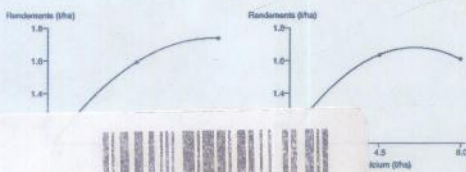


Pierre Dagnelie

# Principes d'expérimentation

## Planification des expériences et analyse de leurs résultats

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



Source de variation	Degrés de liberté	S. des carrés des écarts	Carrés moyens	F	P
Phosphore	2	6,2940	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
Erreur	2	1,9191	0,9596		
Variation résiduelle	15	1,9200	0,0788		
Totaux	25	13,0567			



29930

AGR 122



Pierre Dagnelie



29930

# PRINCIPES D'EXPÉRIMENTATION

Planification des expériences et analyse  
de leurs résultats



29930

LES PRESSES AGRONOMIQUES DE GEMBLoux

# Table des matières

<b>Introduction</b> .....	13
Observation et expérimentation. Historique. Protocole expérimental. Plan général. Objectif. Deux tendances récentes. Bibliographie. Logiciels. Remerciements.	
<b>1 Le but et les conditions de l'expérience</b> .....	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.	
<b>2 Les facteurs et les traitements ou objets</b> .....	29
2.1 Concepts de base .....	30
La notion de facteur. La notion de traitement ou objet.	
2.2 Les expériences à un facteur .....	33
Le choix des modalités. Les témoins ou objets de référence.	
2.3 Les expériences factorielles et factorielles fractionnaires .....	36
Principes généraux. Les expériences factorielles complètes. Les expériences factorielles fractionnaires.	
2.4 Les autres expériences à deux ou plusieurs facteurs .....	51
L'étude des surfaces de réponse. L'étude des mélanges. Les plans optimaux. Quelques autres possibilités.	
<b>3 Les unités expérimentales</b> .....	75
3.1 La notion d'unité expérimentale .....	76
3.2 Les dimensions des unités expérimentales .....	77
Principes généraux. Les bordures et les périodes tampons.	
3.3 La forme des unités expérimentales .....	82
3.4 Le nombre de répétitions .....	84

3.5	La variabilité du matériel expérimental .....	88
	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 .....	92
	Présentation et données. Interprétation des résultats : modèle de SMITH. Interprétation des résultats : analyse spatiale.	
<b>4</b>	<b>Les observations .....</b>	<b>103</b>
4.1	Différents types d'observations .....	104
4.2	La nature et l'enregistrement des observations .....	106
<b>5</b>	<b>Les expériences complètement aléatoires .....</b>	<b>109</b>
5.1	Principes .....	110
5.2	Analyse des résultats .....	112
5.3	Discussion .....	114
5.4	Exemple 1 : expérience complètement aléatoire à deux facteurs ...	117
	Présentation et données. Analyse des résultats. Importance de la randomisation.	
5.5	Exemple 2 : expérience complètement aléatoire à quatre facteurs ..	125
	Présentation et données. Interprétation des résultats : analyse de la variance. Interprétation des résultats : demi-diagramme de probabilité. Interprétation des résultats : régression multiple. Simulation d'expériences factorielles fractionnaires.	
<b>6</b>	<b>Les expériences en blocs aléatoires complets .....</b>	<b>141</b>
6.1	Principes .....	142
	Les expériences en champ. Quelques autres situations.	
6.2	Analyse des résultats .....	145
6.3	Discussion .....	146
6.4	Exemple 1 : expérience en blocs aléatoires complets (planification)	150
	Présentation. Parcelles sans bordures. Parcelles avec bordures.	
6.5	Exemple 2 : expérience en blocs aléatoires complets .....	158
	Présentation et données. Analyse des résultats : analyse de la variance. Analyse des résultats : régression.	
<b>7</b>	<b>Les expériences en parcelles divisées (<i>split-plot</i>) et en bandes croisées (<i>split-block</i>) .....</b>	<b>169</b>
7.1	Principes .....	170
	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 .....	173
7.3	Discussion .....	177
7.4	Exemple 1 : expérience en blocs aléatoires complets et parcelles divisées .....	180
	Présentation et données. Analyse des résultats.	
7.5	Exemple 2 : expérience en blocs aléatoires complets et bandes croisées .....	186
	Présentation et données. Analyse des résultats.	
<b>8</b>	<b>Les expériences en carré latin et avec permutation des objets (<i>cross-over</i>) .....</b>	<b>193</b>
8.1	Principes .....	194
	Le carré latin. Le dispositif avec permutation des objets ( <i>cross- over</i> ).	
8.2	Analyse des résultats .....	197
	Le carré latin. Le dispositif avec permutation des objets ( <i>cross- over</i> ). Notions complémentaires.	
8.3	Discussion .....	200
8.4	Quelques cas particuliers et extensions du carré latin .....	202
8.5	Exemple 1 : expérience en carré latin .....	205
	Présentation et données. Analyse des résultats.	
8.6	Exemple 2 : expérience avec permutation des objets ( <i>cross-over</i> ) ..	211
	Présentation et données. Analyse des résultats.	
<b>9</b>	<b>Les expériences en blocs aléatoires incomplets : expériences non factorielles .....</b>	<b>217</b>
9.1	Principes .....	218
	Généralités. Les blocs incomplets équilibrés. Les réseaux carrés équi- librés et les réseaux équilibrés. Les carrés latins incomplets. Les dis- positifs partiellement équilibrés. Le cas des surfaces de réponse et des plans optimaux.	
9.2	Analyse des résultats .....	232
	Les blocs incomplets équilibrés. Les réseaux carrés équilibrés et les carrés latins incomplets.	
9.3	Discussion .....	236
9.4	Exemple 1 : expérience en blocs incomplets équilibrés .....	239
	Présentation et données. Analyse des résultats.	
9.5	Exemple 2 : expérience en réseau carré équilibré .....	242
	Présentation et données. Analyse des résultats.	

<b>10 Les expériences en blocs aléatoires incomplets :</b>	
<b>  expériences factorielles .....</b>	<b>247</b>
10.1 Principes .....	248
Généralités. La confusion complète. La confusion partielle. Les expériences factorielles fractionnaires et à répétition unique. Quelques principes de construction.	
10.2 Analyse des résultats .....	256
10.3 Discussion .....	257
10.4 Exemple : expérience avec confusion complète .....	258
Présentation et données. Analyse des résultats.	
<b>11 Les facteurs lieux et temps .....</b>	<b>265</b>
11.1 Les expériences répétées dans l'espace et/ou dans le temps .....	266
Principes. Analyse des résultats. Discussion.	
11.2 Les mesures répétées à différents moments sur les mêmes unités expérimentales .....	275
Principes. Analyse des résultats. L'étude des successions de cultures ou rotations.	
11.3 Exemple 1 : expériences répétées en plusieurs endroits .....	282
Présentation et données. Analyse des résultats.	
11.4 Exemple 2 : expériences répétées en plusieurs endroits et au cours de plusieurs années .....	290
Présentation et données. Analyse des résultats.	
11.5 Exemple 3 : mesures répétées à différents moments .....	298
Présentation et données. Analyse des résultats.	
11.6 Exemple 4 : comparaison de successions de cultures .....	305
Présentation. Analyse des résultats.	
<b>12 Notions complémentaires .....</b>	<b>311</b>
12.1 Introduction .....	312
12.2 Les cultures mélangées .....	312
12.3 Quelques questions relatives au voisinage des parcelles .....	314
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 .....	320
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 .....	336
12.6 L'étude des résidus de l'analyse de la variance .....	338
12.7 L'analyse de deux ou plusieurs variables .....	340
12.8 Les méthodes bayésiennes .....	343
12.9 La simulation de résultats d'expériences .....	343
<b>Synthèse</b> .....	349
Généralités. La planification des expériences. La réalisation des expériences. L'analyse et l'interprétation des résultats. Et puis encore ...	
<b>Tables</b> .....	359
Permutations aléatoires de 10, 20 et 50 nombres. Carrés latins de base.	
<b>Index bibliographique</b> .....	363
<b>Index des traductions anglaises</b> .....	383
<b>Index des matières</b> .....	389

*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 de nombreux exemples. L'ensemble comprend aussi des tables numériques, un index bibliographique de plus de 400 références, un index des traductions anglaises et un index des matières.

Ce livre s'adresse ainsi 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 ouvrages *Théorie et méthodes statistiques : applications agronomiques* (2 vol.), publié initialement en 1969 et 1970, et *Statistique théorique et appliquée* (2 vol.), publié en 1998.

Pierre Dagnelie est ingénieur agronome et docteur en sciences agronomiques, diplômé de la Faculté universitaire 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 il 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*), correspondant 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.

