

AGRICULTURE D'AUJOURD'HUI

Sciences, Techniques, Applications



Méthodes expérimentales en agronomie

Pratique et analyse



Michel Vilain

Editions
TEC
& **DOC**

Table des matières

Introduction	1
--------------------	---

Première partie

Les outils statistiques

Chapitre 1

Rappels de statistique	5
------------------------------	---

1. Deux notions fondamentales : population et échantillon	5
2. Caractéristiques statistiques	6
2.1. Les notations	6
2.2. Rappels des définitions	6
3. Rappel des principales distributions	7
3.1. La loi binomiale	7
3.2. La loi normale	8
3.2.1. La distribution normale à une dimension	8
3.2.2. La distribution normale à deux dimensions	9
3.3. Autres distributions statistiques	10
3.3.1. La distribution de Student	10
3.3.2. La distribution de χ^2	11
3.3.3. La distribution de F	12

Chapitre 2

Théorie de l'échantillonnage et estimation	13
--	----

1. Théorie de l'échantillonnage	13
1.1. Généralités	13
1.2. Distributions d'échantillonnage	14

1.3.	Distributions et relations d'échantillonnage des principales caractéristiques statistiques	14
1.3.1.	Distribution d'échantillonnage de la moyenne $\bar{X}$	14
1.3.2.	Distribution d'échantillonnage de la fréquence F	15
1.3.3.	Distribution d'échantillonnage de la variance et de l'écart type	15
1.3.4.	Distributions d'échantillonnage de différence ou de somme	15
1.4.	Illustrations	16
2.	Estimation des paramètres d'une population	20
2.1.	Estimation ponctuelle	21
2.1.1.	Notion d'estimateur	21
2.1.2.	Estimateur de la moyenne	21
2.1.3.	Estimateur de la variance et de l'écart type	21
2.1.4.	Estimateur d'une proportion	22
2.2.	Estimation par intervalle de confiance	22
2.2.1.	Intervalle de confiance d'une moyenne	22
2.2.2.	Intervalle de confiance d'une proportion	24
2.2.3.	Intervalle de confiance d'une différence	25
2.2.4.	Intervalle de confiance d'une variance et d'un écart type	25
3.	Détermination de la taille d'un échantillon	26
3.1.	Précision pour une moyenne	26
3.2.	Précision pour une proportion	27

Chapitre 3

Les problèmes de comparaison ————— 29

1.	Les types de comparaison	29
2.	Les tests d'hypothèses	30
3.	Les risques d'erreur	31
4.	Puissance d'un test	32
5.	Principaux types de tests	32
6.	Conditions d'application	33

Chapitre 4

Méthodes de comparaison de deux paramètres ————— 35

Section 1.	Tests relatifs à deux moyennes	36
1.	Tests d'égalité	36
1.1.	Échantillons d'effectifs élevés	36
1.1.1.	Principe du test	36
1.1.2.	Applications commentées	37
1.2.	Échantillons d'effectifs faibles	38
1.2.1.	Principe du test	39
1.2.2.	Applications commentées	39
1.3.	Récapitulation	40
2.	Tests de conformité	40
2.1.	Cas où l'échantillon a un effectif élevé	41
2.2.	Cas où l'échantillon a un effectif faible	41

2.3. Autre mode de raisonnement	41
2.4. Applications commentées	41
3. Cas particulier d'échantillons appariés	42
4. Puissance d'un test	44
4.1. Définition	44
4.2. Principaux facteurs de variations de la puissance	45
5. Effectif minimal des échantillons	45

Section 2. Tests relatifs aux proportions et aux variances

1. Tests relatifs aux proportions	47
1.1. Tests d'égalité	47
1.1.1. Principe	47
1.1.2. Application commentée	48
1.2. Tests de conformité	48
1.2.1. Principe	48
1.2.2. Application commentée	49
2. Tests relatifs aux variances et aux écarts types	49
2.1. Tests d'égalité de 2 variances	49
2.2. Tests d'égalité de plus de 2 variances	50
2.2.1. Le test de Bartlett	51
2.2.2. Le test de Hartley	51
2.3. Tests de conformité d'une variance ou d'un écart type	52

Chapitre 5

Comparaison de moyennes de plusieurs populations ——— 53

Section 1. L'analyse de la variance

1. Pourquoi utiliser la variance ?	54
2. Présentation et identification des données	55
3. Le test de comparaison et analyse de la variance à un seul facteur	57
3.1. Principe du test	57
3.2. Simulation des variations de F	58
4. Analyse de la variance à un facteur	59
4.1. L'équation générale de la variance	59
4.2. Calculs pratiques des variations	60
4.3. Récapitulation	61
4.4. L'analyse de la variance : méthode d'estimation	61
4.5. Applications numériques	62
5. Analyse de la variance à deux facteurs	66
5.1. Présentation des données	66
5.2. Équation d'analyse de la variance pour 2 facteurs	67
5.3. Exécution pratique des calculs	69
5.4. Le test de Tukey	70
5.5. Application numérique	70
6. Analyse de la variance à plus de 2 facteurs	72
7. Importance des hypothèses	72

Section 2. Comparaisons multiples de moyennes	73
1. Généralités	73
2. Les différents tests	74
2.1. Le test t	74
2.2. Le test de Dunnett	75
2.3. Le test de Newman et Keuls	75
2.4. Le test de Duncan	76
3. Exemples comparatifs	76

Chapitre 6

Méthodes de comparaison de distributions	79
---	----

1. L'objectif	79
2. Le test χ^2	80
2.1. L'élaboration du test	80
2.2. Formules et conditions d'application	80
3. Applications commentées	81
4. Les tests de normalité	85
4.1. Utilisation des coefficients de Pearson	85
4.2. Ajustement et test χ^2	85
4.3. Droite de Henry	88

Chapitre 7

Régression et corrélation	91
----------------------------------	----

1. Généralités	91
2. La régression	92
2.1. La régression linéaire	92
2.2. Linéarisation	97
2.3. Quelques cas de régression non linéaire	98
2.4. Régression comportant plusieurs variables explicatives	99
3. Corrélation	99
3.1. Décomposition de la variation totale	99
3.2. Mesure de la corrélation	99
3.3. Expressions du coefficient de corrélation linéaire	100
3.4. Variance liée	101
3.5. Corrélation des rangs	101
4. Tests relatifs à la régression et la corrélation	104
4.1. Échantillonnage des coefficients de régression et de corrélation	104
4.2. Tests relatifs au coefficient de corrélation linéaire	106
4.3. Tests relatifs au coefficient de régression	107
4.4. Tests au moyen de l'analyse de la variance	108
4.4.1. Test d'une corrélation	108
4.4.2. Test de linéarité de la régression	109
4.4.3. Application à la régression entre les poids et les longueurs des épis de maïs	110
5. Application de la régression à l'analyse des essais	113

Chapitre 8

Analyse des données	115
1. Généralités	115
2. Les données	115
2.1. Les types de variables	115
2.2. La présentation des données	116
3. Rappel des méthodes d'analyse classiques	116
4. Les méthodes d'analyse multidimensionnelle	120
4.1. L'analyse en composantes principales	121
4.2. L'analyse factorielle des correspondances	123
4.3. Les méthodes de classification	124
4.4. La méthode de segmentation	125
4.5. L'analyse factorielle discriminante	125

Deuxième partie

Pratique et analyse de l'expérimentation

Chapitre 9

Notions générales sur l'expérimentation	129
1. Le protocole expérimental	129
2. Le vocabulaire de l'expérimentation	130
2.1. Les facteurs et les traitements	130
2.2. Parcelles et dispositifs expérimentaux	131
3. Intervention des facteurs de variabilité	132
3.1. Les principales causes de variabilité	132
3.2. Mise en évidence de la variabilité	133
3.3. Appréciation de la variabilité	133
4. Principes généraux de l'expérimentation	136
4.1. La nécessité des répétitions	136
4.2. La répartition au hasard	136
4.3. Interprétation statistique	137

Chapitre 10

Essais et dispositifs expérimentaux	139
1. Les principaux types d'essais	139
1.1. Essais simples et essais complexes	139
1.2. Durée des essais et réseaux d'essais	140
2. Notion d'interaction et essai factoriel	140
2.1. Mise en évidence	140
2.2. Intérêts et inconvénients des essais factoriels	141
2.3. Mesure de l'interaction	142

3.	Les principaux dispositifs expérimentaux	143
3.1.	Dispositif en couples	144
3.2.	Dispositif en randomisation totale	144
3.3.	Dispositif en blocs aléatoires complets	145
3.4.	Dispositif en carré latin	146
3.5.	Dispositifs avec parcelles subdivisées	148
3.5.1.	Dispositif en split-plot	148
3.5.2.	Dispositif en criss-cross	149
3.6.	Comparaison des dispositifs expérimentaux	150

Chapitre 11

Conception, réalisation et conduite des essais ————— 153

1.	Élaboration d'un plan d'expérimentation	153
1.1.	Le thème de l'expérimentation	153
1.2.	Le choix des traitements	154
1.3.	Le choix du dispositif expérimental	155
1.4.	Le choix du nombre de répétitions	155
1.5.	Problèmes de localisation	156
1.6.	Établissement du plan d'un essai	156
1.7.	Budget d'une expérimentation	158
1.8.	Application	158
2.	Installation et conduite d'un essai	161
2.1.	Implantation d'un essai	161
2.2.	La conduite des essais	162
3.	Les observations et la récolte	163
3.1.	Les observations et les notations	163
3.2.	La récolte	164

Chapitre 12

Analyse et interprétation des essais ————— 167

Section 1. Directives générales

1.	Le recueil et l'examen des données	168
2.	Traitement et interprétation des données	169

Section 2. Interprétation d'essais simples

1.	Analyse d'essais en randomisation totale et en blocs aléatoires complets ...	172
1.1.	Principes d'analyse pour un essai en randomisation totale	172
1.2.	Principes d'analyse pour un essai en blocs aléatoires complets	173
1.3.	Exemples	174
2.	Essais en carré latin	181
2.1.	Principe d'analyse	181
2.2.	Exemple	182

Section 3. Interprétation d'essais factoriels

1.	Essais en blocs aléatoires complets	186
1.1.	Principe de l'analyse	186
1.2.	Exemples d'analyse	188

2.	Essais en split-plot	194
2.1.	Principe de l'analyse	195
2.2.	Exemples	196
3.	Essais en criss-cross	203
3.1.	Principe de l'analyse	203
3.2.	Exemple	204
4.	Récapitulation et comparaison des analyses selon le dispositif	207

Chapitre 13

Problèmes particuliers	209
-------------------------------------	-----

1.	Les conditions d'applications de l'analyse de la variance et les transformations	209
1.1.	Rappels des conditions d'application	209
1.2.	La transformation des variables	210
1.2.1.	Les principales transformations	210
1.2.2.	Le choix d'une transformation	211
1.2.3.	Exemples	211
2.	Résultats manquants et résultats aberrants	219
2.1.	Les origines	219
2.2.	Remplacement des données manquantes	220
3.	Compléments d'interprétation	225
4.	Les essais répétés	236
4.1.	Principe d'analyse d'une série d'essais	237
4.2.	Exemple	238
4.3.	Cas des cultures pérennes	243
5.	Les dispositifs non classiques	243
6.	L'interprétation automatique	244
7.	Compte-rendu et diffusion	245

Troisième partie

La modélisation

Chapitre 14

Modèles et prédiction	249
------------------------------------	-----

1.	Généralités	249
2.	Les différents types de modèles	249
3.	Élaboration d'un modèle	250
3.1.	Les principales étapes d'une modélisation	250
3.2.	Les variables et la forme des modèles	251
3.3.	Utilisation des modèles	251
4.	Exemples de recherche d'un modèle	252
4.1.	Recherche d'un premier modèle	252
4.2.	Recherche d'un deuxième modèle	254
4.3.	Autres modèles possibles	257
5.	Valeur d'un ajustement : résidus et distribution des résidus	259
6.	La prédiction	260

*Quatrième partie***Les méthodes d'échantillonnage et les enquêtes***Chapitre 15***Échantillonnage et sondage**

 265**Section 1. Méthodes d'échantillonnage et de sondage** 266

1. Les problèmes d'échantillonnage	266
1.1. Généralités	266
1.2. Définition et notation	266
1.3. Les erreurs lors de l'échantillonnage	267
1.4. L'effectif optimal des échantillons	267
1.5. Les méthodes d'échantillonnage	268
2. Les méthodes probabilistes	268
2.1. L'échantillonnage aléatoire simple	269
2.2. L'échantillonnage systématique	270
2.3. L'échantillonnage par grappes	272
2.4. L'échantillonnage par stratification	275
2.5. L'échantillonnage à plusieurs degrés et à plusieurs phases	279
2.5.1. L'échantillonnage à deux degrés	279
2.5.2. L'échantillonnage à deux phases	283

Section 2. Pratique de l'échantillonnage 284

1. Présentation de la base d'échantillonnage	284
1.1. Origine et constitution	284
1.2. Principales caractéristiques	285
1.3. Populations dérivées	286
2. Élaboration du plan d'échantillonnage	286
2.1. L'objectif	286
2.2. Les effectifs des échantillons et la précision	287
2.3. Les méthodes d'échantillonnage retenues	287
3. Échantillonnage aléatoire	287
3.1. Échantillonnage aléatoire simple	288
3.2. Échantillonnage par groupes	289
4. Échantillonnage systématique	292
5. Échantillonnage aréolaire	293
6. Échantillonnage avec stratification	295
7. Échantillonnage à deux degrés	296
8. Sous-échantillonnage	298
9. Comparaison des différentes méthodes d'échantillonnage	299

*Chapitre 16***Notions générales sur les enquêtes**

 307

1. Généralités	307
2. Les types et la réalisation d'une enquête	307

3. Les méthodes de sondage	309
4. Le questionnaire d'enquête	310
5. Traitement et interprétation des données	311
 Tables statistiques	 313
Bibliographie générale	331
Index	333