

135

L'USINE NOUVELLE

SÉRIE | CONCEPTION

Jacques Goupy
Lee Creighton

INTRODUCTION AUX PLANS D'EXPÉRIENCES

Avec applications



4^e édition

DUNOD

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|-----------|
| Table des matières | V |
| Avant-propos | IX |
| 1 • Faites connaissance avec la méthode des plans d'expériences | 1 |
| 1.1 Processus d'acquisition des connaissances | 1 |
| 1.2 Étude d'un phénomène | 3 |
| 1.3 Terminologie | 4 |
| 1.4 Variables centrées réduites | 8 |
| 1.5 Points expérimentaux | 9 |
| 1.6 Plans d'expériences | 10 |
| 2 • Votre premier plan d'expériences | 15 |
| 2.1 Exemple 01 : je maîtrise la consommation de ma voiture | 15 |
| 3 • Plan d'expériences pour 3 facteurs | 31 |
| 3.1 Exemple 02 : des bijoux en or | 31 |
| 3.2 Conclusion de l'étude | 47 |
| 4 • Plans factoriels complets à 4 facteurs | 49 |
| 4.1 Exemple 03 : la galette des rois | 50 |
| 4.2 Fonction désirabilité | 60 |
| 4.3 Application à l'exemple 03 | 64 |
| 4.4 Conclusion de l'étude | 65 |
| 5 • Notions de statistique appliquées aux plans d'expériences | 67 |
| 5.1 Exemple 04 : durée de vie des outils de coupe jetables | 68 |
| 5.2 Notions de statistique appliquées aux plans d'expériences | 71 |
| 5.3 Facteurs et interactions influents | 81 |
| 5.4 Analyse de la variance | 82 |
| 5.5 Application à l'exemple 04 | 85 |
| 5.6 Conclusion de l'étude | 91 |

| | |
|---|------------|
| 6 * Plans factoriels fractionnaires | 93 |
| 6.1 Exemple 05 : le tellure | 94 |
| 6.2 Théorie des aliasés | 97 |
| 6.3 Calcul de Box | 99 |
| 6.4 Relation d'équivalence | 102 |
| 6.5 Générateurs d'aliasés | 104 |
| 6.6 Construction pratique d'un plan fractionnaire | 105 |
| 6.7 Nombre maximal de facteurs étudiés sur un plan de base | 112 |
| 6.8 Application de la théorie des aliasés à l'exemple 05 | 112 |
| 6.9 Conclusion de l'étude | 113 |
| 7 * Exemples de plans factoriels fractionnaires | 115 |
| 7.1 Exemple 06 : la sulfonation | 116 |
| 7.2 Exemple 07 : le spectrofluorimètre | 124 |
| 7.3 Exemple 08 : les pommes de terre chips | 140 |
| 8 * Ordre des essais | 147 |
| 8.1 Nature des erreurs | 148 |
| 8.2 Exemple 09 : le <i>Penicillium chrysogenum</i> (exemple de blocking) | 151 |
| 8.3 Exemple 10 : les haricots de Yates | 161 |
| 8.4 Exemple 11 : le broyeur (exemple de plan anti-dérive) | 168 |
| 8.5 Avantages et dangers de la randomisation | 175 |
| 9 * Plans pour surfaces de réponse | 179 |
| 9.1 Présentation des plans composites | 179 |
| 9.2 Présentation des plans de Box-Behnken | 180 |
| 9.3 Présentation des plans de Doehlert | 181 |
| 9.4 Exemple 12 : la rectification du contremaître (exemple de plan composite) | 184 |
| 9.5 Exemple 13 : un yoghourt doux (exemple de plan de Box-Behnken) | 194 |
| 9.6 Exemple 14 : l'insecticide (exemple de plan de Doehlert) | 199 |
| 10 * Plans de mélanges | 207 |
| 10.1 Contrainte fondamentale des mélanges | 207 |
| 10.2 Représentation géométrique des mélanges | 208 |
| 10.3 Plans de mélanges classiques | 212 |
| 10.4 Modèles mathématiques des plans de mélanges | 215 |
| 10.5 Exemple 15 : les trois polymères | 217 |

| | |
|---|------------|
| 11 * Notion de plan optimal | 221 |
| 11.1 Exemple d'Hotelling | 221 |
| 11.2 Pesées et plans d'expériences | 223 |
| 11.3 Optimalité | 225 |
| 11.4 Plans optimaux avec un modèle linéaire | 229 |
| 11.5 Quand utiliser des plans optimaux ? | 232 |
| 11.6 Adaptabilité des plans optimaux | 232 |
| 11.7 Exemple 16 : développement d'un détecteur de fissures | 235 |
| 11.8 Exemple 17 : les comprimés du pharmacien | 240 |
| 11.9 Exemple 18 : la crème à bronzer | 248 |
| 12 * Carrés latins et plans associés | 255 |
| 12.1 Exemple 19 : les salaires – un facteur discret à plusieurs niveaux | 255 |
| 12.2 Suite de l'exemple 19 – deux facteurs discrets à plusieurs niveaux | 257 |
| 12.3 Carrés latins | 264 |
| 12.4 Carrés gréco-latins | 265 |
| 12.5 Carrés de Youden | 266 |
| 12.6 Exemple 20 : étude de la pénétrométrie | 267 |
| 13 * Les plans à facteurs mixtes | 271 |
| 13.1 Plans à un facteur | 272 |
| 13.2 Plans à deux facteurs | 275 |
| 13.3 Plans à trois facteurs | 276 |
| 13.4 Plans à quatre facteurs | 277 |
| 13.6 Exemple 21 : Les deux catalyseurs | 279 |
| 13.7 Qu'aurait donné un plan fractionnaire ? | 288 |
| 13.8 Conclusion sur les plans à facteurs mixtes | 294 |
| 14 * Les plans uniformes | 295 |
| 14.1 Introduction | 295 |
| 14.2 Les différents plans uniformes | 296 |
| 14.3 La modélisation mathématique de la réponse | 306 |
| 14.4 Application | 309 |
| 14.5 Plans uniformes pour plusieurs facteurs | 316 |
| 14.6 Utilisation des plans uniformes en expérimentation classique | 317 |
| 15 * Synthèse et conseils | 319 |
| 15.1 Choix d'une méthode d'expérimentation | 319 |
| 15.2 Expérimentation | 325 |
| 15.3 Analyse des résultats | 325 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 15.4 | Acquisition progressive des connaissances | 327 |
| 15.5 | Recommandations | 328 |
| 15.6 | Limites de l'expérimentique | 328 |
| 16 | • Préparer et analyser ses plans d'expériences avec un logiciel | 329 |
| 16.1 | Construire un plan d'expériences | 329 |
| 16.2 | Le tableur de JMP | 335 |
| 16.3 | Choisir et utiliser un modèle | 336 |
| 16.4 | Examiner et analyser les résultats | 338 |
| 16.5 | Principaux graphiques et rapports d'analyse | 339 |
| 16.6 | Transférer et sauvegarder les résultats et les analyses | 341 |

Annexes

| | | |
|----------|---|------------|
| A | • Origine des exemples | 345 |
| B | • Comparaison de deux moyennes indépendantes | 347 |
| C | • Séries d'essais laissant les facteurs principaux insensibles à une dérive linéaire | 349 |
| D | • Introduction au calcul matriciel | 355 |
| | Bibliographie | 361 |
| | Index | 369 |
| | Instructions pour télécharger le logiciel JMP® | 373 |