

Examen IP54. Plans d'expériences. Denis Candusso – v 11 janvier 2019

Partie 1 – Questions de cours

Q1. L'étude d'un plan d'expérience complet consiste à étudier toutes les combinaisons possibles des facteurs pris en considération dans l'expérience. Une ou plusieurs réponses peuvent être étudiées.

- Vrai
- Faux

Q2. Pour 2 facteurs à 3 niveaux, le plan complet comporte :

- 2^3 expériences = 8 expériences
- 3^2 expériences = 9 expériences

Q3. L'effet moyen du facteur A au niveau i se calcule par :

E_{Ai} = moyenne des réponses lorsque A est au niveau i – moyenne générale des réponses.

L'effet moyen est défini comme étant la moitié de l'effet global.

- Vrai
- Faux

Q4. Si M est la moyenne générale des essais, l'interaction I_{AiBj} (entre le facteur A au niveau i et le facteur B au niveau j) peut être calculée par :

I_{AiBj} = moyenne des réponses lorsque A est au niveau i et B au niveau j - M - E_{Ai} - E_{Bj}

- Vrai
- Faux

Q5. Un plan factoriel fractionnaire vérifie un certain nombre de propriétés :

- l'orthogonalité du plan vis-à-vis d'un modèle (toutes les actions disjointes sont orthogonales)
- le nombre minimal d'expériences à réaliser est égal au nombre de degrés de liberté du modèle étudié

Q6. Nous recherchons le plan minimal orthogonal vis-à-vis du modèle suivant : $Y_{mdl} = M + A + B + C + D$ avec les facteurs A, B, C et D ayant respectivement comme niveaux : 2, 3, 5 et 7.

- Le plan minimal est le plan factoriel complet ; il n'existe pas de plan fractionnaire.
- Le plan minimal comporte 210 expériences.
- Si possible, il serait plus judicieux de choisir des nombres de niveaux non premiers entre eux.

Q7. Un plan fractionnaire conduit à des ambiguïtés, ou confusions, dans l'estimation de certains effets d'actions que l'on appelle des alias.

- Vrai
- Faux

Q8. Dans un plan produit, on a :

- un plan principal, avec des facteurs contrôlés
- un plan bruit, pour les facteurs bruits
- la possibilité de réaliser une double optimisation pour obtenir un système performant dans un environnement bruité (robustesse)
- la possibilité de rechercher une valeur minimale, maximale ou nominale.

Partie 2 - Exercice « Durée de vie des outils de coupe jetables »

D'après Jacques Goupy, Lee Creighton, « Introduction aux plans d'expériences ». Dunod

2.1 Préparation du plan d'expériences

- **Description de l'étude.** L'usinage des métaux nécessite des outils de coupe dont la matière et les profils sont particulièrement étudiés. Les bons outils doivent couper parfaitement, ne pas mettre en danger la sécurité des ouvriers, ne pas s'user trop vite et assurer la précision des objets fabriqués. L'affûtage de tels outils pose de nombreux problèmes et un fabricant a décidé d'étudier des outils jetables. Pour assurer leur rentabilité ces outils doivent avoir une durée de vie suffisante. La présente étude porte sur des outils spéciaux à usage intensif dont on cherche à maximiser la durée de vie.
- **Objectif de l'étude :** trouver des conditions d'emploi qui assurent une durée de vie supérieure à 20 heures aux outils de coupe.
- **Choix de la réponse permettant d'atteindre l'objectif :** la durée de vie des outils.
- **Facteurs et domaine d'étude.** Les facteurs retenus sont : le débit de l'huile de coupe, la vitesse de coupe de l'outil, la profondeur de coupe de l'outil, la vitesse de l'avance de l'outil.
Soit quatre facteurs dont les domaines sont indiqués dans le tableau suivant :

Facteurs	Niveau -1 (bas)	Niveau +1 (haut)
Débit (A)	650	800
Vitesse de coupe (B)	10	26
Profondeur (C)	0.05	0.2
Vitesse d'avance (D)	0.5	1

- **Choix du plan :** l'expérimentateur décide d'exécuter un plan complet 2^4 , soit 16 essais.

Essai n°	Vitesse d'avance	Profondeur	Vitesse de coupe	Débit	Réponse : Durée de vie (h)
	D	C	B	A	
1	-1	-1	-1	-1	26.1
2	-1	-1	-1	1	22.1
3	-1	-1	1	-1	10.1
4	-1	-1	1	1	12.2
5	-1	1	-1	-1	14.2
6	-1	1	-1	1	12.7
7	-1	1	1	-1	5.9
8	-1	1	1	1	5.6
9	1	-1	-1	-1	23
10	1	-1	-1	1	20.1
11	1	-1	1	-1	2.4
12	1	-1	1	1	3.7
13	1	1	-1	-1	11
14	1	1	-1	1	13.4
15	1	1	1	-1	0.5
16	1	1	1	1	1.7
Moyenne					

2.2 Calculs et interprétation

On adopte un modèle avec les facteurs principaux et des interactions entre deux facteurs. Les interactions entre trois et quatre facteurs ne rentrent pas dans le modèle.

- 1) Calculer la moyenne générale, les effets principaux des quatre facteurs A, B, C et D (aux niveaux bas et haut). Représenter les graphes des effets. Quel est le facteur le plus influent ?

2) Calculer les interactions d'ordre 2 suivantes : AB, BC et BD.

3) En ne gardant que les deux interactions les plus importantes (BC et BD) dans le modèle, remplissez le tableau de l'analyse de la variance suivant :

Source de variation	SCE ou effet	ddl.	Carrés Moyens ou variances	F _{obs} ou F _{semp}	Fthéorique Alpha = 0.05	Significatif (O/N)?
A						
B						
C						
D						
BC						
BD						
Erreur						
Total						

4) Quelle(s) conclusion(s) tirez-vous de cette étude ?

5) Indiquez combien d'expériences nécessiterait le plan fractionnaire minimal (relatif au modèle adopté pour l'analyse de la variance)?

- 6) Faites les remarques ou les analyses complémentaires que vous jugez potentiellement utiles.
Exemples :
- Optimisation de la réponse par un choix des paramètres, grâce au modèle issu du plan complet,
 - Écriture des lignes ou de la matrice du plan fractionnaire,
 - Indication des alias dans le plan fractionnaire,
 - ...

Annexes :

ANALYSE DE VARIANCE

Sources	Effet	ddl	Variances	fs _{exp}	α=0,01	α= 0,05
A	$S_A = \frac{N}{m_a} \sum a_i^2$	$m_a - 1$	$V_A = \frac{S_A}{m_a - 1}$	$\frac{V_A}{V_r}$	FS(ddl_A;ddl_R)	
B	$S_B = \frac{N}{m_b} \sum b_i^2$	$m_b - 1$	$V_B = \frac{S_B}{m_b - 1}$	$\frac{V_B}{V_r}$		
C	$S_C = \frac{N}{m_c} \sum c_i^2$	$m_c - 1$	$V_C = \frac{S_C}{m_c - 1}$	$\frac{V_C}{V_r}$		
AB	$S_{AB} = \frac{N}{m_a m_b} \sum (ab)^2$	$(m_a - 1)(m_b - 1)$	$V_{AB} = \frac{S_{AB}}{(m_a - 1)(m_b - 1)}$	$\frac{V_{AB}}{V_r}$		
AC	$S_{AC} = \frac{N}{m_a m_c} \sum (ac)^2$	$(m_a - 1)(m_c - 1)$	$V_{AC} = \frac{S_{AC}}{ddl}$	$\frac{V_{AC}}{V_r}$		
BC	$S_{BC} = \frac{N}{m_b m_c} \sum (bc)^2$	$(m_b - 1)(m_c - 1)$	$V_{BC} = \frac{S_{BC}}{ddl}$	$\frac{V_{BC}}{V_r}$		
Résidu	S_R	ddl_R	$V_r = \frac{S_r}{ddl_R}$			
Total	$S_t = \sum (y - \bar{y})^2$	$N - 1$				

$S_r = S_T - (S_A + S_B + S_C + \dots + S_{AB} + S_{AC} + S_{BC} + \dots)$ $m_a =$ modalités de A $m_b =$ modalités de B $m_c =$ modalités de C
N : nombre total des résultats

ai, bi... sont les effets des facteurs

- Table de Nedecor pour p=0.95

v1 : degrés de liberté du numérateur et v2 : degrés de liberté du dénominateur

$\nu_2 \backslash \nu_1$	1	2	3	4	5	6	8	12	24	>25
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	238.9	243.9	249.0	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.37	19.41	19.45	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.84	8.74	8.64	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.04	5.91	5.77	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.82	4.68	4.53	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.15	4.00	3.84	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.73	3.57	3.41	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.44	3.28	3.12	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.23	3.07	2.90	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.07	2.91	2.74	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	2.95	2.79	2.61	2.40
12	4.75	3.88	3.49	3.26	3.11	3.00	2.85	2.69	2.50	2.30
13	4.67	3.80	3.41	3.18	3.02	2.92	2.77	2.60	2.42	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.70	2.53	2.35	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.64	2.48	2.29	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.59	2.42	2.24	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.55	2.38	2.19	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.51	2.34	2.15	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.48	2.31	2.11	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.45	2.28	2.08	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.42	2.25	2.05	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.40	2.23	2.03	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.38	2.20	2.00	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.36	2.18	1.98	1.73
25	4.24	3.38	2.99	2.76	2.60	2.49	2.34	2.16	1.96	1.71
26	4.22	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.32	2.15	1.95	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.30	2.13	1.93	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.44	2.29	2.12	1.91	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.54	2.43	2.28	2.10	1.90	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.27	2.09	1.89	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.18	2.00	1.79	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.10	1.92	1.70	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.02	1.83	1.61	1.25
>120	3.84	2.99	2.60	2.37	2.21	2.10	1.94	1.75	1.52	1.00