

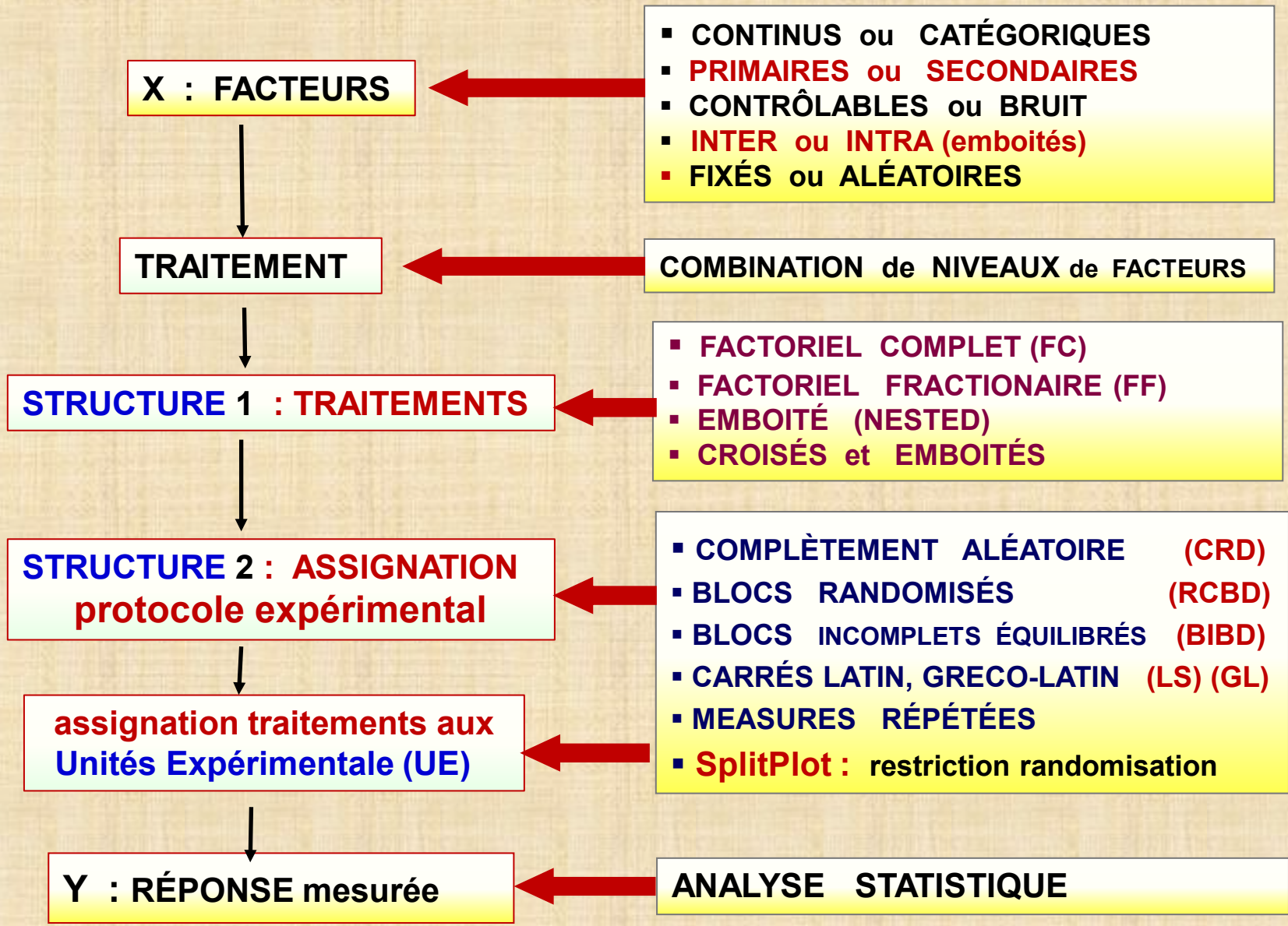
Chapitre 11: Expériences avec unités divisées (SplitPlot)

contrainte à la randomisation : règle plutôt que l'exception
En particulier si présence Facteurs Difficiles à Changer (FDC)

unité expérimentale (UE) = parcelle = WholePlot (WP)
unité expérimentale divisée = sous parcelle = SplitPlot (SP)

- **2 structures: traitements + assignation** **2**
- **Unités expérimentales** **3-8**
- **11 Exemples plans SplitPlot** **9-28**
- **Conception plans SplitPlot** **29-32**
- **3 Méthodes d'analyse** **33-36**
- **6 Exemples d'analyse** **37-59**
 blé – haricot – bois – papier – flat - wind
- **Références** **60**

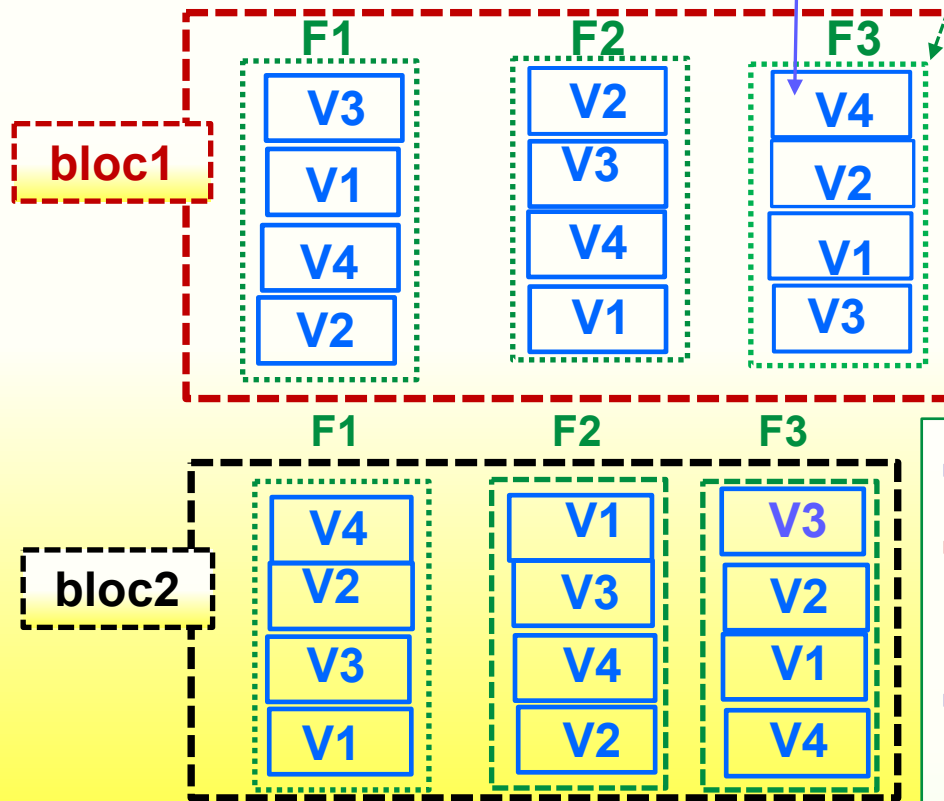
EXPÉRIMENTATION : 2 structures



- **unité expérimentale / observationnelle (UE) : élément de base de l'expérience**
 - soumis à un traitement particulier (croisement des modalités facteurs contrôlables)
 - obtention une ou plusieurs mesures (observations) **en fin** d'expérience
certains cas: **au début** ou **en cours** de l'expérience (covariables)
 - une caractéristique fondamentale de UE est appelée **erreur** (chiffre défini par écart-type (sigma))
source : hétérogénéité des UE , erreur de mesure (appareil), autres sources inconnues
 - il peut y avoir des UE de **différentes tailles** dans une expérience
- **formes diverses selon les disciplines**
 - agronomie (production végétale): **grande** unité WP (WholePlot) et **petite** unité SP (SplitPlot)
WP grande surface SP subdivision de WP donc plus petite surface
 - domaine médical : patient ou volontaire sain (WP), partie d'un corps (SP)
 - domaine industriel – laboratoire : élément ou groupe d'éléments:
certaine quantité de matière, composant automobile, revêtement routier, animaux grande diversité de situations et de possibilités
- **autres particularités des UE**
 - taille (« size ») subdivisées dans certains cas : **2 tailles distinctes**
en agronomie : parcelle (**WholePlot**) et parcelle divisée (**SplitPlot**)
l'idée s'applique aussi dans les autres disciplines
 - SplitPlot : aussi petites que possible
 - homogènes ... difficile avec des sujets vivants ... variables auxiliaires
(age, sexe, poids,...) = **covariables** ou **facteurs blocs**

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

origine: agronomie ... mais s'applique autres disciplines
F = 3 types fertilisant F1 – F2 – F3 assigné WholePlot
V = 4 variétés de blé V1 – V2 – V3 – V4 assigné SubPlot



beaucoup d'expériences industrielles et dans les sciences physiques

situations fréquentes : contraintes à la randomisation complète des essais ...

facteur bloc joue un rôle de répétition
pas relié à la structure SplitPlot

- 2 tailles d'unités expérimentales
- contrainte randomisation des essais
- Identification des facteurs
 - Difficiles À Changer (DAC)
 - Faciles À Changer (FAC)
 - fixés / aléatoires
 - croisés / emboîtés (« nested »)

Expériences en parcelles divisées

Exemple

K. J. Potcner, S. M. Kowalski

How to Analyzed A SplitPlot Experiment

Quality Progress dec. 2004 p.67-74

A_Preatreat: p1 p2 - hard-to-change factor (DAC)

B_stain : s1 s2 s4 s4 - easy-to-change factor (FAC)

8 traitements - 3 répétitions (blocs) : b1, b2, b3

6 WP: WholePlot : wp1, wp2, ..., wp6 – effet (erreur1) aléatoire emboîté A

WP(A) = erreur1 = effet aléatoire = représenté par écart-type σ_{wp}

Erreur2 = ϵ : vient de SP: SubPlot – aléatoire (σ)

SplitPlot model: $Y_{resis} = \text{gen} + A + \text{WP}(A) + B + \epsilon$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ID	WP_id	bloc	A_preatreat	B_stain	Y_resis		bloc2	WP	A_preat	Y_res_s1	Y_res_s2	Y_res_s3	Y-res_s4
1	wp1	b1	p1	s1	43,0		b1	wp1	p1	43,0	51,8	40,8	45,5
2	wp1	b1	p1	s2	51,8		b1	wp2	p2	46,6	53,5	35,4	32,5
3	wp1	b1	p1	s3	40,8		b2	wp3	p1	57,4	60,9	51,1	55,3
4	wp1	b1	p1	s4	45,5		b2	wp4	p2	52,2	48,3	45,9	44,6
5	wp2	b1	p2	s1	46,6		b3	wp5	p1	52,8	59,2	51,7	55,3
6	wp2	b1	p2	s2	53,5		b3	wp6	p2	32,1	34,4	32,2	30,1
7	wp2	b1	p2	s3	35,4								
8	wp2	b1	p2	s4	32,5								
9	wp3	b2	p1	s1	57,4								
10	wp3	b2	p1	s2	60,9								
11	wp3	b2	p1	s3	51,1								
12	wp3	b2	p1	s4	55,3								
13	wp4	b2	p2	s1	52,2								
14	wp4	b2	p2	s2	48,3								
15	wp4	b2	p2	s3	45,9								
16	wp4	b2	p2	s4	44,6								
17	wp5	b3	p1	s1	52,8								
18	wp5	b3	p1	s2	59,2								
19	wp5	b3	p1	s3	51,7								
20	wp5	b3	p1	s4	55,3								
21	wp6	b3	p2	s1	32,1								
22	wp6	b3	p2	s2	34,4								
23	wp6	b3	p2	s3	32,2								
24	wp6	b3	p2	s4	30,1								

FIGURE 1 Factors That Affect Wood's Water Resistance

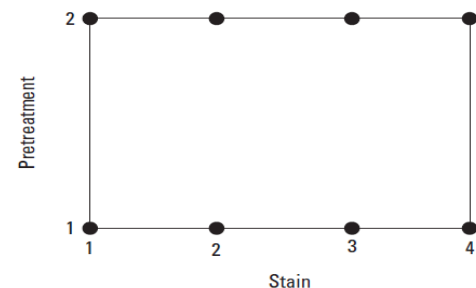
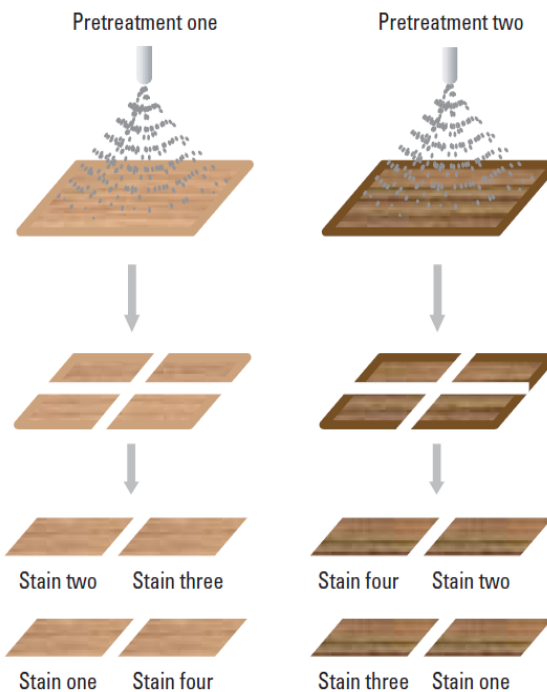


FIGURE 2 Treatment Application



Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

SplitPlot? Questions et réponses pour décider si SplitPlot

Q1 Avez-vous maintenu un facteur constant et ensuite fait des essais avec toutes les autres combinaisons des autres facteurs?

Réponse: oui c'est un SplitPlot

Pas de randomisation complète (complètement aléatoire)

Q2 Avez-vous appliqué un facteur à une unité expérimentale plus grande et un facteur à une unité expérimentale plus petite?

Réponse: ouic'est un SplitPlot

Taille de l'unité expérimentale n'est pas la même pour tous les facteurs.

Q3 Y a-t-il une contrainte qui empêche l'assignation aléatoire des traitements aux unités expérimentales?

Réponse: oui ... c'est un SplitPlot

Restriction sur l'assignation aléatoire des combinaisons de modalités (traitements) aux unités expérimentales.

Q4 Avez-vous conduit les essais en tenant en compte de facteurs difficile à changer?

Réponse: oui C'est un SplitPlot

- plan « SplitPlot » : souvent ... présence de blocs (répétition)

Situations expérimentales : plans SplitPlot

1. Différentes combinaisons des niveaux de facteurs expérimentaux sont testés alors les niveaux de d'autres facteurs expérimentaux sont maintenus constants.

Exemple: la température du four est maintenue constante - on teste différentes combinaisons de d'autres facteurs. On fixe de nouveau la température et on recommence d'autres tests en variant les autres facteurs.
facteurs WholePlot (parcelle) = température du four
facteurs SubPlot (parcelle divisée) = autres facteurs

2. **Expériences en 2 phases**

facteurs appliqués en phase 1 : production de lot de matériel
= facteurs WholePlot

facteurs appliqués en phase 2 : différents traitements
= facteurs SubPlot

3. **Expériences mixture-process**

cas A : préparation matériel (mixture - facteurs WholePlot)
exécution tests paramètres process (facteurs SubPlot)

cas B : inverse du cas A

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

Situations expérimentales : plans SplitPlot

4. Expériences séquentielles

changer les modalités de certains facteurs est:
impraticable, longue durée, couteux.

facteurs maintenus constants durant plusieurs tests

= facteurs WholePlot

autres facteurs = facteurs SubPlot

5. Expériences prototypes

facteurs WholePlot : facteurs de design

facteurs SubPlot : niveaux de tests

6. Expériences conception robuste Taguchi

plans Taguchi : plan interne X plan externe

plan interne = facteurs WholePlot

plan externe = facteurs SplitPlot

Analyses statistiques

6 exemples

1 = blé 5 = haricot
 7 = bois 8 = papier
 13 = flatfind 19 = wind tunnel

parmi les exemples suivants

EXEMPLES : Expériences en parcelles divisées

NO	NOM	DOMAINE	Nb X	DIFFI	ESSAIS	PLAN	ANALYSE
11.1	blé	agronomie	2	1	20	2x2	méthode 1
11.2	four	alimentation	3	1	8	2 ³	méthode 1
11.3	chloro	agriculture	2	1	24	4x3	méthode 1
11.4	yield	agriculture	2	1	16	4x2	méthode 1
11.5	harico	agriculture	2	1	72	6x3	méthode 1
11.6	corro	métallurgie	2	1	24	4x3	méthode 1
11.7	bois	structure	2	1	24	4x2	méthode 1
11.8	papier	fabrication	2	1	36	4x3	méthode 1
11.11	plasma	électronique	5	4	32	2 ⁵	méthode 2
11.12	race	voiture	4	2	50	3 ⁴	méthode 3
11.13	flat-	images	11	3	64	2 ⁸⁻³⁻¹	méthode 2

- ANALYSE-exemples-ch11 SplitPlot
- + Ex-11.1-blé-SplitPlot(2fact-1dac-1fac-2x2=4)
- + Ex-11.3-chlorophyl-SplitPlot(2fact-1dac-1fac-2x2=4)
- + Ex-11.4-yield-SplitPlot(2fact-1dac-1fac-4x2=8)
- + Ex-11.5-haricot-SplitPlot(2fact-1dac-1fac-6x3=18)
- + Ex-11.6-corrosion-SplitPlot(2fact-1dac-1fac-4x3=12)
- Ex-11.7-bois-SplitPlot(2fact-1dac-1fac-2x4=8)
- + Ex-11.8-papier-SplitPlot(2fact-1dac-1fac-4x3=12)
- Ex-11.9-response-SplitPlot(4fact-1dac-3fac-2x2x2x2=16trait-4wp-1blo-24ess).sta
- + Ex-11.10-strength-SplitPlot(4fact-1dac-3fac-2x2x2x2=16trait-4wp-1blo-32ess).sta
- + Ex-11.11-plasma-SplitPlot(5fact-4dac-1fac-2x2x2x2x2=32trait-16wp-1blo-32ess).sta
- Ex-11.11b-effets plasma.sta
- Ex-11.12-raceCar-SplitPlot(4fact-2dac-2fac-3x3x3x3=81trait-10wp-1blo-50ess).sta
- + Ex-11.13-flatfind-SplitPlot(11fact-3dac-8fac-all at 2 levels-16trait-6wp-1bo-64ess).sta
- Ex-11.13b-BundleVariables-flatfind.sta
- Ex-11.13b-ListesComparatives-flatfind.sta
- Ex-11.14-response-SplitPlot(5 fact-ccd-28ess).sta
- Ex-11.15-metal-SplitPlot(2fact-1dac-1fac-3x3=9trait-6wp-2blo-18ess).sta
- Ex-11.16-vinyl-SplitPlot(5fact-2dac-3fac-2x2X(mélange)-7wp-1blo-28ess).sta
- Ex-11.17-strength-SplitPlot(4fact-1dac-3fac-2x2x2x2=16trait-??wp-96runs-6blo-96ess).sta
- Ex-11.18-miliken-Split Plot(2fact-1dac-1fac-2x3=6trait-8wp-24ess).sta
- Ex-11.19-wind tunnel.sta
- + Ex-11.20-exemples de NCSS.sta

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot) : organisation données

Exemple 11.1 : agronomie Kutner & all 5 ed. problème 27.20 p.1170

Étude sur l'influence de 2 facteurs sur le rendement Y_yield de production de blé

2 facteurs fixés ayant 2 modalités chacun : **facteur1 = irrigation** **facteur2 = fertilisant**

A_irrig : irrig1, irrig2 **B_fert** : fert1, fert2

plan complet 2x2 : 4 traitements / 5 répétitions (bloc) : b1, b2, b3, b4, b5 4 x 5 = 20 observations

L'assignation des traitements n'est pas en mode complètement aléatoire : mode SplitPlot.

On tient en compte la facilité / difficulté de changer les modalités des facteurs.

Irrigation est un facteur difficile à changer (DAC) : on le fixe en premier

Fertilisant est un facteur facile à changer (FAC) : on le fait varier ensuite à ses 2 modalités.

10 grandes unités expérimentales WP_id (WholePlot) = wp1, wp2, ..., wp10 variable **WP constitue un facteur aléatoire.**

variable WP est nécessaire dans le fichier au moment de l'analyse si on utilise l'approche MODÈLES MIXTES avec VEPAC.

Chaque WP est divisé en 2 plus petites unités expérimentales SplitPlot : SP_id = sp11, sp12, ..., sp101, sp102

Cette information est dans le fichier mais elle n'est pas nécessaire pour l'analyse.

Normalement elle n'est pas identifiée dans le fichier. Ici, nous avons fait une exception.

Irrigation est assigné à WP et fertilisant est assigné à SP dans WP : **fertilisant est emboîté dans irrigation**

L'organisation des données (colonnes 10 à 14) est analogue à celle de mesures répétées : fertilisant est INTRA - irrigation est INTER

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
id	field	WholePlot_id	SubPlot_id	A_irrigation	B_fertilisant	bloc	Y_yield	c9	WP2	A_irrig2	bloc2	Y_fert1	Y_fert2	c15	WP3	bloc3	A3_ir	B3_fert	Y3_yield	c21	WP4	bloc4	A4_ir	Y_f1	Y_f2
1	1	f1	wp1	sp11	irrig1	fert1	b1	43	wp1	irrig1	b1	43	48		wp1	b1	irrig1	fert1	43		wp1	b1	irrig1	43	48
2	2	f1	wp1	sp12	irrig1	fert2	b1	48	wp2	irrig1	b1	40	43		wp1	b1	irrig1	fert2	48		wp6	b1	irrig2	40	43
3	3	f2	wp2	sp21	irrig1	fert1	b1	40	wp3	irrig1	b2	31	36		wp2	b1	irrig2	fert1	40		wp2	b2	irrig1	31	36
4	4	f2	wp2	sp22	irrig1	fert2	b1	43	wp4	irrig1	b2	27	30		wp2	b1	irrig2	fert2	43		wp7	b2	irrig2	27	30
5	5	f3	wp3	sp31	irrig1	fert1	b2	31	wp5	irrig1	b3	36	39		wp3	b2	irrig1	fert1	31		wp3	b3	irrig1	36	39
6	6	f3	wp3	sp32	irrig1	fert2	b2	36	wp6	irrig2	b3	63	70		wp3	b2	irrig1	fert2	36		wp8	b3	irrig2	63	70
7	7	f4	wp4	sp41	irrig1	fert1	b2	27	wp7	irrig2	b4	52	53		wp4	b2	irrig2	fert1	27		wp4	b4	irrig1	52	53
8	8	f4	wp4	sp42	irrig1	fert2	b2	30	wp8	irrig2	b4	45	48		wp4	b2	irrig2	fert2	30		wp9	b4	irrig2	45	48
9	9	f5	wp5	sp51	irrig1	fert1	b3	36	wp9	irrig2	b5	47	51		wp5	b3	irrig1	fert1	36		wp5	b5	irrig1	47	51
10	10	f5	wp5	sp52	irrig1	fert2	b3	39	wp10	irrig2	b5	54	57		wp5	b3	irrig1	fert2	39		wp10	b5	irrig2	54	57
11	11	f6	wp6	sp61	irrig2	fert1	b3	63							wp6	b3	irrig2	fert1	63						
12	12	f6	wp6	sp62	irrig2	fert2	b3	70							wp6	b3	irrig2	fert2	70						
13	13	f7	wp7	sp71	irrig2	fert1	b4	52							wp7	b4	irrig1	fert1	52						
14	14	f7	wp7	sp72	irrig2	fert2	b4	53							wp7	b4	irrig1	fert2	63						
15	15	f8	wp8	sp81	irrig2	fert1	b4	45							wp8	b4	irrig2	fert1	45						
16	16	f8	wp8	sp82	irrig2	fert2	b4	48							wp8	b4	irrig2	fert2	48						
17	17	f9	wp9	sp91	irrig2	fert1	b5	47							wp9	b5	irrig1	fert1	27						
18	18	f9	wp9	sp92	irrig2	fert2	b5	51							wp9	b5	irrig1	fert2	51						
19	19	f10	wp10	sp101	irrig2	fert1	b5	54							wp10	b5	irrig2	fert1	54						
20	20	f10	wp10	sp102	irrig2	fert2	b5	57							wp10	b5	irrig2	fert2	57						

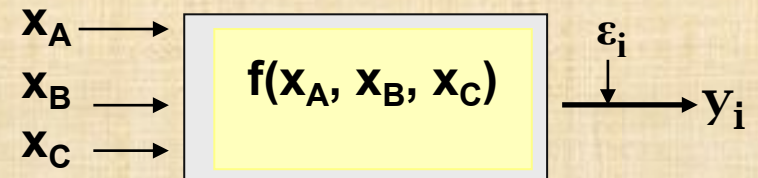
Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

Exemple 11.2 – four à cuisson – mode complètement aléatoire – cas 1
expérience en 2 phases : pâte + cuisson



Expérience 2^3 - 8 essais

facteur	modalité
A. quantité sucre	- et +
B. quantité farine	- et +
C. vitesse convoyeur	- et +



$$Y_i = f(x_A, x_B, x_C) + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, 8$$

$$\text{Var}(\varepsilon_i) = \text{Var}(y_i) = \sigma^2$$

cas 1 : expérience en mode complètement aléatoire (CRD)

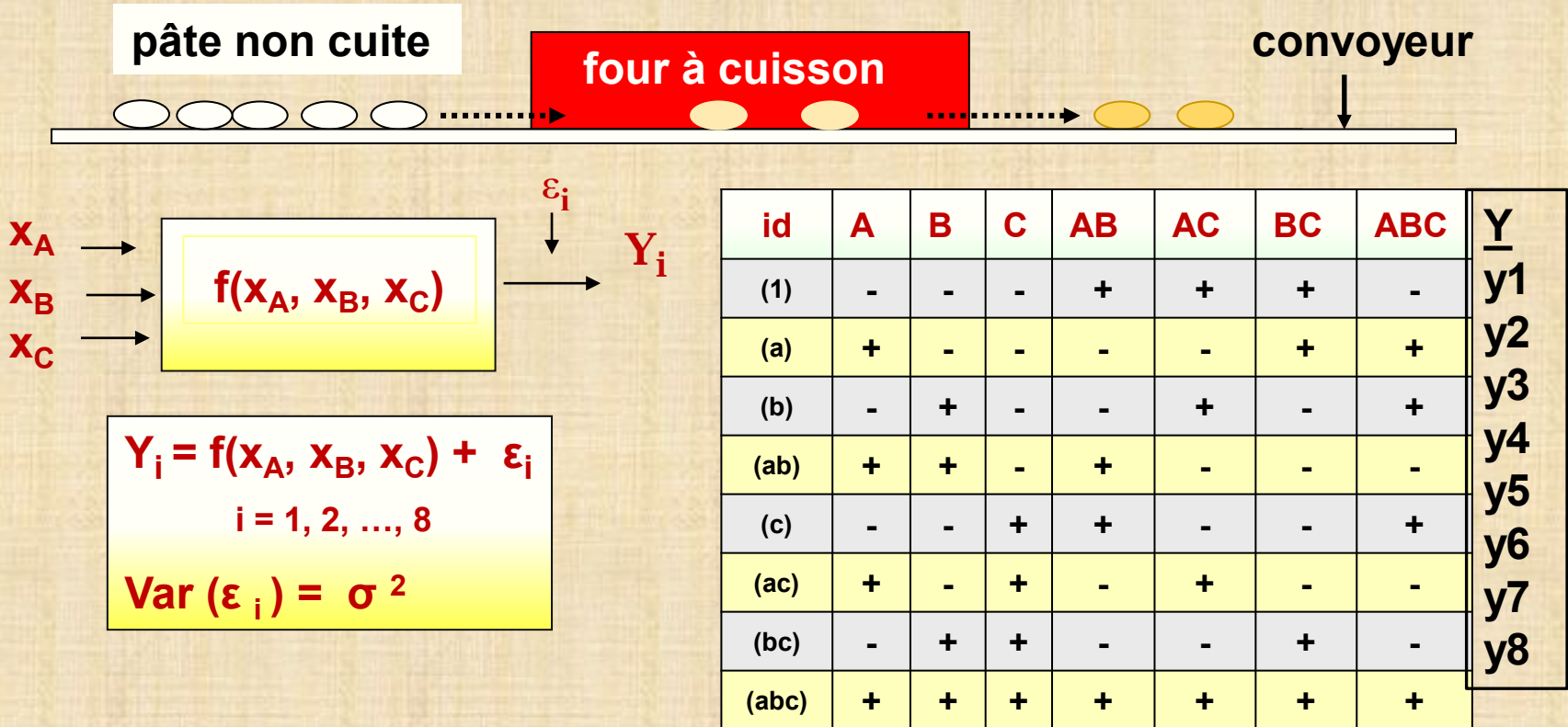
8 traitements

(1) = (-, -, -) a = (+, -, -) b = (-, +, -) c = (-, -, +)
 ab = (+, +, -) ac = (+, -, +) bc = (-, +, +) abc = (+, +, +)

exécution : dans un ordre complètement aléatoire
(complètement randomisée sans contrainte)

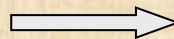
Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

Exemple 11.2 – four à cuisson – mode complètement aléatoire



$$\text{Effet} = \text{contraste} = \sum (\pm 1) y_i / 4$$

$$\text{Var}(y_i) = \text{Var}(\varepsilon_i) = \sigma^2$$



$$\text{Var}(\text{effet}) = \sigma^2 / 2$$

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

Exemple 11.2 – four à cuisson – mode «parcelles divisées» : cas2



Expérience 2^3 - 8 essais

facteur	modalités
A. quantité sucre	- et +
B. quantité farine	- et +
C. vitesse convoyeur	- et +

mode parcelles divisées

parcelle : mélange pâte (A, B)

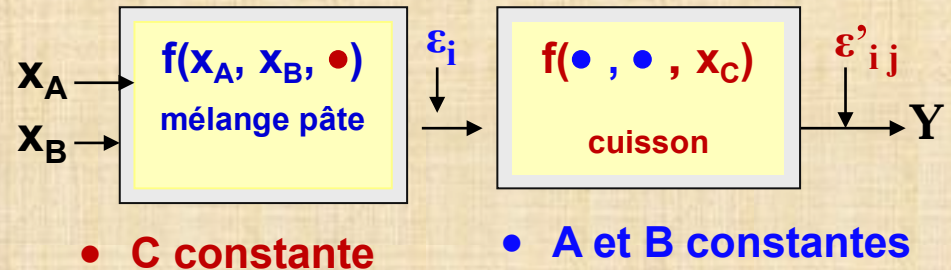
(-, -) (-, +) (+, -) (+, +)

parcelle divisée en 2 pour C

randomisation sur (A,B) et

exécution C = - et C = +

dans un ordre aléatoire



id	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
(1)	-	-	-	+	+	+	-
(c)	-	-	+	+	-	-	+
(a)	+	-	-	-	-	+	+
(ac)	+	-	+	-	+	-	-
(b)	-	+	-	-	+	-	+
(bc)	-	+	+	-	-	+	-
(ab)	+	+	-	+	-	-	-
(abc)	+	+	+	+	+	+	+

grande parcelle

petite parcelle

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

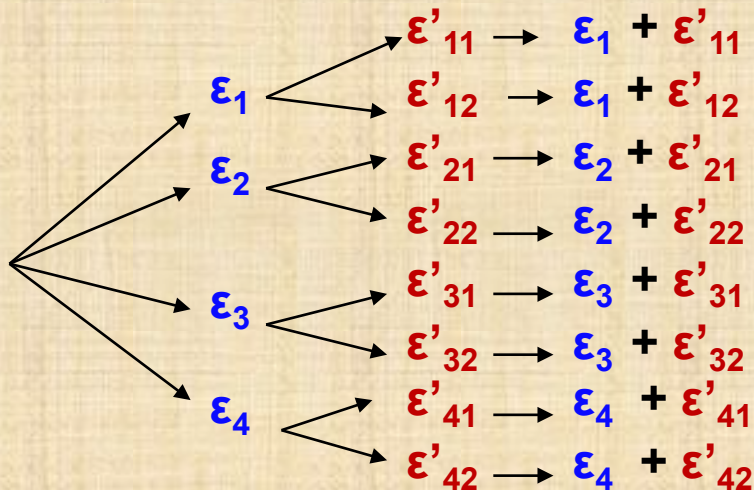
Exemple 11.2 – four à cuisson – mode «parcelles divisées»

A, B : facteurs grande parcelle (WholePlot)

C : facteur petite parcelle (SplitPlot)

terme d'erreur : 2 structures

grande parcelle : $\text{var}(\varepsilon) = \sigma_0^2$ petite parcelle : $\text{var}(\varepsilon') = \sigma_1^2$



id	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
(1)	-	-	-	+	+	+	-
(c)	-	-	+	+	-	-	+
(a)	+	-	-	-	-	+	+
(ac)	+	-	+	-	+	-	-
(b)	-	+	-	-	+	-	+
(bc)	-	+	+	-	-	+	-
(ab)	+	+	-	+	-	-	-
(abc)	+	+	+	+	+	+	+

$$\text{Var}(A) = \text{Var}(B) = \text{Var}(AB) = \sigma_1^2 + (1/2) \sigma_0^2$$

$$\text{Var}(C) = \text{Var}(AC) = \text{Var}(BC) = \text{Var}(ABC) = (1/2) \sigma_0^2$$

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

Exemple 11.2 – four à cuisson – mode «parcelles divisées»

A, B : facteurs grande parcelle (unité) (WholePlot)

C : facteur petite parcelle (SplitPlot)

$$\text{Var}(A) = \text{Var}(B) = \text{Var}(AB)$$

$$= \sigma_1^2 + (1/2) \sigma_0^2$$

$$\text{Var}(C) = \text{Var}(AC) = \text{Var}(BC)$$

$$= \text{Var}(ABC) = (1/2) \sigma_0^2$$

Variance facteurs grande parcelle

\geq

Variance facteurs petite parcelle

id	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
(1)	-	-	-	+	+	+	-
(c)	-	-	+	+	-	-	+
(a)	+	-	-	-	-	+	+
(ac)	+	-	+	-	+	-	-
(b)	-	+	-	-	+	-	+
(bc)	-	+	+	-	-	+	-
(ab)	+	+	-	+	-	-	-
(abc)	+	+	+	+	+	+	+

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

Exemple 11.3 : chlorophyl

Kuehl R. O. Design of Experiments
Statistical Principles of
Research Design and Analysis

2 facteurs fixes (fixés)

- nitrogen (U, NH4, IBDU, USC)

- thatch 3 niveaux (ta2, ta5, ta8)

difficile à changer (dac) = nitrogen

facile à change (fac) = thach

thatch **emboité** dans nitrogen

2 blocs

24 essais

8 WholePlot

3W SubPlot dans chaque WholePlot

WholePlot : facteur aléatoire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ID	bloc	WP_id	Nitrogen	thatch	Y_chlorophyl		bloc2	WP_2	Nit2	Y_ta2	Y_ta5	Y_ta8
1	b1	wp1	U	2	3,8		b1	wp1	U	3,8	5,3	5,9
2	b1	wp1	U	5	5,3		b1	wp2	NH4	5,2	5,6	5,4
3	b1	wp1	U	8	5,9		b1	wp3	IBDU	6,0	5,6	7,8
4	b1	wp2	NH4	2	5,2		b1	wp4	USC	6,8	8,6	8,5
5	b1	wp2	NH4	5	5,6		b2	wp5	U	3,9	5,4	4,3
6	b1	wp2	NH4	8	5,4		b2	wp6	NH4	6,0	6,1	6,2
7	b1	wp3	IBDU	2	6,0		b2	wp7	IBDU	7,0	6,4	7,8
8	b1	wp3	IBDU	5	5,6		b2	wp8	USC	7,9	8,6	8,4
9	b1	wp3	IBDU	8	7,8							
10	b1	wp4	USC	2	6,8							
11	b1	wp4	USC	5	8,6							
12	b1	wp4	USC	8	8,5							
13	b2	wp5	U	2	3,9							
14	b2	wp5	U	5	5,4							
15	b2	wp5	U	8	4,3							
16	b2	wp6	NH4	2	6,0							
17	b2	wp6	NH4	5	6,1							
18	b2	wp6	NH4	8	6,2							
19	b2	wp7	IBDU	2	7,0							
20	b2	wp7	IBDU	5	6,4							
21	b2	wp7	IBDU	8	7,8							
22	b2	wp8	USC	2	7,9							
23	b2	wp8	USC	5	8,6							
24	b2	wp8	USC	8	8,4							

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

Exemple 11.4 : yield

Milliken & Johnson, p. 297

2 facteurs:

- Fertilisation (F1, F2, F3, F4)
- Variété (V1, V2)
- 8 traitements (F1V1,...,F4V2)

difficile à changer (dac) = Fertilisation

facile à change (fac) = Variété

Variété emboité dans Fertilisation

2 blocs / 16 essais /
8 WholePlot / 2 SubPlot
dans chaque WholePlot

1 ID	2 bloc	3 WP_id	4 Fertilisation	5 Variété	6 Y_yield	7	8 bloc2	9 Fert	10 Y_v1	11 Y_v2
1	b1	wp1	F1	V1	35,4		b1	F1	35,4	37,9
2	b1	wp1	F1	V2	37,9		b1	F2	36,7	38,2
3	b1	wp2	F2	V1	36,7		b1	F3	34,8	36,4
4	b1	wp2	F2	V2	38,2		b1	F4	39,5	40,0
5	b1	wp3	F3	V1	34,8		b2	F1	41,6	40,3
6	b1	wp3	F3	V2	36,4		b2	F2	42,7	41,6
7	b1	wp4	F4	V1	39,5		b2	F3	43,6	42,8
8	b1	wp4	F4	V2	40,0		b2	F4	44,5	47,6
9	b2	wp5	F1	V1	41,6					
10	b2	wp5	F1	V2	40,3					
11	b2	wp6	F2	V1	42,7					
12	b2	wp6	F2	V2	41,6					
13	b2	wp7	F3	V1	43,6					
14	b2	wp7	F3	V2	42,8					
15	b2	wp8	F4	V1	44,5					
16	b2	wp8	F4	V2	47,6					

Exemple 11.5

haricot

expérience factorielle de 2 facteurs organisés en mode SplitPlot

facteur 1 : variété de haricot avec 6 modalités V1 V2 V3 V4 V5 V6

facteur 2 : inoculation avec 3 modalités i1 = aucune i2 = inoculé i3 = azote

inoculation (facteur INTRA) emboîté dans variété (facteur INTER)

réponse Y : rendement

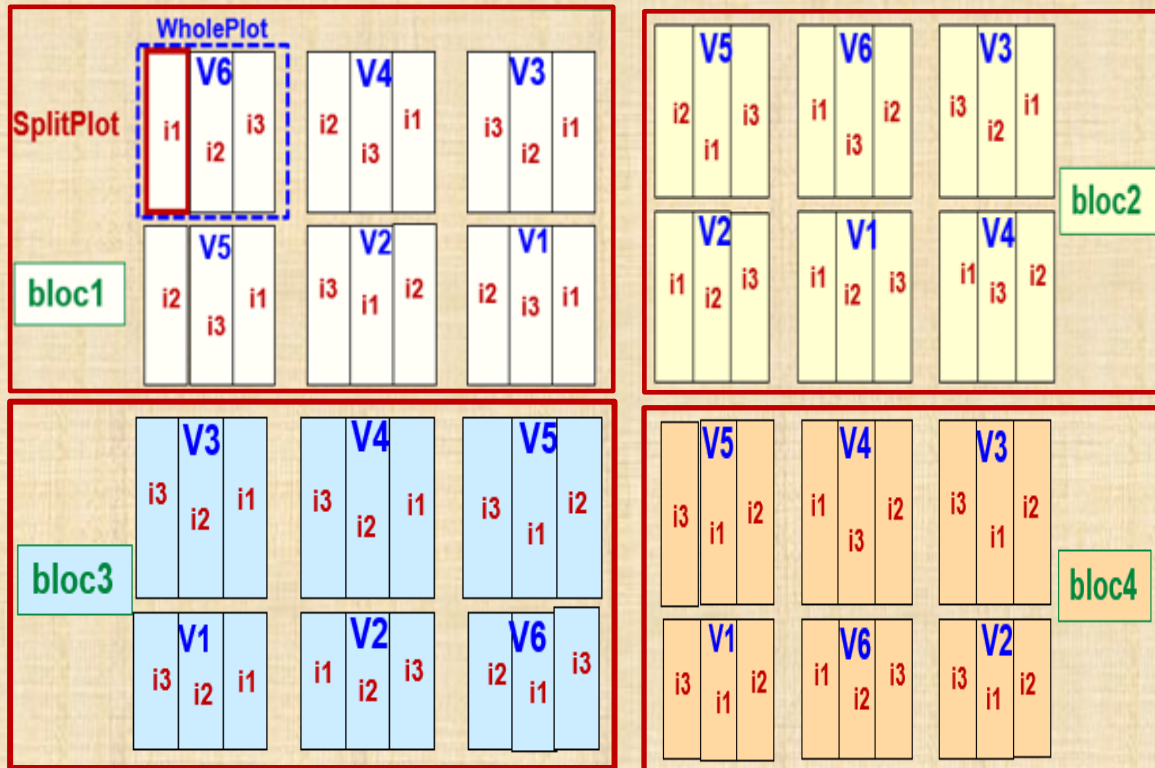
Pierre Dagnélie - Principes d'expérimentation p.187

<http://www.dagnelie.be/expres.html>

chaque bloc (répétition)

1. assignation aléatoire des 6 variétés (V1 à V6) aux 6 parcelles (WholePlot)
2. division de chaque parcelle (WholePlot) en 3 sous parcelles (SplitPlot)
3. assignation aléatoire des 3 types d'inoculation (i1 à i3) dans chaque SplitPlot
4. recommencer étapes 1 - 2 - 3 dans chaque bloc

4 blocs / 6 WholePlot par bloc / 3 SplitPlot par WholePlot : 72 observations Y



Exemple 11.5

haricot

Réponse : Y_rend
rendement en kg
gousses fraîches

Facteur 1 : Variété
haricot

6 modalités

V1-V2-V3-V4-V5-V6

Facteur 2 : Inoculation

3 modalités

i1 = aucune

i2 = inoculé

i3 = apport azote

Facteur bloc

4 modalités

b1 b2 b3 b4

72 observations

bloc:

facteur aléatoire

ou

répétitions

Pierre Dagnélie - Principes d'expérimentation p.187

<http://www.dagnelie.be/expres.html>

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
	ID	WholePlot_id	variété	inoculation	bloc	Y_rend	c7	WP2	bloc2	variété2	Y_i1	Y_i2	Y_i3	c14	Va	INO	Y_bloc1	Y_bloc2	Y_bloc3	Y_bloc4	Y_moy(bloc)	
1	1	wp1	v1	rien	b1	7,20		wp1	b1	v1	7,20	7,38	7,82		v1	i1	7,20	6,70	5,87	5,35	6,28	
2	2	wp1	v1	inoculé	b1	7,38		wp2	b1	v2	6,95	7,55	7,42		v1	i2	7,38	8,20	7,60	6,08	7,32	
3	3	wp1	v1	azote	b1	7,82		wp3	b1	v3	5,37	6,95	6,00		v1	i3	7,82	8,98	7,64	8,20	8,16	
4	4	wp2	v2	rien	b1	6,95		wp4	b1	v4	3,87	5,35	5,35		v2	i1	6,95	7,60	7,22	5,60	6,84	
5	5	wp2	v2	inoculé	b1	7,55		wp5	b1	v5	4,50	5,14	4,50		v2	i2	7,55	9,15	8,10	5,30	7,53	
6	6	wp2	v2	azote	b1	7,42		wp6	b1	v6	3,10	3,00	2,95		v2	i3	7,42	8,89	8,40	7,37	8,02	
7	7	wp3	v3	rien	b1	5,37		wp7	b2	v1	6,70	8,20	8,98		v3	i1	5,37	4,75	3,08	5,30	4,62	
8	8	wp3	v3	inoculé	b1	6,95		wp8	b2	v2	7,60	9,15	8,89		v3	i2	6,95	7,41	4,80	6,00	6,29	
9	9	wp3	v3	azote	b1	6,00		wp9	b2	v3	4,75	7,41	5,20		v3	i3	6,00	5,20	4,80	4,60	5,15	
10	10	wp4	v4	rien	b1	3,87		wp10	b2	v4	6,15	6,50	6,50		v4	i1	3,87	6,15	4,75	4,50	4,82	
11	11	wp4	v4	inoculé	b1	5,35		wp11	b2	v5	4,80	4,45	4,91		v4	i2	5,35	6,50	4,79	5,50	5,54	
12	12	wp4	v4	azote	b1	5,35		wp12	b2	v6	4,65	4,59	4,90		v4	i3	5,35	6,50	6,28	6,10	6,06	
13	13	wp5	v5	rien	b1	4,50		wp13	b3	v1	5,87	7,60	7,64		v5	i1	4,50	4,80	3,35	4,11	4,19	
14	14	wp5	v5	inoculé	b1	5,14		wp14	b3	v2	7,22	8,10	8,40		v5	i2	5,14	4,45	4,85	2,95	4,35	
15	15	wp5	v5	azote	b1	4,50		wp15	b3	v3	3,08	4,80	4,80		v5	i3	4,50	4,91	3,28	5,02	4,43	
16	16	wp6	v6	rien	b1	3,10		wp16	b3	v4	4,75	4,79	6,28		v6	i1	3,10	4,65	2,20	3,50	3,36	
17	17	wp6	v6	inoculé	b1	3,00		wp17	b3	v5	3,35	4,85	3,28		v6	i2	3,00	4,59	2,46	4,30	3,59	
18	18	wp6	v6	azote	b1	2,95		wp18	b3	v6	2,20	2,46	1,75		v6	i3	2,95	4,90	1,75	4,38	3,50	
19	19	wp7	v1	rien	b2	6,70		wp19	b4	v1	6,08	8,20	5,60									
20	20	wp7	v1	inoculé	b2	8,20		wp20	b4	v2	5,60	5,30	7,37									
21	21	wp7	v1	azote	b2	8,98		wp21	b4	v3	5,30	6,00	4,60									
22	22	wp8	v2	rien	b2	7,60		wp22	b4	v4	4,50	5,50	6,10									
23	23	wp8	v2	inoculé	b2	9,15		wp23	b4	v5	4,11	2,95	5,02									
24	24	wp8	v2	azote	b2	8,89		wp24	b4	v6	3,50	4,30	4,38									
25	25	wp9	v3	rien	b2	4,75																
26	26	wp9	v3	inoculé	b2	7,41																
27	27	wp9	v3	azote	b2	5,20																
28	28	wp10	v4	rien	b2	6,15																
29	29	wp10	v4	inoculé	b2	6,50																

69	wp23	V5	i3	b4	5,02	
70	wp24	V6	i1	b4	3,50	
71	wp24	V6	i2	b4	4,30	
72	wp24	V6	i3	b4	4,38	

Exemple 11.6-corrosion

G. Box - Qual Eng 8(3) 1996 p. 515-520

Box Hunter Hunter (2005) Statistics for Experimenters, 2005, 2nd ed. (Wiley)

Jones and Nachtsheim, J. Quality technology, vol41, no4, 2009, pp 340-361

2 facteurs ; temperature / coating

temperature (360, 370, 380) deg F / coating (c1, c2, c3, c4) - 12 traitements

difficile à changer (dac) = temperature

facile à change (fac) = coating

coating emboité dans température

2 blocs / 24 essais / 6 WholePlot / 4 SubPlot dans chaque WholePlot

1 ID	2 bloc	3 WP_id	4 Temp	5 Coat	6 Y_Corrosion	7	8 bloc2	9 temp2	10 Y_corr_c1	11 Y_cor_c2	12 Y_cor_c3	13 Y_cor_c4
1	b1	wp1	360	c1	73		b1	360	73	83	67	89
2	b1	wp1	360	c2	83		b1	370	65	87	86	91
3	b1	wp1	360	c3	67		b1	380	147	155	127	212
4	b1	wp1	360	c4	89		b2	360	33	54	8	46
5	b1	wp2	370	c1	65		b2	370	150	140	121	142
6	b1	wp2	370	c2	87		b2	380	153	90	100	108
7	b1	wp2	370	c3	86							
8	b1	wp2	370	c4	91							
9	b1	wp3	380	c1	147							
10	b1	wp3	380	c2	155							
11	b1	wp3	380	c3	127							
12	b1	wp3	380	c4	212							
13	b2	wp4	360	c1	33							
14	b2	wp4	360	c2	54							
15	b2	wp4	360	c3	8							
16	b2	wp4	360	c4	46							
17	b2	wp5	370	c1	150							
18	b2	wp5	370	c2	140							
19	b2	wp5	370	c3	121							
20	b2	wp5	370	c4	142							
21	b2	wp6	380	c1	153							
22	b2	wp6	380	c2	90							
23	b2	wp6	380	c3	100							
24	b2	wp6	380	c4	108							

Exemple 11.7

K. J. Potcner, S. M. Kowalski

How to Analyzed A SplitPlot Experiment

Quality Progress dec. 2004 p.67-74

A_Preatreat: p1 p2 - hard-to-change factor

B_stain : s1 s2 s4 s4 - easy-to-change factor

8 traitements - 3 répétitions (blocs) : b1, b2, b3

6 WP: WholePlot : wp1, wp2, ..., wp6 – effet (erreur1) aléatoire

Erreur2 : vient de SP: SubPlot - aléatoire

SplitPlot model: $Y_{resis} = gen + A + WP(A) + B + erreur2$

ID	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	WP_id	bloc	A_preatreat	B_stain	Y_resis		bloc2	WP	A_preat	Y_res_s1	Y_res_s2	Y_res_s3	Y-res_s4
1	wp1	b1	p1	s1	43,0		b1	wp1	p1	43,0	51,8	40,8	45,5
2	wp1	b1	p1	s2	51,8		b1	wp2	p2	46,6	53,5	35,4	32,5
3	wp1	b1	p1	s3	40,8		b2	wp3	p1	57,4	60,9	51,1	55,3
4	wp1	b1	p1	s4	45,5		b2	wp4	p2	52,2	48,3	45,9	44,6
5	wp2	b1	p2	s1	46,6		b3	wp5	p1	52,8	59,2	51,7	55,3
6	wp2	b1	p2	s2	53,5		b3	wp6	p2	32,1	34,4	32,2	30,1
7	wp2	b1	p2	s3	35,4								
8	wp2	b1	p2	s4	32,5								
9	wp3	b2	p1	s1	57,4								
10	wp3	b2	p1	s2	60,9								
11	wp3	b2	p1	s3	51,1								
12	wp3	b2	p1	s4	55,3								
13	wp4	b2	p2	s1	52,2								
14	wp4	b2	p2	s2	48,3								
15	wp4	b2	p2	s3	45,9								
16	wp4	b2	p2	s4	44,6								
17	wp5	b3	p1	s1	52,8								
18	wp5	b3	p1	s2	59,2								
19	wp5	b3	p1	s3	51,7								
20	wp5	b3	p1	s4	55,3								
21	wp6	b3	p2	s1	32,1								
22	wp6	b3	p2	s2	34,4								
23	wp6	b3	p2	s3	32,2								
24	wp6	b3	p2	s4	30,1								

FIGURE 1 Factors That Affect Wood's Water Resistance

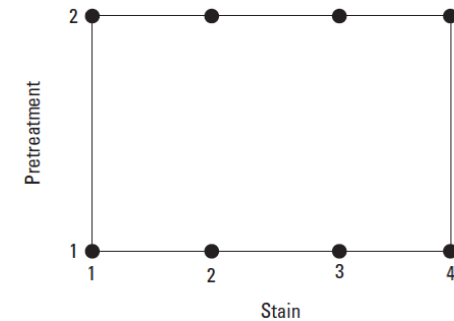
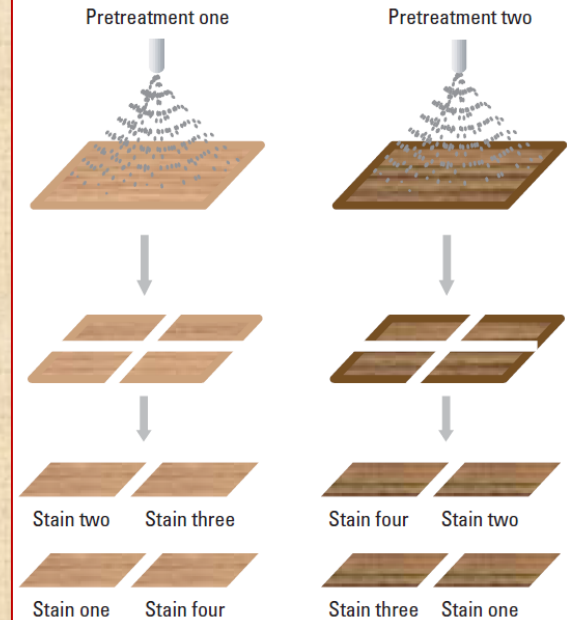


FIGURE 2 Treatment Application



Exemple 11.8 -Plan en parcelles divisées

A: methode (m1, m2, m3) B: temp (200, 225, 250, 275)

B_temp emboité dans A_méthode

/

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ID	bloc	WP_id	method	temp	Y_papier		bloc2	method2	Y_200	Y_225	Y_250	Y_275
1	b1	wp1	m1	200	30		b1	m1	30	35	37	36
2	b1	wp1	m1	225	35		b1	m2	34	41	38	42
3	b1	wp1	m1	250	37		b1	m3	29	26	33	36
4	b1	wp1	m1	275	36		b2	m1	28	32	40	41
5	b1	wp2	m2	200	34		b2	m2	31	36	42	40
6	b1	wp2	m2	225	41		b2	m3	31	30	32	40
7	b1	wp2	m2	250	38		b3	m1	31	37	41	40
8	b1	wp2	m2	275	42		b3	m2	35	40	39	44
9	b1	wp3	m3	200	29		b3	m3	32	34	39	45
10	b1	wp3	m3	225	26							
11	b1	wp3	m3	250	33							
12	b1	wp3	m3	275	36							
13	b2	wp4	m1	200	28							
14	b2	wp4	m1	225	32							
15	b2	wp4	m1	250	40							
16	b2	wp4	m1	275	41							
17	b2	wp5	m2	200	31							
18	b2	wp5	m2	225	36							
19	b2	wp5	m2	250	42							
20	b2	wp5	m2	275	40							
21	b2	wp6	m3	200	31							
22	b2	wp6	m3	225	30							
23	b2	wp6	m3	250	32							
24	b2	wp6	m3	275	40							
25	b3	wp7	m1	200	31							
26	b3	wp7	m1	225	37							
27	b3	wp7	m1	250	41							
28	b3	wp7	m1	275	40							
29	b3	wp8	m2	200	35							
30	b3	wp8	m2	225	40							
31	b3	wp8	m2	250	39							
32	b3	wp8	m2	275	44							
33	b3	wp9	m3	200	32							
34	b3	wp9	m3	225	34							
35	b3	wp9	m3	250	39							
36	b3	wp9	m3	275	45							

Exemple 11.10 Y_strength

How To Recognize A Split-Plot Experiment

S. M. Kowalski, K. J. Potcner, Quality Progress, Nov 2003, pp.60-66

4 facteurs: temperature (-1,1), Additif % (-1,1),

Rate agitation (-1,1), Time (-1, 1),

plan factoriel complet 2^{*5} avec une répétition 32 essais

difficile à changer (DAC) = temperature

facile à change FAC) = Add, Rate, Time

2 blocs / 32 essais / 4 WholePlot / 8 SubPlot dans chaque WholePlot

1 ID	2 bloc	3 WP_id	4 Temperature	5 Additif	6 Rate	7 Time	8 Y_strength	9	10 bloc2	11 Add2	12 rate2	13 Time2	14 Y_T_{-1}	15 Y_T_{(1)}
1	b1	wp1	-1	-1	-1	-1	59,5		b1	-1	-1	-1	59,5	58,5
2	b1	wp1	-1	1	-1	-1	57,4		b1	1	-1	-1	57,4	51,9
3	b1	wp1	-1	-1	-1	-1	56,5		b1	-1	-1	-1	56,5	61,3
4	b1	wp1	-1	1	-1	-1	58,1		b1	1	-1	-1	58,1	66,2
5	b1	wp1	-1	-1	-1	1	53,2		b1	-1	-1	1	53,2	59,5
6	b1	wp1	-1	1	-1	1	57,5		b1	1	-1	1	57,5	66,8
7	b1	wp1	-1	-1	-1	1	56,4		b1	-1	-1	1	56,4	68,5
8	b1	wp1	-1	1	-1	1	63,9		b1	1	-1	1	63,9	70,8
9	b1	wp2	1	-1	-1	-1	58,5		b2	-1	-1	-1	66,6	59,5
10	b1	wp2	1	1	-1	-1	51,9		b2	1	-1	-1	65,0	65,6
11	b1	wp2	1	-1	-1	-1	61,3		b2	-1	-1	-1	58,1	58,6
12	b1	wp2	1	1	-1	-1	66,2		b2	1	-1	-1	62,6	64,0
13	b1	wp2	1	-1	-1	1	59,5		b2	-1	-1	1	63,9	64,2
14	b1	wp2	1	1	-1	1	66,8		b2	1	-1	1	63,3	61,5
15	b1	wp2	1	-1	-1	1	68,5		b2	-1	-1	1	62,7	68,0
16	b1	wp2	1	1	-1	1	70,8		b2	1	-1	1	63,2	73,3
17	b2	wp3	-1	-1	1	-1	66,6							
18	b2	wp3	-1	1	1	-1	65,0							
19	b2	wp3	-1	-1	1	-1	56,1							
20	b2	wp3	-1	1	1	-1	62,6							
21	b2	wp3	-1	-1	1	1	63,9							
22	b2	wp3	-1	1	1	1	63,3							
23	b2	wp3	-1	-1	1	1	62,7							
24	b2	wp3	-1	1	1	1	63,2							
25	b2	wp4	1	-1	1	-1	59,5							
26	b2	wp4	1	1	1	-1	65,6							
27	b2	wp4	1	-1	1	-1	58,6							
28	b2	wp4	1	1	1	-1	64,0							
29	b2	wp4	1	-1	1	1	64,2							
30	b2	wp4	1	1	1	1	61,5							
31	b2	wp4	1	-1	1	1	68,0							
32	b2	wp4	1	1	1	1	73,3							

Czitrom - Statistical Case Studies for Industrial Process Improvement**ASA/SIAM 1997, chapter 27 pp 387-402 D.K. Lewis, C. Hutchens, J. Smith****Effects of Customer Usage Factors on the Time Between failures of a Wafer Handling Subsystem in an Automated Memory that Relied on Optical Pattern Recognition to Position a Wafer for Repair****8 facteurs de design A, B, C, D, E, F, G, H - plan interne défini par****plan fractionnaire 2^{8-4} de 16 essais E=ABD F=ABC G=BCD H=ACD****A = training box size (-1=small 1=large)****B = corner orientation (-1=near 1=far)****C = binary threshold pixel analysis (-1=40% 1=60%)****D = illumination level (-1=low 1=normal)****E = illumination angle (-1=current 1=new)****F = illumination uniformity (-1=non-unif 1=uniform)****G = teach scene angle (-1=small / non-centered 1=large / centered)****H = train condition (1=off center 1=normal)****interactions doubles confondues****AB=DE=CF=GH AC=BF=DH=EG AD=BE=CH=FG AE=BD=CG=FH AF=BC=DG=EH****AG=BH=CE=DF AH=BG=CD=EF****utilisation AB AC AD AE AF AG AH pour la modélisation****3 facteurs de bruit (noise factors, environnement) - plan externe défini par****plan fractionnaire 2^{3-1} de 4 essais p q r = pq****p = ambient light (-1=high 1=low/off) q = wafer position (1=back 1=normal)****r = wafer angle (-1=+ ou - deg. 1 = 0 deg.)****plan global = plan croisé (inner array X outer array): $2^{8-4} \times 2^{3-1}$: 16 x 4 = 64 essais****response Y = flatfind - scale 0 to 1000 - larger the better - 900 est acceptable****definition : measure of the correlation between an image repair system provided by the pattern-recognition system of the expected image**

Exemple 11.13 : flatfinder

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

			facteurs design								facteurs de bruit				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
id	WP_id	SP_id	A	B	C	D	E	F	G	H	p	q	r	Y	
1	wp1	sp11	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	916	
2	wp1	sp12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	934	
3	wp1	sp13	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	912	
4	wp1	sp14	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	922	
5	wp2	sp21	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	967	
6	wp2	sp22	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	964	
7	wp2	sp23	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	959	
8	wp2	sp24	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	972	
9	wp3	sp31	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	906	
10	wp3	sp32	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	934	
11	wp3	sp33	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	880	
12	wp3	sp34	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	926	
13	wp4	sp41	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	856	
14	wp4	sp41	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	967	
15	wp4	sp43	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	822	
16	wp4	sp44	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	959	
17	wp5	sp51	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	939	
18	wp5	sp52	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	952	
19	wp5	sp53	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	926	
20	wp5	sp54	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	943	
21	wp6	sp61	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	957	
22	wp6	sp62	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	954	
23	wp6	sp63	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	964	
24	wp6	sp64	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	961	
25	wp7	sp71	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	879	
26	wp7	sp72	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	941	
27	wp7	sp73	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	847	
28	wp7	sp74	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	935	
29	wp8	sp81	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	738	
30	wp8	sp82	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	973	
31	wp8	sp83	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	776	
32	wp8	sp84	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	972	

33	wp9	sp91	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	944
34	wp9	sp92	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	948
35	wp9	sp93	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	948
36	wp9	sp94	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	1	948
37	wp10	sp101	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	956
38	wp10	sp102	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	963
39	wp10	sp103	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	957
40	wp10	sp104	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	958
41	wp11	sp111	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	957
42	wp11	sp112	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	954
43	wp11	sp113	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	964
44	wp11	sp114	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	961
45	wp12	sp121	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	941
46	wp12	sp122	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	972
47	wp12	sp123	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	953
48	wp12	sp124	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	969
49	wp13	sp131	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	932
50	wp13	sp132	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	939
51	wp13	sp133	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	935
52	wp13	sp134	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	940
53	wp14	sp141	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	961
54	wp14	sp142	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	960
55	wp14	sp143	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	960
56	wp14	sp144	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	956
57	wp15	sp151	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	925
58	wp15	sp152	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	951
59	wp15	sp153	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	934
60	wp15	sp154	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	957
61	wp16	sp161	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	972
62	wp16	sp162	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	971
63	wp16	sp163	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	929
64	wp16	sp164	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	974

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

Exemple 11.19 : wind tunnel experiment - modifications voiture course

Optimal Design of Experiments, Wiley 2011, P. Goos and B. Jones pages 220-254

2 Hard-to-change $X1_FrontRideHeight$ (FRH) (inches) 3,0 / 3,5 / 4,0

$X2_RearRideHeight$ (RRH) (inches) 34 / 35 / 36

2 Easy-to-change $X3_YawAngle$ (yaw) (YA) degrees -3,0 / -1,0 / 1,0

$X4_GrilleTapeCoverage$ (GTC) (%) 0 / 50 / 100

3 variables de réponse: $Y1=Drag$ (CD) $Y2=LiftFront$ (CLF) $Y3=LiftRear$ (CLR) $Y_Efficiency = (Y2 + Y3) / Y1$

DESIGN

10 WP

définis par $X1$ $X2$

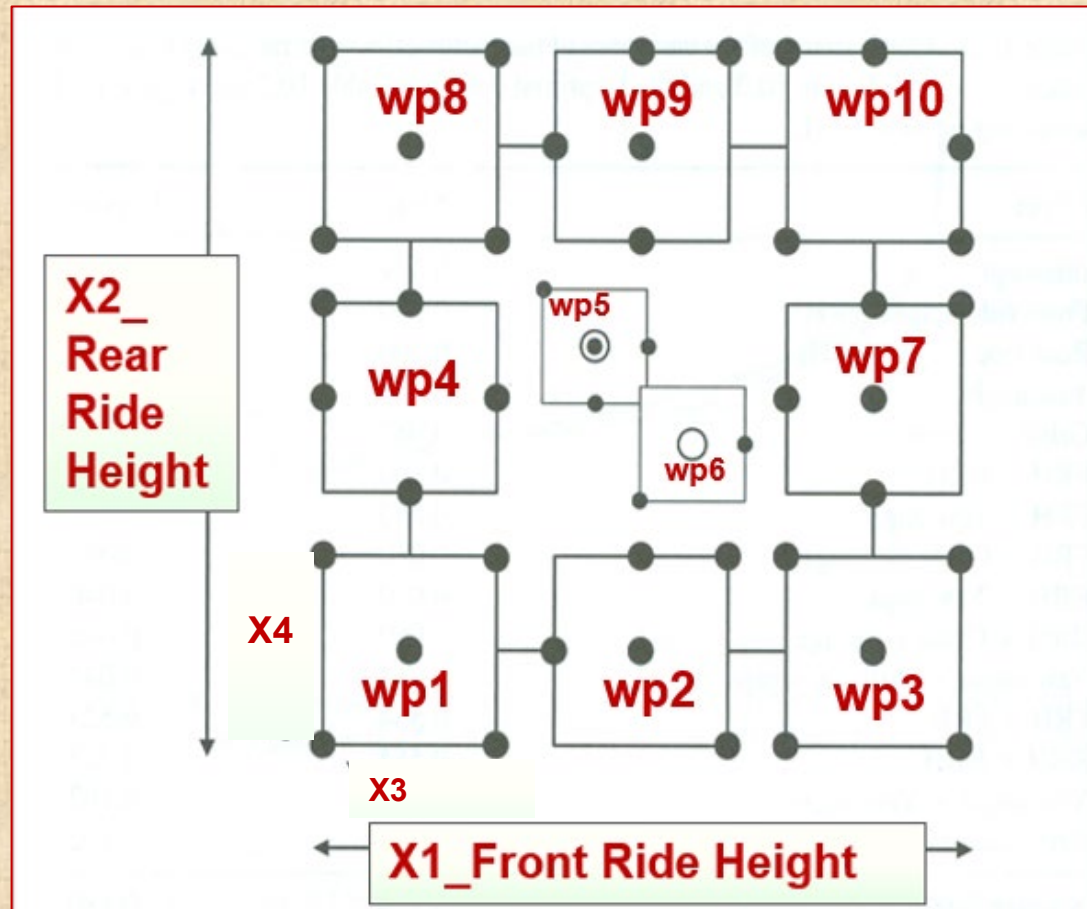
50 observations



répété 2 fois



répété 3 fois



Exemple 11.19 : wind tunnel experiment - modifications voiture course

	1 WP	2 X1_FRH	3 X2_RRH	4 X3_YA	5 X4_GTC	6 FRH (in)	7 RRH (in)	8 YA	9 GTC	10 Y1_Drag (CD)	11 Y2_LiftFront (CLF)	12 Y3_LiftRear (CLR)	13 Y4_Efficiency
1	WP1	-1	-1	-1	-1	3,0	34	-3	0	402	105	246	0,873
2	WP1	-1	-1	1	1	3,0	34	1	100	367	141	214	0,967
3	WP1	-1	-1	0	0	3,0	34	-1	50	384	127	240	0,956
4	WP1	-1	-1	1	-1	3,0	34	1	0	378	88	223	0,823
5	WP1	-1	-1	-1	1	3,0	34	-3	100	391	156	242	1,018
6	WP2	0	-1	1	1	3,5	35	1	100	375	132	213	0,920
7	WP2	0	-1	0	0	3,5	35	-1	50	392	119	243	0,923
8	WP2	0	-1	1	-1	3,5	35	1	0	388	92	227	0,822
9	WP2	0	-1	0	1	3,5	35	-1	100	386	142	229	0,961
10	WP2	0	-1	-1	0	3,5	35	-3	50	404	119	251	0,916
11	WP3	1	-1	1	-1	4,0	36	1	0	399	74	208	0,707
12	WP3	1	-1	1	1	4,0	36	1	100	386	122	210	0,860
13	WP3	1	-1	-1	-1	4,0	36	-3	0	419	86	231	0,757
14	WP3	1	-1	-1	1	4,0	36	-3	100	408	130	222	0,863
15	WP3	1	-1	0	0	4,0	36	-1	50	401	99	214	0,781
16	WP4	-1	0	-1	0	3,0	34	-3	50	406	136	270	1,000
17	WP4	-1	0	0	1	3,0	34	-1	100	389	154	258	1,059
18	WP4	-1	0	1	0	3,0	34	1	50	383	120	228	0,909
19	WP4	-1	0	0	-1	3,0	34	-1	0	398	102	238	0,854
20	WP4	-1	0	-1	1	3,0	34	-3	100	402	160	275	1,082
21	WP5	0	0	0	-1	3,5	35	-1	0	406	104	238	0,842
22	WP5	0	0	1	0	3,5	35	1	50	390	122	224	0,887
23	WP5	0	0	0	0	3,5	35	-1	50	402	126	238	0,905
24	WP5	0	0	-1	1	3,5	35	-3	100	401	160	260	1,047
25	WP5	0	0	0	0	3,5	35	-1	50	401	130	246	0,938
26	WP6	0	0	1	0	3,5	35	1	50	392	117	213	0,842
27	WP6	0	0	0	0	3,5	35	-1	50	402	123	235	0,891
28	WP6	0	0	0	0	3,5	35	-1	50	402	128	235	0,903
29	WP6	0	0	0	0	3,5	35	-1	50	403	125	225	0,868
30	WP6	0	0	-1	-1	3,5	35	-3	0	420	112	238	0,833
31	WP7	1	0	0	-1	4,0	36	-1	0	415	98	228	0,786
32	WP7	1	0	1	1	4,0	36	1	100	394	145	202	0,881
33	WP7	1	0	0	0	4,0	36	-1	50	410	124	229	0,861
34	WP7	1	0	0	1	4,0	36	-1	100	405	145	221	0,904
35	WP7	1	0	-1	0	4,0	36	-3	50	421	125	242	0,872
36	WP8	-1	1	-1	-1	3,0	34	-3	0	419	124	286	0,979
37	WP8	-1	1	1	-1	3,0	34	1	0	394	102	255	0,906
38	WP8	-1	1	0	0	3,0	34	-1	50	402	134	286	1,045
39	WP8	-1	1	1	1	3,0	34	1	100	386	155	266	1,091
40	WP8	-1	1	-1	1	3,0	34	-3	100	412	175	303	1,160
41	WP9	0	1	-1	0	3,5	35	-3	50	423	148	275	1,000
42	WP9	0	1	0	-1	3,5	35	-1	0	414	110	263	0,901
43	WP9	0	1	0	0	3,5	35	-1	50	409	139	266	0,990
44	WP9	0	1	0	1	3,5	35	-1	100	405	164	265	1,059
45	WP9	0	1	-1	1	3,5	35	-3	100	393	161	242	1,025
46	WP10	1	1	-1	1	4,0	36	-3	100	428	168	256	0,991
47	WP10	1	1	1	-1	4,0	36	1	0	413	107	235	0,828
48	WP10	1	1	-1	-1	4,0	36	-3	0	435	118	254	0,855
49	WP10	1	1	1	0	4,0	36	1	50	408	140	237	0,924
50	WP10	1	1	0	1	4,0	36	-1	100	415	161	253	0,998

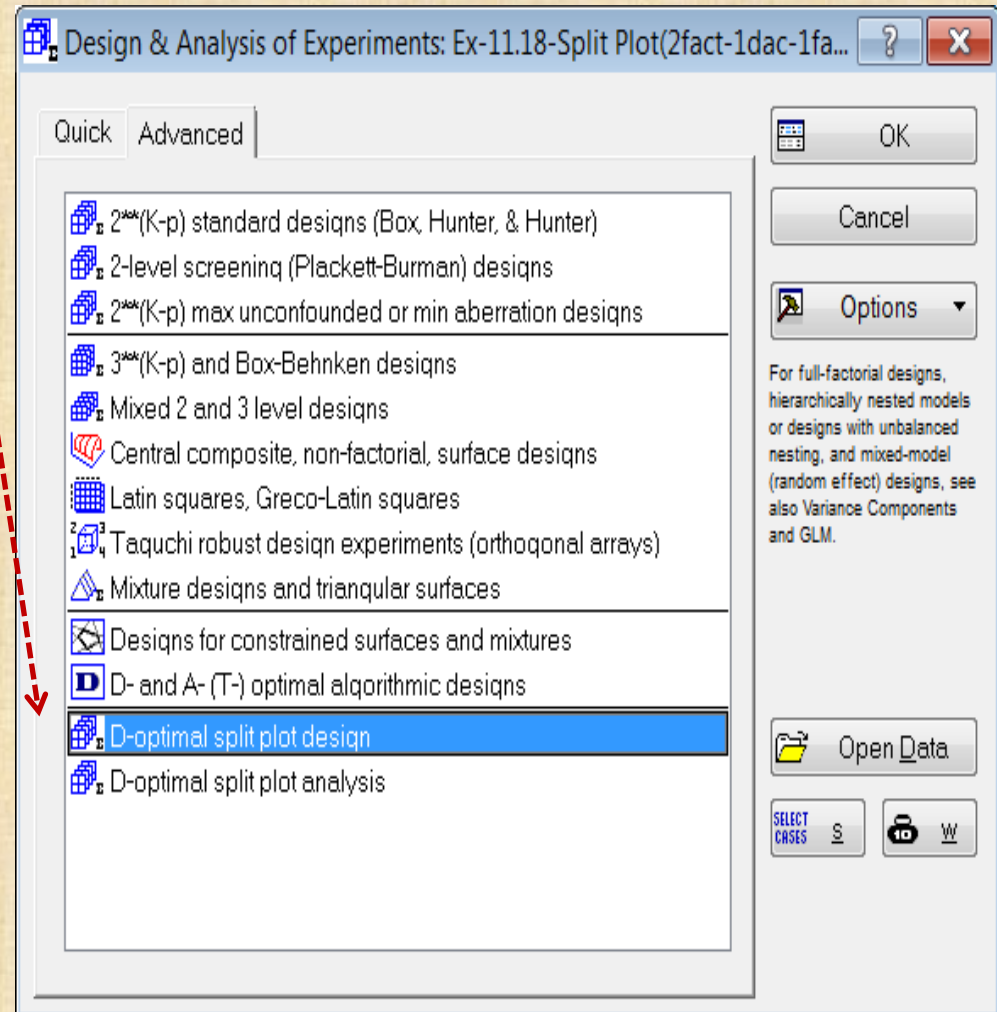
CONCEPTION PLANS SPLIT-PLOT

DESIGN Optimal

- nombre de facteurs **DAC**
(Difficile **À** Changer)
- nombre de facteurs **FAC**
(Facile **À** Changer)
- n_w : nombre de WholePlots
- n_s : nombre de SplitPlots
dans chaque WholePlot
- modèle $y = f(w, s)$
 w : variables WholePlot
 s : variables SplitPlot
- $d = \frac{\text{variance parcelle}}{\text{variance erreur}}$

Algorithme Goos et Vandebroek

Liste de plans : voir
article Jones et Nachtsheim



CONCEPTION PLANS SPLIT-PLOT

Exemple 1 : effets principaux

A	2	Hard	Q	Level1	Level2
B	2	Easy	Q	Level1	Level2
C	2	Easy	Q	Level1	Level2
D	2	Easy	Q	Level1	Level2

Optimal split plot design: Ex-11.18-Split Plot(2fact-1dac-1f... ? X

Quick | **Advanced** | Model

Number of whole plots: 4

Size of each whole plot: 3

Number of hard-to-change factors: 1

Number of easy-to-change factors: 3

Ratio of whole-plot to error variance: 2

Variance of random error: 1

Number of tries: 100

Random seed: 1321936522

Define factor properties

OK

Cancel

Options

PLAN Optimal design					
id	WholePlot	A	B	C	D
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2
3	1	1	2	2	2
4	2	2	1	2	2
5	2	2	2	1	1
6	2	2	2	1	2
7	3	2	1	1	2
8	3	2	1	2	1
9	3	2	2	2	1
10	4	1	1	2	1
11	4	1	2	1	1
12	4	1	2	2	2

CONCEPTION PLANS SPLIT-PLOT

Exemple 2 : modèle d'ordre 2

A	2	Hard	Q	1	2
B	2	Hard	Q	1	2
C	2	Easy	C	-1	1
D	2	Easy	C	-1	1

Optimal split plot design: Optimal design points (Ex-11.18-... ? X)

Quick | **Advanced** | Model

Number of whole plots: 8

Size of each whole plot: 4

Number of hard-to-change factors: 2

Number of easy-to-change factors: 2

Ratio of whole-plot to error variance: 2

Variance of random error: 1

Number of tries: 100

Random seed: 1321939077

OK

Cancel

Options

Define factor properties

Optimal split plot design: Optimal design points (Ex-11.18-... ? X)

Quick | Advanced | **Model**

Qualitative factors

Main effects

2-way interactions

3-way interactions

Continuous factors

Linear main effects

Linear/quadratic main effects

Linear main effects + 2-ways

Linear/quadratic main effects + 2-ways

Effects to ignore

OK

Cancel

Options

CONCEPTION PLANS SPLIT-PLOT

Exemple 2 : modèle d'ordre 2

Optimal Split Plot Design Result Dialog: Optimal design points (Ex-11.18-Split Plot(2fact-1... ? X

Optimal Split Plot Design

Hard-to-change factors: F1(Q,2), F2(Q,2)
 Easy-to-change factors: F3(C,2), F4(C,2)
 Number of runs (default design): 32
 Final determinant: 5,23697e+006

Display design | Add to design | Design details

Summary: Display design Change factor names, values, etc.

Attach design to spreadsheet Mark input spreadsheet

Denote factors: By numbers By letters By names

Order of runs: Standard order Random
 Seed: 1321939077

Show (in Spreadsheet): Default values Text labels

Summary Cancel Options

To save the design, use option "Display design," modify the design if necessary, and save the Spreadsheet.

PLAN					
id	WholePlot ID	A (Categ.)	B (Categ.)	C (Cont.)	D (Cont.)
1	1	2	2	-1	-1
2	1	2	2	-1	1
3	1	2	2	1	-1
4	1	2	2	1	1
5	2	1	2	-1	-1
6	2	1	2	-1	1
7	2	1	2	1	-1
8	2	1	2	1	1
9	3	1	1	-1	-1
10	3	1	1	-1	1
11	3	1	1	1	-1
12	3	1	1	1	1
13	4	1	2	-1	-1
14	4	1	2	-1	1
15	4	1	2	1	-1
16	4	1	2	1	1
17	5	2	2	-1	-1
18	5	2	2	-1	1
19	5	2	2	1	-1
20	5	2	2	1	1
21	6	1	1	-1	-1
22	6	1	1	-1	1
23	6	1	1	1	-1
24	6	1	1	1	1
25	7	2	1	-1	-1
26	7	2	1	-1	1
27	7	2	1	1	-1
28	7	2	1	1	1
29	8	2	1	-1	-1
30	8	2	1	-1	1
31	8	2	1	1	-1
32	8	2	1	1	1

MÉTHODE 1

illustration avec un exemple de 2 facteurs fixés

A : facteur fixé - a modalités $i = 1, 2, \dots, a$

B : facteur fixé - b modalités $j = 1, 2, \dots, b$

bloc (répétition) - facteur aléatoire $k = 1, 2, \dots, c$

WholePlot associé avec A - **SplitPlot** associé avec B

2 expériences superposées : 2 tailles unités expérimentales (u.e.)

expérience 1 : appliquée aux grandes unités exp. **WholePlot**

expérience 2 : appliquée aux petites unités exp. **SplitPlot**

Effets général + bloc + A + B + A*B + bloc*A + bloc*B + bloc*A*B + erreur

μ = général γ_i = bloc α_j = facteur A β_k = facteur B

$(\gamma\alpha)_{ij}$ = bloc*A = terme erreur **WholePlot**

$(\gamma\beta)_{ik}$ = bloc*B $(\alpha\beta)_{jk}$ = A*B $(\gamma\alpha\beta)_{ijk}$ = bloc*A*B

ε_{ijk} = terme erreur **SplitPlot**

Modèle général $y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \alpha_j + (\gamma\alpha)_{ij} + \beta_k + (\gamma\beta)_{ik} + (\alpha\beta)_{jk} + (\gamma\alpha\beta)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$

Modèle simplifié $y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \alpha_j + (\gamma\alpha)_{ij} + \beta_k + (\gamma\beta)_{ik} + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$

remarque : mettre un terme aléatoire pour représenter l'effet **WholePlot**

Méthode 2 régression **SplitPlot**

Méthode 3 méthode graphique

Méthode 2 régression SplitPlot - Generalized Least Square (GLZ)

$$y_i = f(w_i, s_i) \beta + z_i \gamma + \varepsilon_i, \quad (1)$$

- $f(w_i, s_i)$ modèle polynômial ($1 \times p$) des modalités des facteurs
- β vecteur $p \times 1$ des paramètres des effets facteurs
- z_i vecteur indicateur dont l'élément
= 1 si l'essai i est assigné au k -ième WholePlot
= 0 autrement
- γ vecteur $b \times 1$ effets aléatoires
- ε_i erreur splitplot

modèle simple et flexible

- facteurs continus: utilisation de polynômes
- facteurs qualitatifs: utilisation de variables indicatrices (0-1)

Forme matricielle $Y = X\beta + Z\gamma + \varepsilon$ (2)

Y vecteur $n \times 1$ des réponses

X matrice $n \times p$ du modèle dont la i -ème rangée est égale à $f(w_i, s_i)$

Z matrice $n \times b$ dont la i -ème rangée est égale à z_i ,

$\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n)$ $\varepsilon \sim N(0_n, \sigma^2 I_n)$ I_n matrice identité $n \times n$

Méthode 2 régression SplitPlot

V matrice variance – covariance de **Y**

$$\mathbf{V} = \sigma^2 \mathbf{I}_n + \sigma_w^2 \mathbf{Z}\mathbf{Z}' \quad (3)$$

Si essais regroupés par WholePlot alors **V** est diagonale en bloc

$$\mathbf{V}_i = \sigma^2 \mathbf{I}_{s_i} + \sigma_w^2 \mathbf{1}_{s_i} \mathbf{1}'_{s_i},$$

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \mathbf{V}_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \mathbf{V}_b \end{bmatrix}.$$

Estimation General Least Square (GLS)

$$\hat{\beta}_{GLS} = (\mathbf{X}'\mathbf{V}^{-1}\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{V}^{-1}\mathbf{Y}.$$

$$\hat{\beta}_{FGLS} = (\mathbf{X}'\hat{\mathbf{V}}^{-1}\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\hat{\mathbf{V}}^{-1}\mathbf{Y}.$$

$$\text{Var}(\hat{\beta}_{FGLS}) = \mathbf{X}'\hat{\mathbf{V}}^{-1}\mathbf{X},$$

Tests d'hypothèses

$$H_0 : \mathbf{c}'\beta = 0 \quad \text{vs.} \quad H_1 : \mathbf{c}'\beta \neq 0,$$

$$t = \frac{\mathbf{c}'\hat{\beta}}{\sqrt{\mathbf{c}'(\mathbf{X}'\hat{\mathbf{V}}^{-1}\mathbf{X})\mathbf{c}}}.$$

$$\nu = \frac{2[\mathbf{c}'(\mathbf{X}'\hat{\mathbf{V}}^{-1}\mathbf{X})\mathbf{c}]^2}{\mathbf{g}'\mathbf{A}\mathbf{g}},$$

MÉTHODES D'ANALYSE : expériences en parcelles divisées

Statistica GLM

General Linear Models (GLM): Effect Estimates; Var.:Y_WetAngle... ?

Quick | OK | Cancel | Options | Open Data

Type of analysis:

- One-way ANOVA
- Main effects ANOVA
- Factorial ANOVA
- Nested design ANOVA
- Huge balanced ANOVA
- Repeated measures ANOVA
- Simple regression
- Multiple regression
- Factorial regression
- Polynomial regression
- Response surface regression
- Mixture surface regression
- Analysis of covariance
- Separate-slopes model
- Homogeneity-of-slopes model
- General linear models

Specification method:

- Quick specs dialog
- Analysis Wizard
- Analysis syntax editor

Use General linear models to analyze designs with any combination of categorical independent variables (factors), continuous predictor variables (covariates), or repeated measures.

Multiple dependent variables can be specified for any type of analysis. Both univariate and multivariate results are available when multiple dependent variables are specified.

Weighted moments

DF = W-1 N-1

General Linear Models (GLM): Ex-11.5-haricot-SplitPlot(2fact-1... ?

Quick | OK | Cancel | Options | Open Data

Type of analysis:

- One-way ANOVA
- Main effects ANOVA
- Factorial ANOVA
- Nested design ANOVA
- Huge balanced ANOVA
- Repeated measures ANOVA
- Simple regression
- Multiple regression
- Factorial regression
- Polynomial regression
- Response surface regression
- Mixture surface regression
- Analysis of covariance
- Separate-slopes model
- Homogeneity-of-slopes model
- General linear models

Specification method:

- Quick specs dialog
- Analysis Wizard
- Analysis syntax editor

Syntax programs for specifying an analysis are automatically generated from the options specified in the Quick specs dialog or the Analysis Wizard, and can be edited as desired.

Weighted moments

DF = W-1 N-1

For related ANOVA and regression methods, also refer to the Experimental Design and the Variance Components and Mixed-Model ANOVA/ANCOVA modules.

Statistica VEPAC

Variance Estimation and Precision: Spreadsheet1 ?

Quick | OK | Cancel | Options | Open Data

Variables: none

Dependent variables: none

Grouping variables: none

Covariates: none

Factor codes: none

Level of interactions: 2

SELECT CASES | W |

GLM Analysis Syntax Editor: Ex-11.5-haricot-SplitPlot(2fact-1dac-1fac-6x3-18trait-24w... ?

Keywords | Specifications | Analysis syntax | OK (Run) | Cancel | Syntax | Options

DEPENDENT | RANDOM

GROUPS | SURFACE

COVARIATE | MIXTURE

DESIGN | REPEATED

PARAM | WDESIGN

INTERCEPT | SAMPLE

ESTIMATE | OUTPUT

LACKOFFIT

SSTYPE

SDELTA

IDELTA

GLM;

DEPENDENT = ;

GROUPS = none;

COVARIATE = none;

DESIGN = none;

INTERCEPT = include;

LACKOFFIT = no;

PARAM = sigma;

SSTYPE = 3;

ESTIMATE = none;

SDELTA = 7;

IDELTA = 12;

RANDOM = none;

SURFACE = none;

MIXTURE = none;

REPEATED = none;

WDESIGN = none;

SAMPLE = none;

OUTPUT = none;

Open | Save As

VEPAC est plus direct que GLM pour les modèles mixtes: facteurs fixés + facteurs aléatoires

Utilisation du bon protocole expérimental

Si plan expérimental est interprété comme **mode complètement aléatoire** des traitements aux unités expérimentales alors que la véritable assignation est en **mode SplitPlot** alors comme

Conséquence certains facteurs peuvent être

- **déclarés non significatifs** alors qu'ils le sont
- **déclarés significatifs** alors qu'ils ne le sont pas

Exemple 11.1 : production blé

facteur A : irrigation (irrig1 et irrig2) - facteur WholePlot

facteur B : fertilisant (fert1 et fert2) - facteur SplitPlot
emboité dans irrigation

méthode d'analyse : **méthode 1**

Exemple 11.1 : agronomie Kutner & all 5 ed. problème 27.20 p.1170

Étude sur l'influence de 2 facteurs sur le rendement Y_{yield} de production de blé

2 facteurs fixés ayant 2 modalités chacun : facteur1 = irrigation = A_irrig facteur2 = fertilisant = B_fert

A_irrig : irrig1 (i1), irrig2 (i2) / B_fert : fert1 (f1), fert2 (f2)

plan complet 2x2 : 4 traitements / 5 répétitions (bloc) : b1, b2, b3, b4, b5 On a $4 \times 5 = 20$ observations

L'assignation des traitements n'est pas en mode complètement aléatoire.

L'assignation des traitements est en mode SplitPlot.

On tient en compte la facilité / difficulté de changer les modalités des facteurs.

Irrigation est un facteur plus difficile à changer (DAC) : on le fixe en premier

Fertilisant est un facteur plus facile à changer (FAC) : on le fait varier ensuite à ses 2 modalités.

On a 10 grandes unités expérimentales WP_id (WholePlot) = wp1, wp2, ..., wp10

Cette variable constitue un facteur aléatoire.

WP_id est une variable nécessaire dans le fichier au moment de l'analyse si

on utilise l'approche MODÈLES MIXTES avec VEPAC.

Chaque WP est divisé en 2 plus petites unités expérimentales SplitPlot : SP_id = sp11, sp12, ..., sp101, sp102

Cette information est dans le fichier mais elle n'est pas nécessaire pour l'analyse.

Normalement elle n'est pas identifiée dans le fichier. Ici, nous avons fait une exception.

Irrigation est assigné à WP et fertilisant est assigné à SP dans WP : fertilisant est emboîté dans irrigation

L'organisation des données (colonnes 9 à 13) est analogue à celle de mesures répétées :

fertilisant est INTRA - irrigation est INTER

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot) : analyse

Exemple 11.1 : agronomie Kutner & all 5 ed. problème 27.20 p.1170

Étude sur l'influence de 2 facteurs sur le rendement Y_yield de production de blé

2 facteurs fixés ayant 2 modalités chacun : facteur1 = irrigation facteur2 = fertilisant

A_irrig : irrig1, irrig2 / B_fert : fert1, fert2

plan complet 2x2 : 4 traitements / 5 répétitions (bloc) : b1, b2, b3, b4, b5 On a 4 x 5 = 20 observations

L'assignation des traitements n'est pas en mode complètement aléatoire. L'assignation des traitements est en mode SplitPlot.

On tient en compte la facilité / difficulté de changer les modalités des facteurs.

Irrigation est un facteur difficile à changer (DAC) : on le fixe en premier

Fertilisant est un facteur facile à changer (FAC) : on le fait varier ensuite à ses 2 modalités.

On a 10 grandes unités expérimentales WP_id (WholePlot) = wp1, wp2, ..., wp10 Cette variable constitue un facteur aléatoire.

Cette variable est nécessaire dans le fichier au moment de l'analyse si on utilise l'approche MODÈLES MIXTES avec VEPAC.

Chaque WP est divisé en 2 plus petites unités expérimentales SplitPlot : SP_id = sp11, sp12, ..., sp101, sp102

Cette information est dans le fichier mais elle n'est pas nécessaire pour l'analyse.

Normalement elle n'est pas identifiée dans le fichier. Ici, nous avons fait une exception.

Irrigation est assigné à WP et fertilisant est assigné à SP dans WP : fertilisant est emboîté dans irrigation

L'organisation des données (colonnes 10 à 14) est analogue à celle de mesures répétées : fertilisant est INTRA - irrigation est INTER

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	id	field	WholePlot_id	SubPlot_id	A_irrigation	B_fertilisant	bloc	Y_yield	c9	WP2	A_irrig2	bloc2	Y_fert1	Y_fert2	c15	WP3	bloc3	A3_ir	B3_fert	Y3_yield	c21	WP4	bloc4	A4_ir	Y_f1	Y_f2
1	1	f1	wp1	sp11	irrig1	fert1	b1	43		wp1	irrig1	b1	43	48		wp1	b1	irr1	f1	43		wp1	b1	irrig1	43	48
2	2	f1	wp1	sp12	irrig1	fert2	b1	48		wp2	irrig1	b1	40	43		wp1	b1	irr1	f2	48		wp6	b1	irrig2	40	43
3	3	f2	wp2	sp21	irrig1	fert1	b1	40		wp3	irrig1	b2	31	36		wp2	b1	irr2	f1	63		wp2	b2	irrig1	31	36
4	4	f2	wp2	sp22	irrig1	fert2	b1	43		wp4	irrig1	b2	27	30		wp2	b1	irr2	f2	70		wp7	b2	irrig2	27	30
5	5	f3	wp3	sp31	irrig1	fert1	b2	31		wp5	irrig1	b3	36	39		wp3	b2	irr1	f1	40		wp3	b3	irrig1	36	39
6	6	f3	wp3	sp32	irrig1	fert2	b2	36		wp6	irrig2	b3	63	70		wp3	b2	irr1	f2	43		wp8	b3	irrig2	63	70
7	7	f4	wp4	sp41	irrig1	fert1	b2	27		wp7	irrig2	b4	52	53		wp4	b2	irr2	f1	52		wp4	b4	irrig1	52	53
8	8	f4	wp4	sp42	irrig1	fert2	b2	30		wp8	irrig2	b4	45	48		wp4	b2	irr2	f2	53		wp9	b4	irrig2	45	48
9	9	f5	wp5	sp51	irrig1	fert1	b3	36		wp9	irrig2	b5	47	51		wp5	b3	irr1	f1	31		wp5	b5	irrig1	47	51
10	10	f5	wp5	sp52	irrig1	fert2	b3	39		wp10	irrig2	b5	54	57		wp5	b3	irr1	f2	36		wp10	b5	irrig2	54	57
11	11	f6	wp6	sp61	irrig2	fert1	b3	63								wp6	b3	irr2	f1	45						
12	12	f6	wp6	sp62	irrig2	fert2	b3	70								wp6	b3	irr2	f2	48						
13	13	f7	wp7	sp71	irrig2	fert1	b4	52								wp7	b4	irr1	f1	27						
14	14	f7	wp7	sp72	irrig2	fert2	b4	53								wp7	b4	irr1	f2	30						
15	15	f8	wp8	sp81	irrig2	fert1	b4	45								wp8	b4	irr2	f1							
16	16	f8	wp8	sp82	irrig2	fert2	b4	48								wp8	b4	irr2	f2							
17	17	f9	wp9	sp91	irrig2	fert1	b5	47								wp9	b5	irr1	f1							
18	18	f9	wp9	sp92	irrig2	fert2	b5	51								wp9	b5	irr1	f2							
19	19	f10	wp10	sp101	irrig2	fert1	b5	54								wp10	b5	irr2	f1							
20	20	f10	wp10	sp102	irrig2	fert2	b5	57								wp10	b5	irr2	f2							

EXEMPLES D'ANALYSE : expériences en parcelles divisées

Exemple 11.1 : production blé

facteur 1 : irrigation (irrig1 et irrig2) - **facteur WholePlot**
chaque WP est divisé en 2 et fertilisé avec 2 fertilisants

facteur 2 : fertilisant (fert1 et fert2) - **facteur SplitPlot**
fertilisant est emboîté dans irrigation

20 observations: 5 blocs (répétitions) de 4 traitements

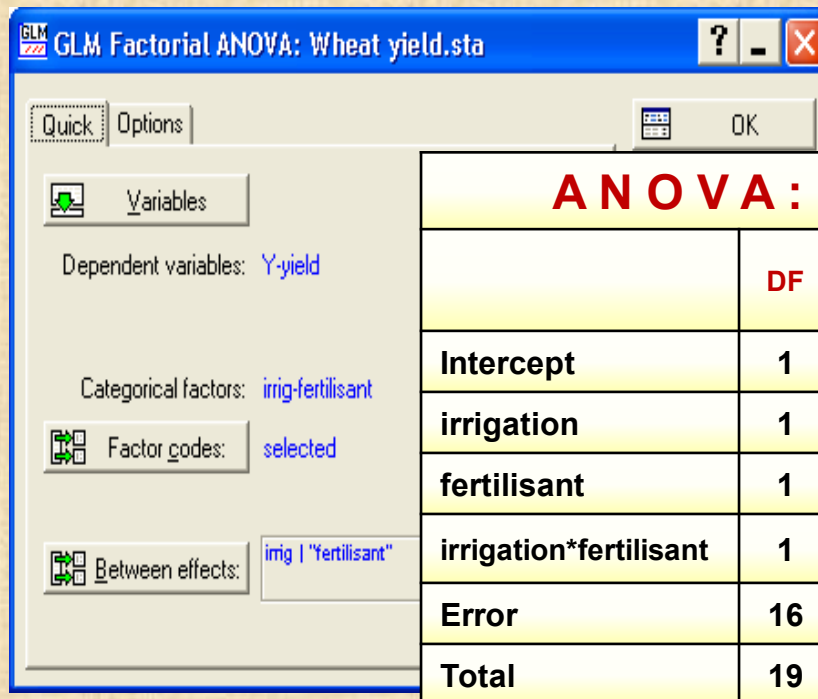
Exécution de 3 analyses

Analyse 1 : ANOVA en mode complètement aléatoire
analyse erronée
elle ne tient pas compte de l'assignation
qui est en mode SplitPlot

Analyse 2 : ANOVA en mesures répétées
bonne analyse

Analyse 3 : VEPAC pour modèle mixte
bonne analyse
résultats compatibles avec l'analyse 2

Analyse 1 : mode complètement aléatoire - analyse erronée



A N O V A : mode complètement aléatoire

	DF	Y_yield SS	Y_yield MS	Y_yield F	Y_yield p
Intercept	1	41678,45	41678,45	784,9049	0,000000
irrigation	1	1394,45	1394,45	26,2608	0,000102
fertilisant	1	68,45	68,45	1,2891	0,272940
irrigation*fertilisant	1	0,05	0,05	0,0009	0,975900
Error	16	849,60	53,10		
Total	19	2312,55			

Conclusion

- facteur irrigation **significatif**
- facteur fertilisant **non significatif** (pas la bonne conclusion)
comme sera démontré page 42
- interaction irrigation*fertilisant **non significatif**
- **analyse erronée** car elle ne tient pas en compte la méthode d'assignation

Analyse 2 : GLM Repeated measures car Y dépendantes dans un même WholePlot

The image shows three overlapping dialog boxes in Minitab's GLM module:

- General Linear Models (GLM): Ex-11.6-blé.sta in DOE2011-ch11-SplitPlot.stw**
 - Type of analysis: **Repeated measures ANOVA** (highlighted)
 - Specification method: **Quick specs dialog**
- GLM Repeated Measures ANOVA: Ex-11.6-blé.sta in DOE2011-ch11-Spli...**
 - Dependent variables: **Y_fert1-Y_fert2**
 - Within effects: **FERT**
 - Categorical factors: **irrigation2**
 - Factor codes: **none**
 - Between effects: **"irrigation2"**
- Specify within-subjects factors: Ex-11.6-blé.sta i...**
 - Total repeated measures and/or dependent variables selected: **2**
 - No. of levels: **2**
 - Factor Name: **FERT**

A red dashed arrow points from the text box to the 'FERT' factor in the 'Specify within-subjects factors' dialog.

**facteur emboîté:
fertilisant**

Analyse 2 : GLM Repeated measures

ANOVA					
	SS	DF	MS	F	p
Intercept	41678,45	1	41678,45	398,07	0,000000
irrigation2	1394,45	1	1394,45	13,315	0,006499
Error 1	837,60	8	104,70		
FERT	68,45	1	68,45	45,633	0,000144
FERT*irrigation2	0,05	1	0,05	0,0333	0,859674
Error 2	12,00	8	1,50		

Provenance de Error 1 Error 2

Modèle : WP emboité dans A_irrig

$Y = \text{int} + \text{WP}(\text{A_irrig}) + \text{A_irrig} + \text{B_fert} + \text{erreur}$

NewVar	Degr. of Freedom	Y_yield SS	Y_yield MS	Y_yield F	Y_yield p
Intercept	1	41678,45	41678,45	31129,13	0,000000
WP id(A irrig)	8	837,60	104,70	78,20	0,000000
A_irrig	1	1394,45	1394,45	1041,50	0,000000
B_fert	1	68,45	68,45	51,12	0,000054
Error	9	12,05	1,34		
Total	19	2312,55			

$\text{Error 2} = \text{Error} - \text{Irrig} * \text{fert} = 12,05 - 0,05 = 12,00$

	Analyse 1 complètement aléatoire p-value	Analyse 2 SplitPlot p-value
analyse	incorrecte	correcte
Irrigation	0,001	0,0065
Fertilisant	0,273	0,00015
Interaction	0,976	0,8597

Conclusion mode SplitPlot

- irrigation et fertilisant **significatifs**
- interaction pas **significative**

ANOVA : mode complètement aléatoire

	DF	Y_yield SS	Y_yield MS	Y_yield F	Y_yield p
Intercept	1	41678,45	41678,45	784,9049	0,000000
irrigation	1	1394,45	1394,45	26,2608	0,000102
fertilisant	1	68,45	68,45	1,2891	0,272940
irrigation*fertilisa	1	0,05	0,05	0,0009	0,975900
Error	16	849,60	53,10		
Total	19	2312,55			

Analyse 3 : VEPAC pour modèle mixte - résultats compatibles avec l'analyse 2

Variance Components & Mixed Model ANOVA: Ex-11.1...

Quick | Advanced | Model

Variables

Dependent variables: none
 Random factors (effects): none
 Fixed factors (effects): none
 Covariates (fixed effects): none

Codes and levels for factors

Codes for factors: none

Select all codes found for the factors (variables)

Sorting of codes

Sort codes in ascending order
 Sort codes in descending order
 Do not sort codes

Select the dependent variables and factors

1 - ID
2 - bloc
3 - WP_id
4 - SP_id
5 - A_irrig
6 - B_fert
7 - Y_yield
8 -
9 - bloc2
10 - WP2
11 - A_irrig2
12 - Y_fert_f1

1 - ID
2 - bloc
3 - WP_id
4 - SP_id
5 - A_irrig
6 - B_fert
7 - Y_yield
8 -
9 - bloc2
10 - WP2
11 - A_irrig2
12 - Y_fert_f1

1 - ID
2 - bloc
3 - WP_id
4 - SP_id
5 - A_irrig
6 - B_fert
7 - Y_yield
8 -
9 - bloc2
10 - WP2
11 - A_irrig2
12 - Y_fert_f1

1 - ID
2 - bloc
3 - WP_id
4 - SP_id
5 - A_irrig
6 - B_fert
7 - Y_yield
8 -
9 - bloc2
10 - WP2
11 - A_irrig2
12 - Y_fert_f1

Dependent vars: 7
 Random factors: 3
 Fixed factors: 5-6
 Covariates:

Show appropriate variables only

Variance Components & Mixed Model ANOVA: Ex-11.1...

Quick | Advanced | Model

Model

Factorial design to degree: 2
 Fixed by random interactions are fixed effects

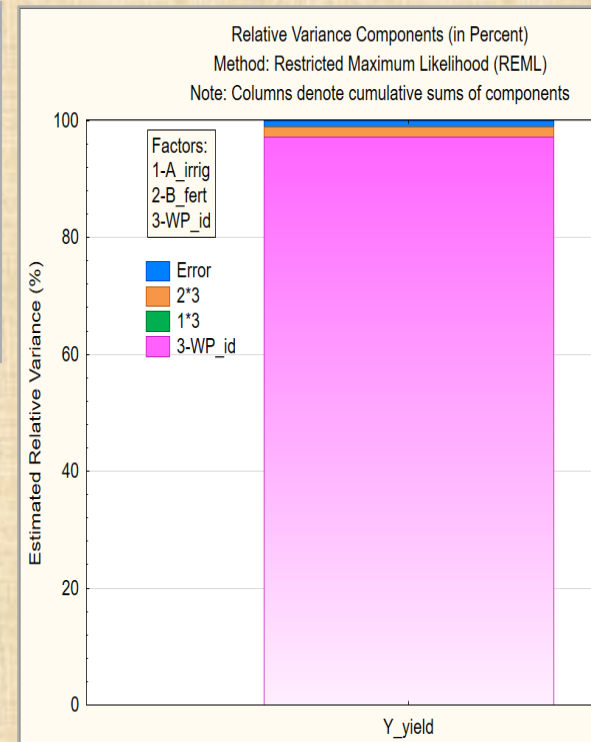
Hierarchically nested design

Interpretation of codes

Codes identify consecutive overall levels
 Codes identify levels within other factors

Restricted Maximum Likelihood Estimates (Ex-11.1-blé-Split)
 Variable: Y_yield
 NOTE: Hessian was singular at point of convergence!

variances	Variance Comp.	Asympt. Std.Err.	Asympt. z	Asympt. p
{3}WP_id	51,60000	26,17769	1,971144	0,024354
1*3	0,00000			
2*3	0,90000			
Error	0,60000	0,30000	2,000000	0,022750

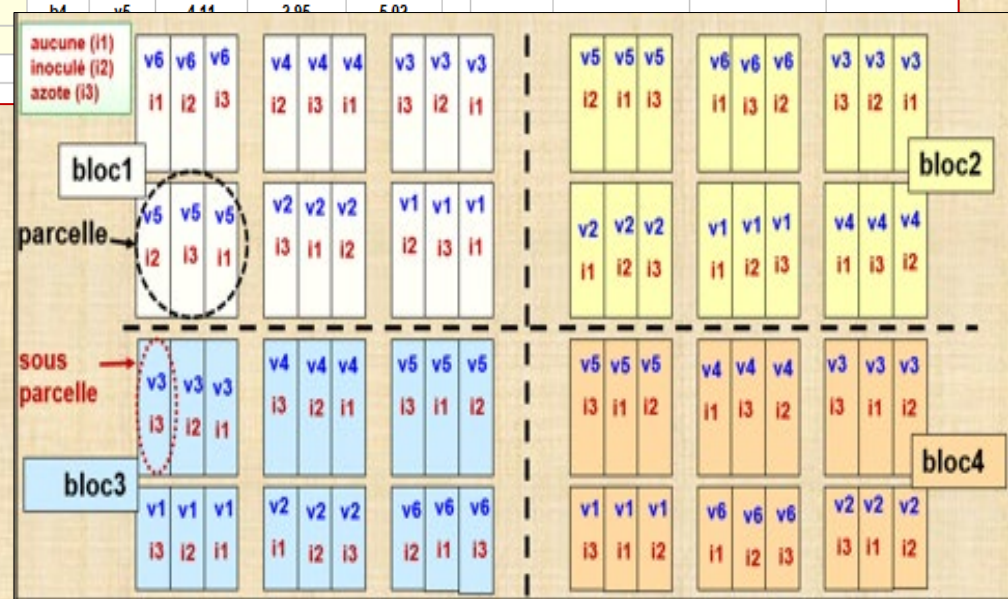


effet	Effect (F/R)	Degr. of Freedom	Y_yield SS	Y_yield MS
{1}A_irrig	Fixed	1	1394,450	1394,450
{2}B_fert	Fixed	1	68,450	68,450
{3}WP_id	Random	8	837,600	104,700
1*2	Fixed	1	0,050	0,050
1*3	Random	0	0,000	
2*3	Random	8	12,000	1,500
Residual		0	0,000	
Total		19	2312,550	121,713

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
WholePlot_id	variété	inoculat	bloc	Y_rend		bloc2	variété2	Y_rend_i1	Y_rend_i2	Y_rend_i3		variété3	Y_rend_i1_moy	Y_rend_i2_moy	Y_rend_i3_moy
wp1	v1	i1	b1	7,20		b1	v1	7,20	7,38	7,82		v1	5,96	6,54	6,90
wp1	v1	i2	b1	7,38		b1	v2	6,95	7,55	7,42		v2	3,93	4,37	4,72
wp1	v1	i3	b1	7,82		b1	v3	5,37	6,95	6,00		v3	6,35	8,25	7,69
wp2	v2	i1	b1	6,95		b1	v4	3,87	5,35	5,35		v4	5,20	5,18	5,44
wp2	v2	i2	b1	7,55		b1	v5	4,50	5,14	4,50		v5	5,39	6,83	6,95
wp2	v2	i3	b1	7,42		b1	v6	3,10	3,00	2,95		v6	3,43	4,03	3,77
wp3	v3	i1	b1	5,37		b2	v1	6,70	8,20	8,98					
wp3	v3	i2	b1	6,95		b2	v2	7,60	9,15	8,89					
wp3	v3	i3	b1	6,00		b2	v3	4,75	7,41	5,20					
wp4	v4	i1	b1	3,87		b2	v4	6,15	6,50	6,50					
wp4	v4	i2	b1	5,35		b2	v5	4,80	4,45	4,91					
wp4	v4	i3	b1	5,35		b2	v6	4,65	4,59	4,90					
wp5	v5	i1	b1	4,50		b3	v1	5,87	7,60	7,64					
wp5	v5	i2	b1	5,14		b3	v2	7,22	8,10	8,40					
wp5	v5	i3	b1	4,50		b3	v3	3,08	4,80	4,80					
wp6	v6	i1	b1	3,10		b3	v4	4,75	4,79	6,28					
wp6	v6	i2	b1	3,00		b3	v5	3,35	4,85	3,28					
wp6	v6	i3	b1	2,95		b3	v6	2,20	2,46	1,75					
wp7	v1	i1	b2	6,70		b4	v1	5,35	6,08	8,20					
wp7	v1	i2	b2	8,20		b4	v2	5,60	5,30	7,37					
wp7	v1	i3	b2	8,98		b4	v3	5,30	6,00	4,60					
wp8	v2	i1	b2	7,60		b4	v4	4,50	5,50	6,10					
wp8	v2	i2	b2	9,15		b4	v5	4,44	2,95	5,02					
wp8	v2	i3	b2	8,89											
wp9	v3	i1	b2	4,75											
wp9	v3	i2	b2	7,41											

wp23	v5	i1	b4	4,11
wp23	v5	i2	b4	2,95
wp23	v5	i3	b4	5,02
wp24	v6	i1	b4	3,50
wp24	v6	i2	b4	4,30
wp24	v6	i3	b4	4,38



Exemple 11.5

Culture haricot

Facteur 1: variété haricot

6 modalités v1-v2-v3-v4-v5-v6

Facteur 2: inoculation
3 modalités

aucune = i1
inoculé = i2
apport azote = i3
enfou dans facteur haricot

Facteur bloc

4 modalités b1 b2 b3 b4

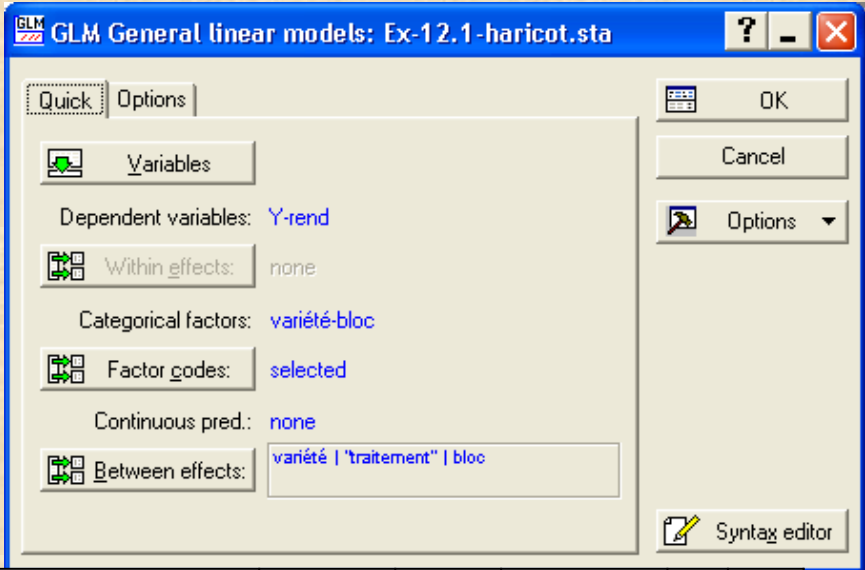
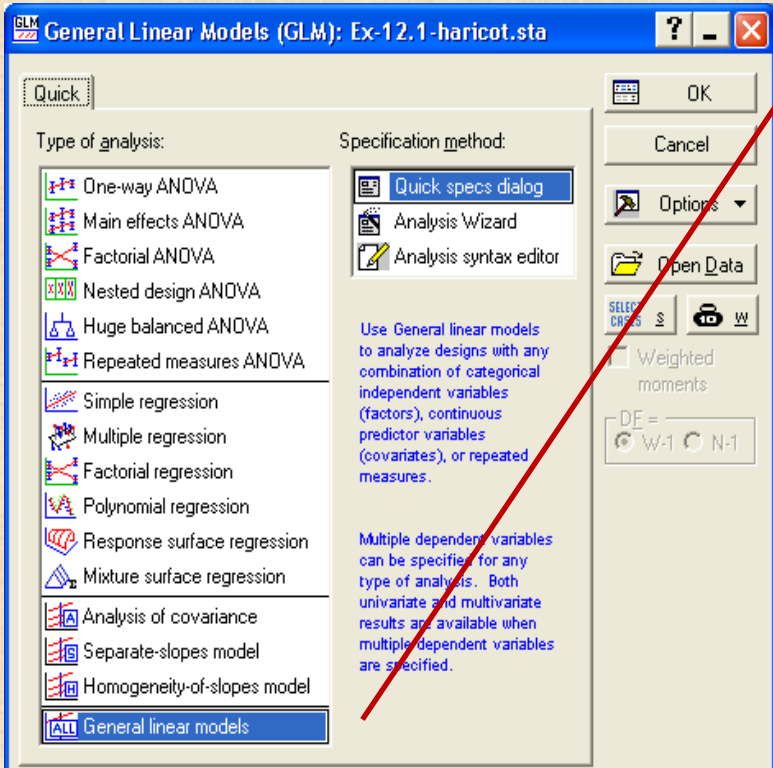
2 points de vue : facteur secondaire ou répétitions

Réponse : Y_rend rendement en kg gousses fraîches

EXEMPLES D'ANALYSE : expériences en parcelles divisées

Analyse ANOVA avec

Module General Linear Model GLM



modèle erroné pour analyse

$$Y = \text{gen} + \text{variété} + \text{trait} + \text{bloc} \\
+ \text{vari}*\text{trait} + \text{vari}*\text{bloc} + \text{trait}*\text{bloc} \\
+ \text{vari}*\text{trait}*\text{bloc}$$

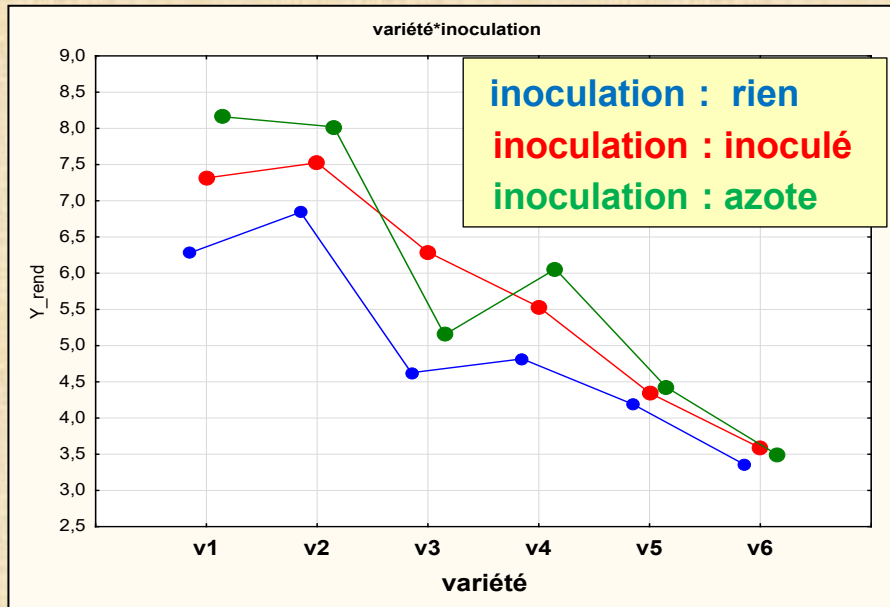
	SS	DF	MS	F	p
Intercept	2223.4	1	223.44		
variété	148.61	5	29.72		
traitement	10.57	2	5.28		
bloc	17.59	3	5.86		
variété*traitement	8.44	10	0.84		
variété*bloc	18.96	15	1.26		
traitement*bloc	2.91	6	0.49		
variété*trait*bloc	9.78	30	0.33		
Error		0			

EXEMPLES D'ANALYSE : expériences en parcelles divisées

$Y = \text{général} + \text{bloc} + \text{variété} + \text{variété} \cdot \text{bloc}(\text{erreur1}) + \text{traitement} + \text{variété} \cdot \text{traitement} + \text{erreur2}$

Ex.
11.5
haricot

	Effect	SS	df	Num. MS	Den. Syn df	Den. Syn MS	F	p
Intercept	Fixed	2223.44	1	2223.44	3	5.86	379.12	0.000
bloc	Random	17.59	3	5.86	15	1.26	4.64	0.017
variété	Fixed	148.61	5	29.72	15	1.26	23.51	0.000
bloc*variété	Random	18.96	15	1.26	36	0.35	3.58	0.001
traitement	Fixed	10.57	2	5.28	36	0.35	14.99	0.000
variété*traitement	Fixed	8.44	10	0.84	36	0.35	2.39	0.027
Error			36	0.35				



test intercept (pas d'intérêt)
 $F = 2223.44 / 5.86 = 379.12$

test bloc (pas d'intérêt)
 $F = 5.86 / 1.26 = 4.64$

test variété
 $F = 29.72 / 1.26 = 23.51$

test bloc*variété (pas d'intérêt)
 $F = 1.26 / 0.35 = 3.58$

test traitement
 $F = 5.28 / 0.35 = 14.99$

test variété*traitement
 $F = 0.84 / 0.35 = 2.39$

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

Exemple 11.7 : bois

- 3 **Méthodes** préparation pulpe : m1 - m2 - m3
- 4 niveaux de **Température** : 200 - 225 - 250 - 275
- 3 x 4 = 12 traitements
- **réponse Y** : force tension papier
- 3 blocs (= répétitions)
- **contrainte** : 12 essais par jour
- exécution des 12 traitements par jour :
bloc = répétition
- lot pulpe préparé selon une méthode M
parcelle = WholePlot
- lot divisé en 4 échantillons
parcelle divisée = SplitPlot

Bloc	b1			b2			b3		
WholePlot	wp1	wp2	wp3	wp4	wp5	wp6	wp7	wp8	wp9
Méthode	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
Temp									
200	30	34	29	28	31	31	31	35	32
225	35	41	26	32	36	30	37	40	34
250	37	38	33	40	42	32	41	39	39
275	36	42	36	41	40	40	40	44	45

WholePlot

SplitPlot

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
WholePlot_id	bloc	method	temp	Y_papier		bloc2	method2	Y_200	Y_225	Y_250	Y_275
wp1	b1	m1	200	30		b1	m1	30	35	37	36
wp1	b1	m1	225	35		b1	m2	34	41	38	42
wp1	b1	m1	250	37		b1	m3	29	26	33	36
wp1	b1	m1	275	36		b2	m1	28	32	40	41
wp2	b1	m2	200	34		b2	m2	31	36	42	40
wp2	b1	m2	225	41		b2	m3	31	30	32	40
wp2	b1	m2	250	38		b3	m1	31	37	41	40
wp2	b1	m2	275	42		b3	m2	35	40	39	44
wp3	b1	m3	200	29		b3	m3	32	34	39	45
wp3	b1	m3	225	26							
wp3	b1	m3	250	33							
wp3	b1	m3	275	36							
wp4	b2	m1	200	28							
wp4	b2	m1	225	32							
wp4	b2	m1	250	40							
wp4	b2	m1	275	41							
wp5	b2	m2	200	31							
wp5	b2	m2	225	36							
wp5	b2	m2	250	42							
wp5	b2	m2	275	40							
wp6	b2	m3	200	31							
wp6	b2	m3	225	30							
wp6	b2	m3	250	32							
wp6	b2	m3	275	40							
wp7	b3	m1	200	31							
wp7	b3	m1	225	37							
wp7	b3	m1	250	41							
wp7	b3	m1	275	40							
wp8	b3	m2	200	35							
wp8	b3	m2	225	40							
wp8	b3	m2	250	39							
wp8	b3	m2	275	44							
wp9	b3	m3	200	32							
wp9	b3	m3	225	34							
wp9	b3	m3	250	39							
wp9	b3	m3	275	45							

EXEMPLES D'ANALYSE : expériences en parcelles divisées

Particularités bloc considéré aléatoire

- contrainte randomisation : 12 essais à l'intérieur chaque **bloc**
- chaque **bloc** divisé en 3 unités exp. **WholePlots**
 facteur A: Méthode préparation - grandes unités exp. **WholePlot**
- chaque **WholePlot** divisé en 4 petites parcelles **SplitPlot**
 facteur B: Température - petites unités exp. **SplitPlot**
- 2 expériences superposées : 2 tailles unités expérimentales (u.e.)
 - **expérience 1** : appliquée aux **grandes** unités exp. **WholePlot**
 - **expérience 2** : appliquée aux **petites** unités exp. **SplitPlot**

Effets sur Y gen + **bloc** + **A** + **B** + **AB** + **bloc*A** + **bloc*B** + **bloc*A*B** + erreur

γ_i : effet **bloc** (facteur aléatoire) $i = 1, 2, \dots, b$ ($b = \text{nb blocs}$)

α_j : effet **facteur A** fixé $(\gamma\alpha)_{ij}$: **A x bloc** = terme erreur **WholePlot**

β_k : effet **facteur B** fixé $(\beta\gamma)_{ik}$: **B x bloc** $(\alpha\beta)_{jk}$: **A x B**

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$: **A x B x bloc** ε_{ijk} : erreur = terme erreur **SubPlot**

Modèle général $j = 1, 2, \dots, a$ ($a = \text{nb niveaux A}$) $k = 1, 2, \dots, c$ ($c = \text{nb niveaux B}$)

$$y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \underbrace{\alpha_j + (\gamma\alpha)_{ij}}_{\text{termes WholePlot}} + \underbrace{\beta_k + (\gamma\beta)_{ik} + (\alpha\beta)_{jk} + (\gamma\alpha\beta)_{ijk}}_{\text{termes SplitPlot}} + \varepsilon_{ijk}$$

Modèle simplifié

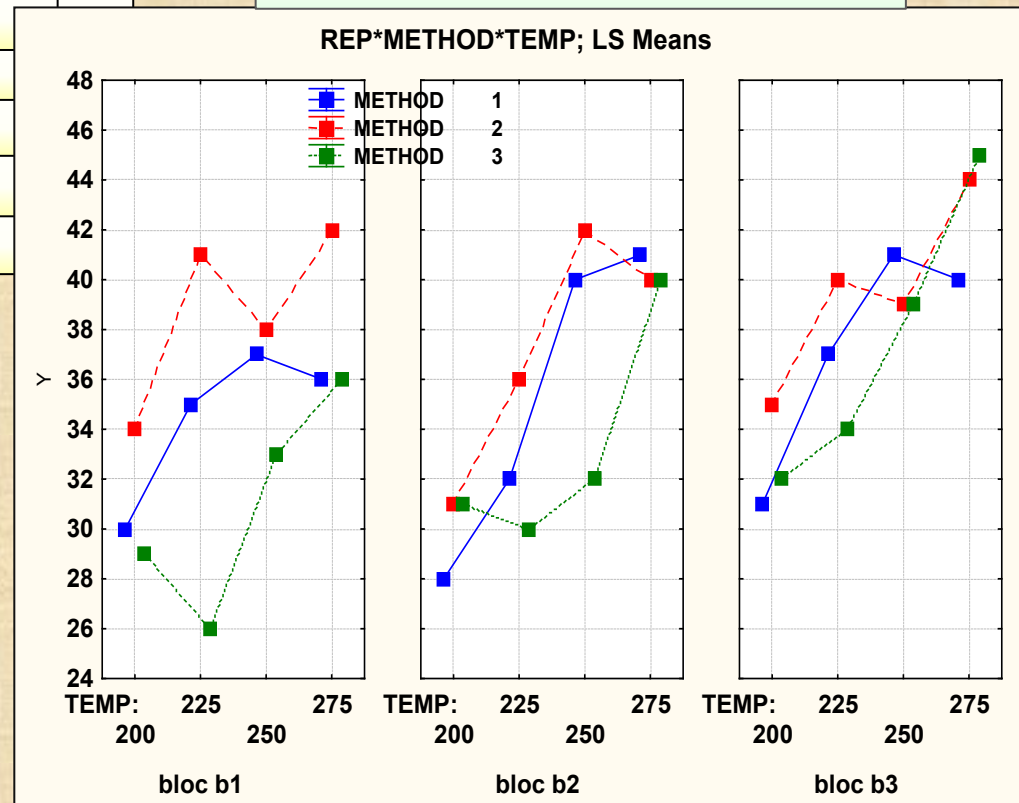
$$y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \alpha_j + (\gamma\alpha)_{ij} + \beta_k + (\gamma\beta)_{ik} + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

EXEMPLES D'ANALYSE : expériences en parcelles divisées

Exemple 11.7 : analyse - bloc considéré comme facteur aléatoire décomposition ANOVA pour visualiser les données

Effet	SS	DF	MS	F	p
Intercept (gen)	46728.0	1	46728.03		
BLOC	77.56	2	38.78		
METHOD	128.39	2	64.19		
TEMP	434.08	3	144.69		
BLOC*METHOD	36.28	4	9.07		
BLOC*TEMP	20.67	6	3.44		
METHOD*TEMP	75.17	6	12.53		
BLOC*METHOD*TEMP	50.83	12	4.24		
Error		0			

visualisation des données



EXEMPLES D'ANALYSE : expériences en parcelles divisées

Exemple-11.7 : analyse 1 « WholePlot »

Method significatif ?

bon terme d'erreur = bloc*Method

Effet	SS	DF	MS
Intercept (gen)	46728.0	1	46728.03
BLOC	77.56	2	38.78
METHOD	128.39	2	64.19
TEMP	434.08	3	144.69
BLOC*METHOD	36.28	4	9.07
BLOC*TEMP	20.67	6	3.44
METHOD*TEMP	75.17	6	12.53
BLOC*METHOD*TEMP	50.83	12	4.24
Error		0	

	SS	DF	MS	F	p
Intercept	46728.0 3	1	46728.03	2172.46	0.000000
bloc	77.56	2	38.78	1.803	0.184112
METHOD	128.39	2	64.19	2.985	0.067450
bloc*METHO	36.28	4	9.07	0.422	0.791583
Error	580.75	27	21.51		

mauvais test : ratio $F = 64,19 / 21,51 = 2,985$ p-value = 0,06745
METHOD déclaré non significatif

bloc*METHOD est le bon terme d'erreur pour tester **METHOD**
Error pas le bon dénominateur pour le test

bon test : ratio $F = 64,19 / 9,07 = 7,08$ p-value = 0,0485
METHOD déclaré significatif

EXEMPLES D'ANALYSE : expériences en parcelles divisées

Exemple 11.7 : analyse 2 SplitPlot

Temperature significatif ?

terme erreur = bloc*Method*Temperature

Effet	SS	DF	MS
Intercept (gen)	46728.0	1	46728.03
BLOC	77.56	2	38.78
METHOD	128.39	2	64.19
TEMP	434.08	3	144.69
BLOC*METHOD	36.28	4	9.07
BLOC*TEMP	20.67	6	3.44
METHOD*TEMP	75.17	6	12.53
BLOC*METHOD*TEMP	50.83	12	4.24
Error		0	



	SS	DF	MS	F	p
TEMP	434.08	3	144.69	34.16	0.000004
bloc*TEMP	20.67	6	3.44	0.81	0.579669
METHOD*TEMP	75.17	6	12.53	2.96	0.051971
bloc*METHOD*TEM	50.83	12	4.24		

température significatif

METHOD*TEMP significatif

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

Exemple 11.8 – papier – mode «parcelles divisées»

A, B, C, D : facteurs définissant GRANDE PARCELLE
(« WholePlot ») facteurs INTER

E : facteur petite parcelle (« SplitPlot ») facteur INTRA

Y : wet_angle
plasma employé pour modifier
caractéristiques surfaces microprocesseurs

E : facteur INTRA (emboîté)

2 modalités E1 E2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ID	WholePlot_id	A_Pressure	B_Power	C_Gas Flow	D_Gas	E_Paper	bloc	Y_wet angle	c10	WP	A2	B2	C2	Y_E1	Y_E2
1	1	wp1	-1	-1	-1	Oxygen	E1	1	48,6		wp1	-1	-1	-1	48,6	57,0
2	2	wp1	-1	-1	-1	Oxygen	E2	1	57,0		wp2	1	-1	-1	41,2	38,2
3	3	wp2	1	-1	-1	Oxygen	E1	1	41,2		wp3	-1	1	-1	55,8	62,9
4	4	wp2	1	-1	-1	Oxygen	E2	1	38,2		wp4	1	1	-1	63,5	51,3
5	5	wp3	-1	1	-1	Oxygen	E1	1	55,8		wp5	-1	-1	1	37,6	43,5
6	6	wp3	-1	1	-1	Oxygen	E2	1	62,9		wp6	1	-1	1	47,2	44,8
7	7	wp4	1	1	-1	Oxygen	E1	1	63,5		wp7	-1	1	1	54,6	48,7
8	8	wp4	1	1	-1	Oxygen	E2	1	51,3		wp8	1	1	1	44,4	54,6
9	9	wp5	-1	-1	1	Oxygen	E1	1	37,6		wp9	-1	-1	-1	18,1	56,8
10	10	wp5	-1	-1	1	Oxygen	E2	1	43,5		wp10	1	-1	-1	56,2	25,6
11	11	wp6	1	-1	1	Oxygen	E1	1	47,2		wp11	-1	1	-1	33,0	41,8
12	12	wp6	1	-1	1	Oxygen	E2	1	44,8		wp12	1	1	-1	37,8	13,3
13	13	wp7	-1	1	1	Oxygen	E1	1	54,6		wp13	-1	-1	1	23,7	47,5
14	14	wp7	-1	1	1	Oxygen	E2	1	48,7		wp14	1	-1	1	43,2	11,3
15	15	wp8	1	1	1	Oxygen	E1	1	44,4		wp15	-1	1	1	23,9	49,5
16	16	wp8	1	1	1	Oxygen	E2	1	54,6		wp16	1	1	1	48,2	48,2
17	17	wp9	-1	-1	-1	SiC14	E1	1	18,1							
18	18	wp9	-1	-1	-1	SiC14	E2	1	56,8							
19	19	wp10	1	-1	-1	SiC14	E1	1	56,2							
20	20	wp10	1	-1	-1	SiC14	E2	1	25,6							
21	21	wp11	-1	1	-1	SiC14	E1	1	33,0							
22	22	wp11	-1	1	-1	SiC14	E2	1	41,8							
23	23	wp12	1	1	-1	SiC14	E1	1	37,8							
24	24	wp12	1	1	-1	SiC14	E2	1	13,3							
25	25	wp13	-1	-1	1	SiC14	E1	1	23,7							
26	26	wp13	-1	-1	1	SiC14	E2	1	47,5							
27	27	wp14	1	-1	1	SiC14	E1	1	43,2							
28	28	wp14	1	-1	1	SiC14	E2	1	11,3							
29	29	wp15	-1	1	1	SiC14	E1	1	23,9							
30	30	wp15	-1	1	1	SiC14	E2	1	49,5							
31	31	wp16	1	1	1	SiC14	E1	1	48,2							
32	32	wp16	1	1	1	SiC14	E2	1	48,2							

Analyse plans à 2 modalités

calcul des 31 effets

principaux : A B C D E

inter doubles : AB AC ...

inter triples : ABC ABD ...

inter quadruples : ABCD ...

inter quintuple : ABCDE

séparations effets

tous ceux avec E : E AE, BE,
... ABCDE

2 graphiques

- effets grandes parcelles
sur échelle gaussienne

- effets petites parcelles
sur échelle gaussienne

EXEMPLES D'ANALYSE : expériences en parcelles divisées

Exemple 11.8 papier

méthode d'analyse graphique

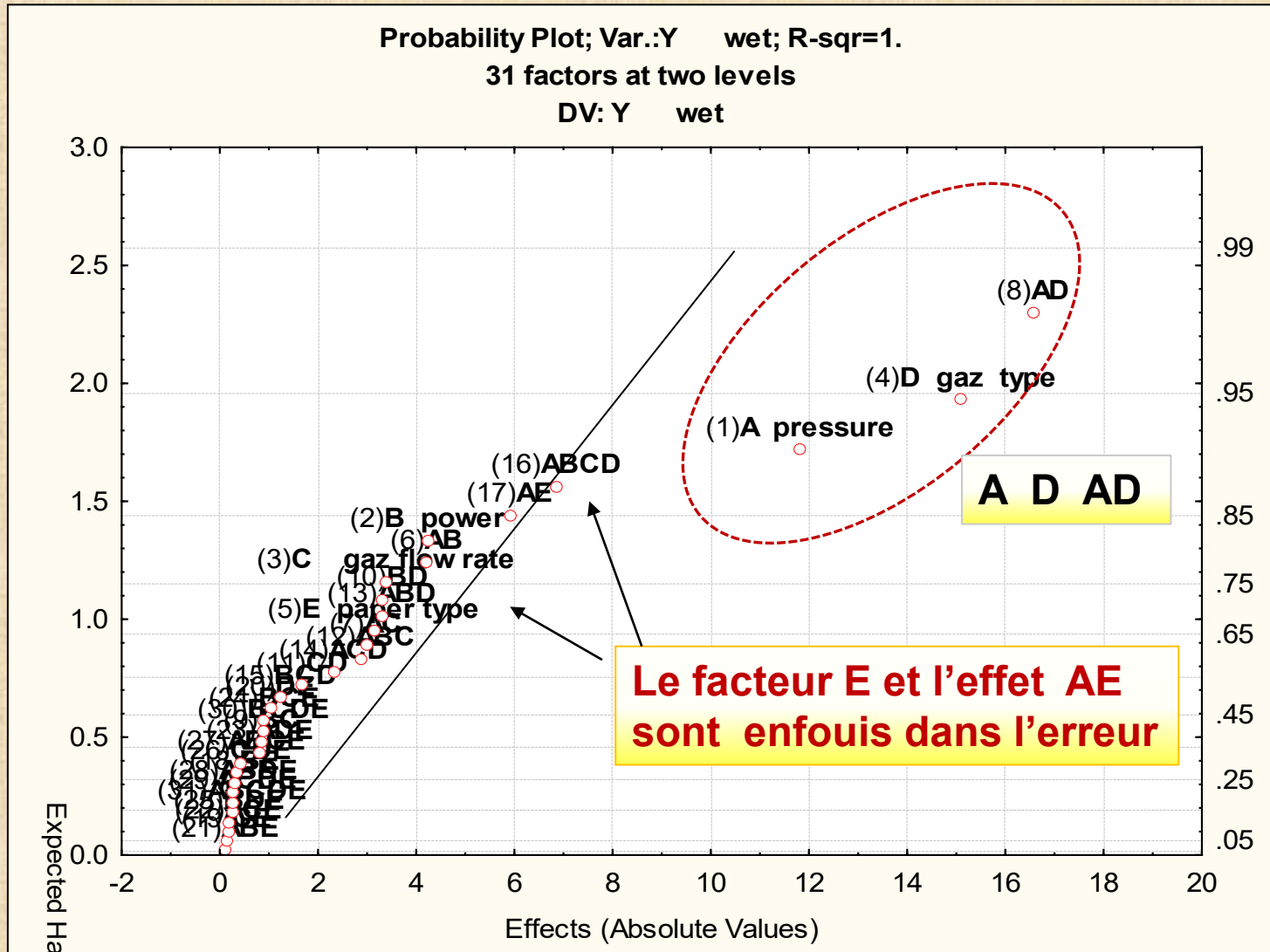
calcul effets + distinction des effets + graphique des effets sur échèle demi normale

1 effet	2 effets tous	3 effets grande parcelle(GP)	4 effets petite parcelle (PP)	5 c5	6 GP	7 effet GP	8 new	9 PP	10 effet PP
Intercept	40,98				A	-11,83		E	-3,14
A pressure	-11,83	-11,83			B	-4,22		AE	-5,90
B power	-4,22	-4,22			C	3,39		BE	-0,30
C gaz flow ra	3,39	3,39			D	15,10		CE	-0,14
D gaz type	15,10	15,10			AB	-4,21		DE	1,02
E paper type	-3,14		-3,14		AC	2,98		ABE	-0,11
A*B	-4,21	-4,21			BC	-0,85		ACE	0,17
A*C	2,98	2,98			AD	16,56		BCE	-0,90
B*C	-0,85	-0,85			BD	-3,31		ADE	0,81
A*D	16,56	16,56			CD	1,68		BDE	0,19
B*D	-3,31	-3,31			ABC	-2,86		CDE	-0,33
C*D	1,68	1,68			ABD	3,30		ABCE	-0,44
A *E	-5,90		-5,90		ACD	2,31		ABDE	0,27
B*E	-0,30		-0,30		BCD	-1,24		ACDE	-0,26
C*E	-0,14		-0,14		ABCD	6,85		BCDE	0,89
D*E	1,02		1,02					ABCDE	-0,25
A*B*C	-2,86	-2,86							
A*B*D	3,30	3,30							
A*C*D	2,31	2,31							
B*C*D	-1,24	-1,24							
A*B*E	-0,11		-0,11						
A*C*E	0,17		0,17						
B*C*E	-0,90		-0,90						
A*D*E	0,81		0,81						
B*D*E	0,19		0,19						
C*D*E	-0,33		-0,33						
A*B*C*D	6,85	6,85							
A*B*C*E	-0,44		-0,44						
A*B*D*E	0,27		0,27						
A*C*D*E	-0,26		-0,26						
B*C*D*E	0,89		0,89						
A*B*C*D*E	-0,25		-0,25						

EXEMPLES D'ANALYSE : expériences en parcelles divisées

Exemple 11.8
papier

Analyse erronée : assignation comme
si assignation complètement aléatoire



EXEMPLES D'ANALYSE : expériences en parcelles divisées

Exemple 11.8 – papier

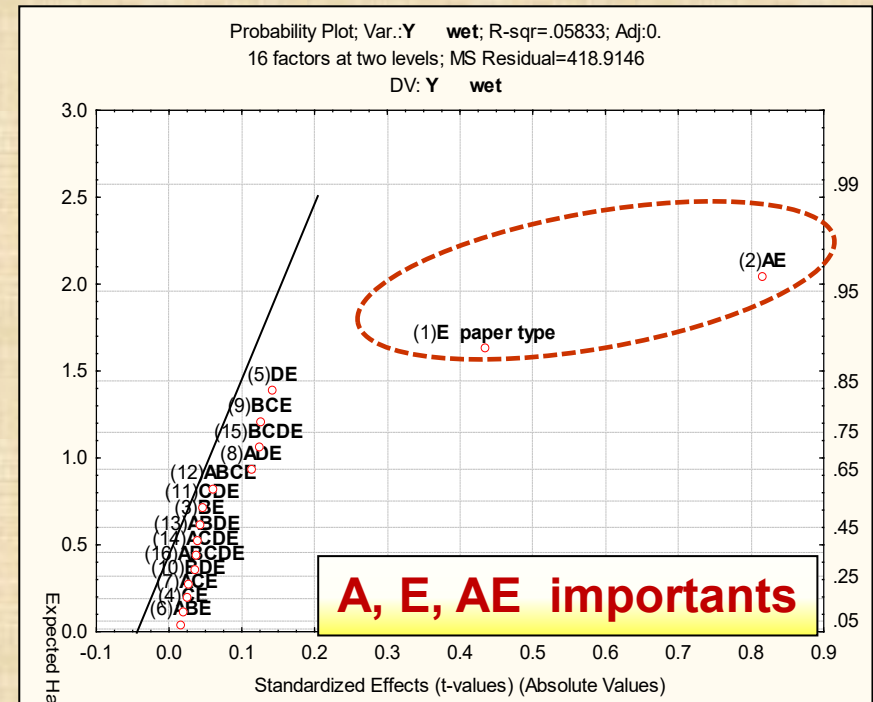
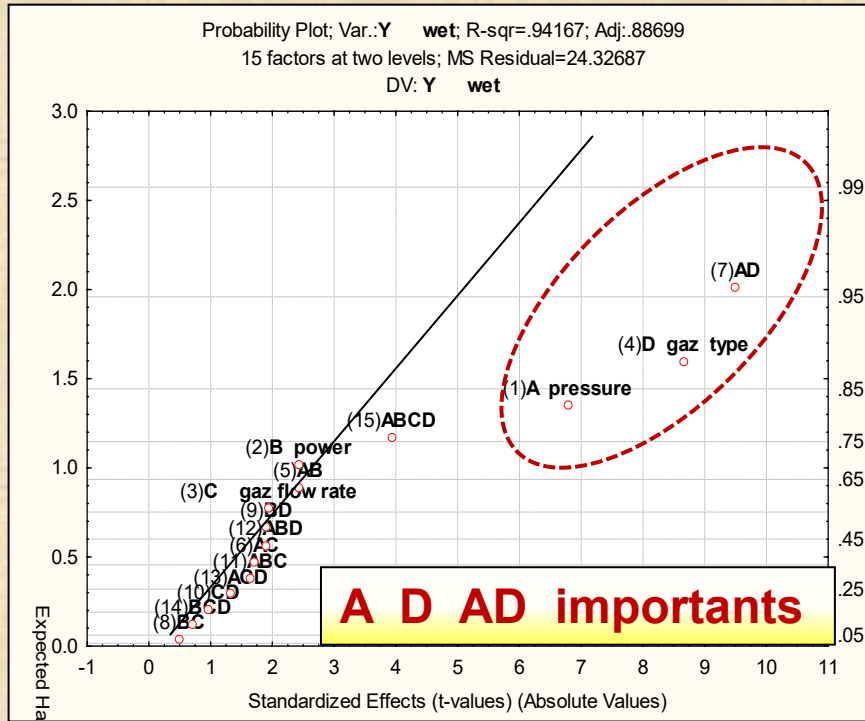
Bonne analyse : méthode 2 séparation des effets

15 effets grande parcelle

A, B, C, D, AB, AC, AD, BC, BD, CD
 ABC, ABD, ACD, BCD, ABCD

16 effets petite parcelle

E, AE, BE, CE, DE, ABE, ACE, ADE, BCE, BDE, CDE, ABCE, ABDE, ACDE, BCDE, ABCDE



Czitrom - Statistical Case Studies for Industrial Process Improvement

ASA/SIAM 1997, chapter 27 pp 387-402 D.K. Lewis, C. Hutchens, J. Smith

Effects of Customer Usage Factors on the Time Between failures of a Wafer Handling Subsystem in an Automated Memory that Relied on Optical Pattern Recognition to Position a Wafer for Repair

8 facteurs de design A, B, C, D, E, F, G, H - plan interne défini par

plan fractionnaire 2^{8-4} de 16 essais E=ABD F=ABC G=BCD H=ACD

A = training box size (-1=small 1=large)

B = corner orientation (-1=near 1=far)

C = binary threshold pixel analysis (-1=40% 1=60%)

D = illumination level (-1=low 1=normal)

E = illumination angle (-1=current 1=new)

F = illumination uniformity (-1=non-unif 1=uniform)

G = teach scene angle (-1=small / non-centered 1=large / centered)

H = train condition (1=off center 1=normal)

interactions doubles confondues

AB=DE=CF=GH AC=BF=DH=EG AD=BE=CH=FG AE=BD=CG=FH AF=BC=DG=EH

AG=BH=CE=DF AH=BG=CD=EF

utilisation AB AC AD AE AF AG AH pour la modélisation

3 facteurs de bruit (noise factors, environnement) - plan externe défini par

plan fractionnaire 2^{3-1} de 4 essais p q r = pq

p = ambient light (-1=high 1=low/off) q = wafer position (1=back 1=normal)

r = wafer angle (-1=+ ou - deg. 1 = 0 deg.)

plan global = plan croisé (inner array X outer array): $2^{8-4} \times 2^{3-1}$: 16 x 4 = 64 essais

response Y = flatfind - scale 0 to 1000 - larger the better - 900 est acceptable

definition : measure of the correlation between an image repair system provided by the pattern-recognition system of the expected image

Exemple 11.10 : flatfinder

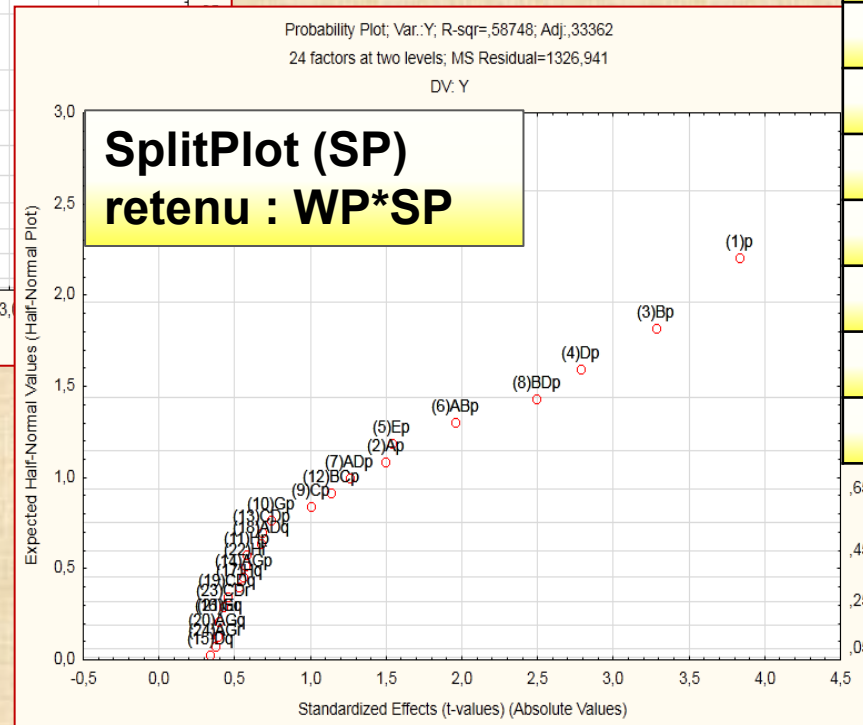
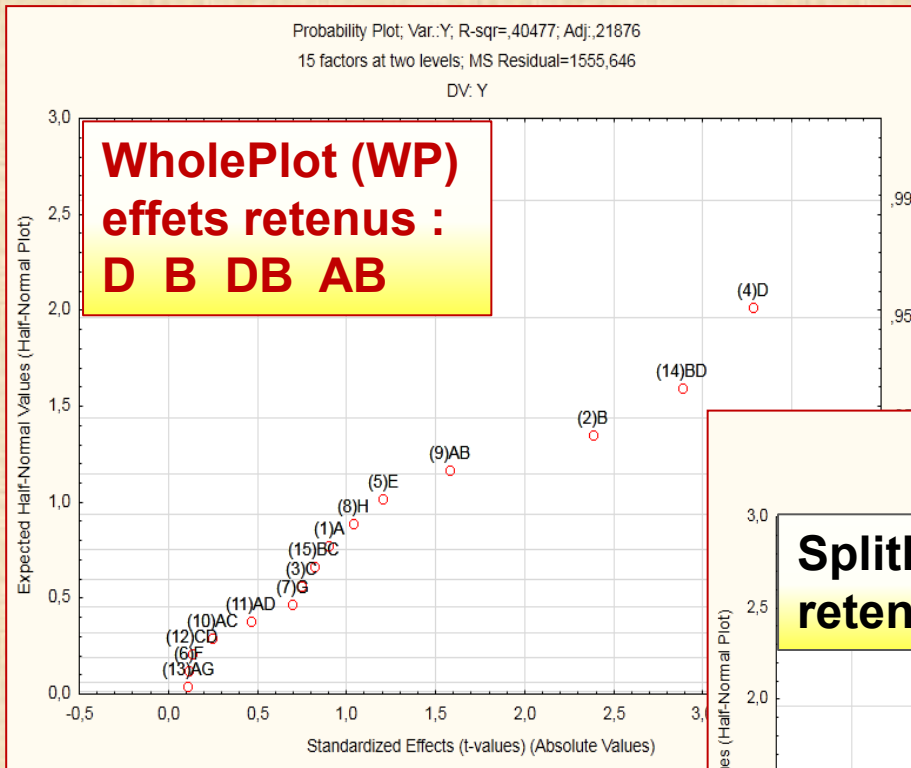
Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

			facteurs design							facteurs de bruit					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
id	WP_id	SP_id	A	B	C	D	E	F	G	H	p	q	r	Y	
1	wp1	sp11	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	916	
2	wp1	sp12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	934	
3	wp1	sp13	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	912	
4	wp1	sp14	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	922	
5	wp2	sp21	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	967	
6	wp2	sp22	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	964	
7	wp2	sp23	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	959	
8	wp2	sp24	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	972	
9	wp3	sp31	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	906	
10	wp3	sp32	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	934	
11	wp3	sp33	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	880	
12	wp3	sp34	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	926	
13	wp4	sp41	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	856	
14	wp4	sp41	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	967	
15	wp4	sp43	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	822	
16	wp4	sp44	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	959	
17	wp5	sp51	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	939	
18	wp5	sp52	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	952	
19	wp5	sp53	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	926	
20	wp5	sp54	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	943	
21	wp6	sp61	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	957	
22	wp6	sp62	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	954	
23	wp6	sp63	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	964	
24	wp6	sp64	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	961	
25	wp7	sp71	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	879	
26	wp7	sp72	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	941	
27	wp7	sp73	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	847	
28	wp7	sp74	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	935	
29	wp8	sp81	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	738	
30	wp8	sp82	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	973	
31	wp8	sp83	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	776	
32	wp8	sp84	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	972	

33	wp9	sp91	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	944
34	wp9	sp92	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	948
35	wp9	sp93	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	948
36	wp9	sp94	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	1	948
37	wp10	sp101	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	956
38	wp10	sp102	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	963
39	wp10	sp103	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	957
40	wp10	sp104	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	958
41	wp11	sp111	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	957
42	wp11	sp112	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	954
43	wp11	sp113	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	964
44	wp11	sp114	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	961
45	wp12	sp121	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	941
46	wp12	sp122	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	972
47	wp12	sp123	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	953
48	wp12	sp124	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	969
49	wp13	sp131	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	932
50	wp13	sp132	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	939
51	wp13	sp133	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	935
52	wp13	sp134	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	940
53	wp14	sp141	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	961
54	wp14	sp142	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	960
55	wp14	sp143	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	960
56	wp14	sp144	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	956
57	wp15	sp151	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	925
58	wp15	sp152	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	951
59	wp15	sp153	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	934
60	wp15	sp154	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	957
61	wp16	sp161	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	972
62	wp16	sp162	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	971
63	wp16	sp163	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	929
64	wp16	sp164	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	974

EXEMPLES D'ANALYSE : expériences en parcelles divisées

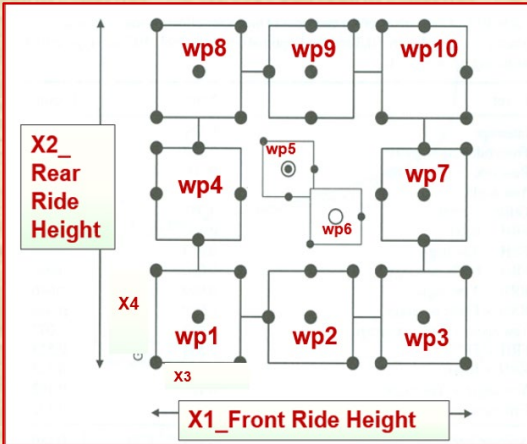
Exemple 11.10 : flatfinder - solution par méthode 2



- (1)p
- (3)Bp
- (4)Dp
- (8)BDp
- (6)ABp
- (5)Ep
- (2)Ap
- (7)ADp
- (12)BCp
- (9)Cp
- (10)Gp
- (13)CDp

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

Exemple 11.12 wind tunnel experiment



	1 WP	2 X1_FRH	3 X2_RRH	4 X3_YA	5 X4_GTC	6 FRH (in)	7 RRH (in)	8 YA	9 GTC	10 Y1_Drag (CD)	11 Y2_LiftFront (CLF)	12 Y3_LiftRear (CLR)	13 Y4_Efficiency
1	WP1	-1	-1	-1	-1	3,0	34	-3	0	402	105	246	0,873
2	WP1	-1	-1	1	1	3,0	34	1	100	367	141	214	0,967
3	WP1	-1	-1	0	0	3,0	34	-1	50	384	127	240	0,956
4	WP1	-1	-1	1	-1	3,0	34	1	0	378	88	223	0,823
5	WP1	-1	-1	-1	1	3,0	34	-3	100	391	156	242	1,018
6	WP2	0	-1	1	1	3,5	35	1	100	375	132	213	0,920
7	WP2	0	-1	0	0	3,5	35	-1	50	392	119	243	0,923
8	WP2	0	-1	1	-1	3,5	35	1	0	388	92	227	0,822
9	WP2	0	-1	0	1	3,5	35	-1	100	386	142	229	0,961
10	WP2	0	-1	-1	0	3,5	35	-3	50	404	119	251	0,916
11	WP3	1	-1	1	-1	4,0	36	1	0	399	74	208	0,707
12	WP3	1	-1	1	1	4,0	36	1	100	386	122	210	0,860
13	WP3	1	-1	-1	-1	4,0	36	-3	0	419	86	231	0,757
14	WP3	1	-1	-1	1	4,0	36	-3	100	408	130	222	0,863
15	WP3	1	-1	0	0	4,0	36	-1	50	401	99	214	0,781
16	WP4	-1	0	-1	0	3,0	34	-3	50	406	136	270	1,000
17	WP4	-1	0	0	1	3,0	34	-1	100	389	154	258	1,059
18	WP4	-1	0	1	0	3,0	34	1	50	383	120	228	0,909
19	WP4	-1	0	0	-1	3,0	34	-1	0	398	102	238	0,854
20	WP4	-1	0	-1	1	3,0	34	-3	100	402	160	275	1,082
21	WP5	0	0	0	-1	3,5	35	-1	0	406	104	238	0,842
22	WP5	0	0	1	0	3,5	35	1	50	390	122	224	0,887
23	WP5	0	0	0	0	3,5	35	-1	50	402	126	238	0,905
24	WP5	0	0	-1	1	3,5	35	-3	100	401	160	260	1,047
25	WP5	0	0	0	0	3,5	35	-1	50	401	130	246	0,938
26	WP6	0	0	1	0	3,5	35	1	50	392	117	213	0,842
27	WP6	0	0	0	0	3,5	35	-1	50	402	123	235	0,891
28	WP6	0	0	0	0	3,5	35	-1	50	402	128	235	0,903
29	WP6	0	0	0	0	3,5	35	-1	50	403	125	225	0,868
30	WP6	0	0	-1	-1	3,5	35	-3	0	420	112	238	0,833
31	WP7	1	0	0	-1	4,0	36	-1	0	415	98	228	0,786
32	WP7	1	0	1	1	4,0	36	1	100	394	145	202	0,881
33	WP7	1	0	0	0	4,0	36	-1	50	410	124	229	0,861
34	WP7	1	0	0	1	4,0	36	-1	100	405	145	221	0,904
35	WP7	1	0	-1	0	4,0	36	-3	50	421	125	242	0,872
36	WP8	-1	1	-1	-1	3,0	34	-3	0	419	124	286	0,979
37	WP8	-1	1	1	-1	3,0	34	1	0	394	102	255	0,906
38	WP8	-1	1	0	0	3,0	34	-1	50	402	134	286	1,045
39	WP8	-1	1	1	1	3,0	34	1	100	386	155	266	1,091
40	WP8	-1	1	-1	1	3,0	34	-3	100	412	175	303	1,160
41	WP9	0	1	-1	0	3,5	35	-3	50	423	148	275	1,000
42	WP9	0	1	0	-1	3,5	35	-1	0	414	110	263	0,901
43	WP9	0	1	0	0	3,5	35	-1	50	409	139	266	0,990
44	WP9	0	1	0	1	3,5	35	-1	100	405	164	265	1,059
45	WP9	0	1	-1	1	3,5	35	-3	100	393	161	242	1,025
46	WP10	1	1	-1	1	4,0	36	-3	100	428	168	256	0,991
47	WP10	1	1	1	-1	4,0	36	1	0	413	107	235	0,828
48	WP10	1	1	-1	-1	4,0	36	-3	0	435	118	254	0,855
49	WP10	1	1	1	0	4,0	36	1	50	408	140	237	0,924
50	WP10	1	1	0	1	4,0	36	-1	100	415	161	253	0,998

EXEMPLES D'ANALYSE : expériences en parcelles divisées

Exemple 11.12 : wind tunnel experiment - régression Generalized Least Square (GLS)

Table 10.7 Comparison of the ordinary and generalized least squares results for the full quadratic model for the efficiency response.

Effect	OLS (Ordinary least squares)					GLS (Generalized least squares)				
	Estimate	Standard error	DF	t Ratio	p Value	Estimate	Standard error	DF	t Ratio	p Value
β_0	0.9109	0.0060	45	151.64	< .0001	0.9114	0.0117	4.21	77.67	< .0001
β_1	-0.0609	0.0037	45	-16.54	< .0001	-0.0609	0.0079	3.98	-7.70	0.0016
β_2	0.0523	0.0037	45	14.19	< .0001	0.0522	0.0079	3.98	6.60	0.0028
β_3	-0.0241	0.0037	45	-6.53	< .0001	-0.0247	0.0027	31.03	-9.04	< .0001
β_4	0.0758	0.0036	45	20.95	< .0001	0.0745	0.0027	31.19	27.50	< .0001
β_{12}	0.0042	0.0045	45	0.93	0.3592	0.0042	0.0097	3.97	0.44	0.6833
β_{13}	0.0104	0.0044	45	2.37	0.0236	0.0106	0.0033	31.03	3.24	0.0028
β_{14}	-0.0107	0.0043	45	-2.47	0.0184	-0.0111	0.0032	31.08	-3.46	0.0016
β_{23}	-0.0022	0.0044	45	-0.49	0.6280	-0.0015	0.0033	31.04	-0.47	0.6418
β_{24}	0.0066	0.0043	45	1.54	0.1334	0.0078	0.0032	31.12	2.44	0.0208
β_{34}	-0.0016	0.0043	45	-0.37	0.7135	0.0000	0.0033	31.39	-0.01	0.9940
β_{11}	-0.0079	0.0062	45	-1.27	0.2125	-0.0075	0.0127	4.07	-0.58	0.5896
β_{22}	0.0286	0.0062	45	4.64	< .0001	0.0291	0.0127	4.07	2.28	0.0834
β_{33}	-0.0081	0.0063	45	-1.30	0.2033	-0.0075	0.0047	31.21	-1.59	0.1212
β_{44}	-0.0044	0.0065	45	-0.68	0.5016	-0.0064	0.0048	31.11	-1.34	0.1914

The indices 1, 2, 3 and 4 in the first column of the table refer to the front ride height, the rear ride height, the yaw angle and the grille tape coverage, respectively.

Goos et Jones p. 237

**Solution
max
Y_Efficiency**

indice	var	OLS	GLS
1	FRH (po)	3	3
2	RRH (po)	36	36
3	Yaw angle (deg)	-3	1
4	tape (%)	100	100

Expériences en parcelles divisées (SplitPlot)

Références

Bisgaard, S. (2000). *Design and Analysis of $2^{k-p} \times 2^{q-r}$ Split Plot Experiments*
J. of Quality Technology, pp.39-56

Federer, W. T., King, F. (2007). *Variations on Split Plot and Split Block Experiment Designs*, Wiley

Goos, P., Jones, B. (2011). *Optimal Design of Experiments*, Wiley.

Jones B., Nachtsheim C. J. (2009). *Split-Plot Designs: What, Why, and How*
J. of Quality Technology, pp. 340-361, 49 références.

Kutner M., Neter J., Nachtsheim C., Li, W. (2005). *Applied Linear Statistical Models*, 5th ed.,
McGraw-Hill.

Kuehl, R. O. (2000.) *Design of Experiments - Statistical Principles of Research Design
Analysis*, 2nd edition, Duxbury Press.

Lewis, D. K., Hutchens C., Smith J. (1997). *Effects of Customer Usage Factors on the Time
Between failures of a Wafer Handling Subsystem in an Automated Memory that Relied on
Optical Pattern Recognition to Position a Wafer for Repair.* chapter 27 pp. 387-402 in
Statistical Case Studies for Industrial Process Improvement. ASA/SIAM

Montgomery, D. C (2019). *Design and Analysis of Experiments*, 10th ed., Wiley.

Potcner K. J., Kowalski S. M. (2004). *How To Analyze A Split-Plot Experiment*
Quality Progress, december, pp. 67-74.