux facteurs ...	123
	Présentation et données. Analyse des résultats. Importance de la randomisation.	
5.5	Exemple 2 : expérience complètement aléatoire à quatre facteurs ..	131
	Présentation et données. Interprétation des résultats : analyse de la variance. Interprétation des résultats : demi-diagramme de probabilité. Interprétation des résultats : régression multiple. Étude de deux expériences factorielles fractionnaires.	
6	Les expériences en blocs aléatoires complets	147
6.1	Principes	148
	Les expériences en champ. Quelques autres situations.	
6.2	Analyse des résultats	151
6.3	Discussion	152
6.4	Exemple 1 : expérience en blocs aléatoires complets (planification)	156
	Présentation. Parcelles sans bordures. Parcelles avec bordures.	
6.5	Exemple 2 : expérience en blocs aléatoires complets (analyse de résultats)	164
	Présentation et données. Analyse des résultats : analyse de la variance. Analyse des résultats : régression.	

7 Les expériences en parcelles divisées (<i>split-plot</i>) et en bandes croisées (<i>split-block</i>)	175
7.1 Principes	176
Les expériences en blocs aléatoires complets et parcelles divisées.	
Autres dispositifs expérimentaux en parcelles divisées. Les expériences en bandes croisées.	
7.2 Analyse des résultats	180
Les expériences en blocs aléatoires complets et parcelles divisées.	
Autres dispositifs expérimentaux en parcelles divisées. Les expériences en bandes croisées.	
7.3 Discussion	184
7.4 Exemple 1 : expérience en blocs aléatoires complets et parcelles divisées	187
Présentation et données. Analyse des résultats.	
7.5 Exemple 2 : expérience en blocs aléatoires complets et bandes croisées	194
Présentation et données. Analyse des résultats.	
8 Les expériences en carré latin et avec permutation des objets (<i>cross-over</i>)	201
8.1 Principes	202
Le carré latin. Le dispositif avec permutation des objets (<i>cross-over</i>).	
8.2 Analyse des résultats	205
Le carré latin. Le dispositif avec permutation des objets (<i>cross-over</i>). Notions complémentaires.	
8.3 Discussion	209
8.4 Quelques cas particuliers et extensions du carré latin	210
8.5 Exemple 1 : expérience en carré latin	214
Présentation et données. Analyse des résultats.	
8.6 Exemple 2 : expérience avec permutation des objets (<i>cross-over</i>)	221
Présentation et données. Analyse des résultats.	
9 Les expériences en blocs aléatoires incomplets : expériences non factorielles	227
9.1 Principes	228
Généralités. Les blocs incomplets équilibrés. Les réseaux carrés équilibrés et les réseaux équilibrés. Les carrés latins incomplets. Les dispositifs partiellement équilibrés. Le cas des surfaces de réponse et des plans optimaux.	

9.2	Analyse des résultats Les blocs incomplets équilibrés. Les réseaux carrés équilibrés et les carrés latins incomplets.	242
9.3	Discussion	247
9.4	Exemple 1 : expérience en blocs incomplets équilibrés Présentation et données. Analyse des résultats.	249
9.5	Exemple 2 : expérience en réseau carré équilibré Présentation et données. Analyse des résultats.	253
10	Les expériences en blocs aléatoires incomplets : expériences factorielles	259
10.1	Principes Généralités. La confusion complète. La confusion partielle. Les expériences factorielles fractionnaires et à répétition unique. Quelques principes de construction.	260
10.2	Analyse des résultats	268
10.3	Discussion	270
10.4	Exemple : expérience avec confusion complète Présentation et données. Analyse des résultats.	271
11	Les facteurs lieux et temps	277
11.1	Les expériences répétées dans l'espace et/ou dans le temps Principes. Analyse des résultats. Discussion.	278
11.2	Les mesures répétées à différents moments sur les mêmes unités expérimentales Principes. Analyse des résultats. L'étude des successions de cultures ou rotations.	287
11.3	Exemple 1 : expériences répétées en plusieurs endroits Présentation et données. Analyse des résultats.	294
11.4	Exemple 2 : expériences répétées en plusieurs endroits et au cours de plusieurs années Présentation et données. Analyse des résultats.	303
11.5	Exemple 3 : mesures répétées à différents moments Présentation et données. Analyse des résultats.	311
11.6	Exemple 4 : comparaison de successions de cultures Présentation. Analyse des résultats.	319

12 Notions complémentaires	323
12.1 Introduction	324
12.2 Les cultures mélangées	324
12.3 Quelques questions relatives au voisinage des parcelles	326
Les dispositifs expérimentaux équilibrés pour les parcelles voisines.	
Les dispositifs expérimentaux avec témoins systématiques. L'analyse des résultats avec ajustement en fonction des parcelles voisines.	
12.4 L'analyse de la variance et ses généralisations	332
L'analyse de la variance orthogonale et non orthogonale. L'analyse de la covariance. Le modèle linéaire général. Le modèle linéaire mixte et le modèle linéaire généralisé. L'analyse de la variance à plusieurs dimensions.	
12.5 Les données manquantes	351
12.6 L'étude des résidus de l'analyse de la variance	352
12.7 L'analyse de deux ou plusieurs variables	354
12.8 Les méthodes bayésiennes	358
12.9 La simulation de résultats d'expériences	358
Synthèse	363
Généralités. La planification des expériences. La réalisation des expériences.	
L'analyse et l'interprétation des résultats. Et puis encore ...	
Tables	373
Permutations aléatoires de 10, 20 et 50 nombres. Carrés latins de base.	
Index bibliographique	377
Index des traductions et sigles anglais	399
Index des matières	405

Le livre

Principes d'expérimentation : planification des expériences et analyse de leurs résultats présente les notions de base de l'expérimentation, considérée comme l'utilisation raisonnée des plans d'expériences. Cet ouvrage s'étend de la conception de tels plans à l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus.

Ces notions sont présentées d'une manière très générale et sont illustrées par de nombreux exemples. L'ensemble comprend aussi des tables numériques, un index bibliographique de plus de 400 références, un index des traductions et sigles anglais, et un index des matières. Des informations complémentaires sont disponibles sur un site web.

Ce livre s'adresse aux enseignants, aux étudiants et aux chercheurs de toutes les disciplines qui font appel à la méthode expérimentale, dans le cadre des universités, des grandes écoles et des centres de recherche publics et privés. Il constitue un complément aux deux tomes de *Théorie et méthodes statistiques : applications agronomiques* (1969-1970), et de *Statistique théorique et appliquée* (1998 et rééditions ultérieures).

L'auteur

Pierre Dagnelie est ingénieur agronome et docteur en sciences agronomiques, diplômé de la Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux (Belgique). Il a acquis une formation complémentaire en mathématique et en statistique à l'Université libre de Bruxelles.

Professeur émérite de la Faculté de Gembloux, il y a enseigné la statistique théorique et appliquée pendant plus de 35 ans. Il a été professeur visiteur dans des universités et institutions d'enseignement supérieur de différents pays africains, américains et européens, et a effectué des missions scientifiques dans une trentaine de pays.

Pierre Dagnelie est ancien président et *Honorary Life Member* de la Société internationale de Biométrie (*International Biometric Society*), membre étranger de l'Académie d'Agriculture de France, *Honorary Fellow* de la *Royal Statistical Society* de Grande-Bretagne, et titulaire du prix du statisticien d'expression française, décerné par les Sociétés de Statistique de Paris et de France.



ISBN 978-2-87016-117-3



9 782870 161173