

# Construire et interpréter un Plan d'expériences factoriel complet

**Jacques VAILLÉ**

[jacques.vaille@free.fr](mailto:jacques.vaille@free.fr)

**Jacques GOUPY**

[jacques@goupy.com](mailto:jacques@goupy.com)

---

Les plans factoriels complets à deux niveaux permettent essentiellement de repérer les facteurs et les interactions influents.

Ils ouvrent la voie à des plans complémentaires permettant une modélisation mathématique de la réponse dans le domaine d'étude.

Le classeur « PlansComplets.xls » permet :

1. de construire des plans factoriels complets  $2^n$  pour  $2 \leq n \leq 5$  (onglet Plan).
2. de rentrer les réponses observées ou mesurées lors du plan (onglet Réponses).  
On peut analyser simultanément jusqu'à 5 réponses.
3. de choisir les coefficients du modèle polynomial postulé (onglet Coefficients).
4. d'examiner l'analyse de variance correspondant à chaque modèle (onglet Résultats).
5. d'obtenir aux points expérimentaux du plan les réponses calculées avec le modèle retenu (onglet Résultats).
6. d'observer le diagramme des résidus (onglet Résultats).
7. de calculer des réponses prévues en tous points du domaine d'étude (onglet Résultats).
8. de vérifier avec le diagramme de Pareto, le diagramme de Daniel, le diagramme des résidus et l'Anova que les facteurs et les interactions retenus sont significatifs (onglets Résultats et Diagrammes).

Remarques :

- Les cases possédant un triangle rouge en haut et à droite contiennent des commentaires destinés à vous aider.
- Pour éviter de supprimer des formules par mégarde, les feuilles sont protégées (sans mot de passe).

- On trouvera la théorie des plans d'expériences dans le manuel du groupe « Les cercles d'Excel'Ense » (1).
- On trouvera également des informations détaillées sur les plans d'expériences dans le livre "Introduction aux plans d'expériences" édité par [Dunod](#) (2).

## Choix du plan

Sélectionnez la feuille « Plan ».

Grâce au menu déroulant, saisissez le nombre de facteurs du plan. Le plan s'affiche alors en indiquant pour chaque expérience le niveau (haut ou bas) à utiliser pour chacun des facteurs.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	<b>Nombre de facteurs :</b>				3	<b>Construction du plan complet</b>					
2	N° Essai	F1	F2	F3							
3	1	-1	-1	-1							
4	2	1	-1	-1							
5	3	-1	1	-1							
6	4	1	1	-1							
7	5	-1	-1	1							
8	6	1	-1	1							
9	7	-1	1	1							
10	8	1	1	1							

Figure 1 : Cliquez sur la flèche pour choisir, dans le menu déroulant, le nombre de facteurs.

## Saisie des réponses mesurées

Dans la feuille « Réponses », saisissez les réponses mesurées, la première ligne porte le nom de la réponse mesurée.

Les réponses doivent être saisies en accord avec l'essai; il est donc impératif de bien faire correspondre les résultats expérimentaux aux numéros des essais.

	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>Réponses mesurées à partir du plan</b>						
2	Saisir les données précédées par les noms des réponses dans le cadre ci-dessous						
3	N° Essai	y1	y2	y3	y4	y5	
4	1	77	116	72	278	108	
5	2	28.5	79	101	223	81	
6	3	141	152	47	336	163	
7	4	110	123	82	292	157	
8	5	161	178	49	285	69	
9	6	113	156	92	242	55	
10	7	220	239	33	342	136	
11	8	190	224	80	308	130	

Figure 2 : Remplissez les colonnes avec les résultats expérimentaux en associant bien résultat et numéro des essais.

## Étude des coefficients

L'analyse des résultats se fait à l'aide de la feuille « Coefficients ».

On choisit d'abord la réponse que l'on veut étudier à l'aide de la liste déroulante. Éventuellement, on choisit le seuil alpha pour les tests (cellule sur fond lavande). Plus ce seuil est petit, plus l'intervalle de confiance est grand.

Modèle de la réponse : y1						
	Coefficients retenus pour le modèle	Coefficients	Valeurs des coefficients	t	p	Intervalle de confiance (à 95%) du coefficient
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Constante	130.0625	187.1	1.7E-07	128.46 131.67
4	<input checked="" type="checkbox"/>	a1	-19.6875	-28.3	4.8E-05	-21.29 -18.08
5	<input checked="" type="checkbox"/>	a2	35.1875	50.63	8.5E-06	33.585 36.79
6	<input checked="" type="checkbox"/>	a3	40.9375	58.9	5.4E-06	39.335 42.54
7	<input checked="" type="checkbox"/>	a12	4.4375	6.385	0.00389	2.8347 6.0403
8	<input type="checkbox"/>	a13	0.1875	0.27	0.40241	-1.415 1.7903
9	<input type="checkbox"/>	a23	-1.1875	-1.71	0.09303	-2.79 0.4153
10	<input type="checkbox"/>	a123	0.0625	0.09	0.46701	-1.54 1.6653
11	<input type="checkbox"/>					

Figure 3 : En cochant ou non les cases de gauche vous trouverez les facteurs et les interactions les plus influents. Certains coefficients peu influents peuvent être conservés ou éliminés selon les enjeux de l'étude.

On ajuste le modèle en incorporant ou en éliminant des coefficients. Cet ajustement est facilité :

- par l'examen de la valeur du coefficient. Les coefficients inférieurs à l'écart-type des coefficients peuvent être éliminés.
- par l'examen de la p-value du coefficients : si elle est sur fond rouge, on peut incorporer le coefficient dans le modèle. Si elle n'est pas sur fond rouge, on peut ôter le coefficient du modèle.
- Par l'examen des barres d'erreur des coefficients : les coefficients dont la barre d'erreur coupe l'axe peuvent être éliminés.
- par l'examen du  $r^2$  : il doit être le plus élevé possible à condition qu'il y ait suffisamment de degrés de liberté.
- par l'examen des diagrammes de l'onglet Diagrammes.

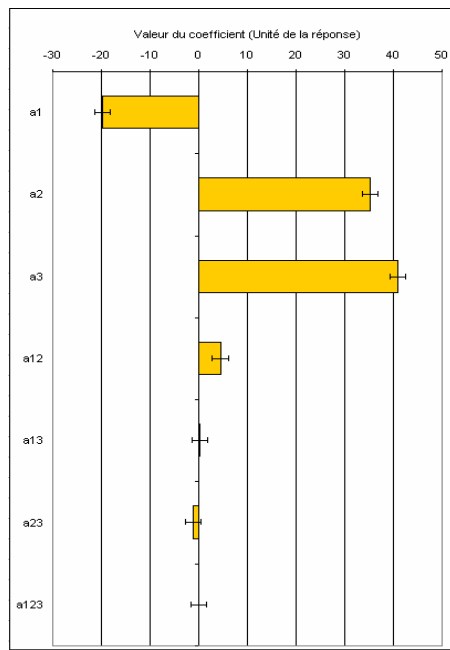


Figure 4 : Diagramme à barres illustrant l'importance des coefficients et de leurs intervalles de confiance.

Les petits coefficients, c'est-à-dire ceux dont la valeur est proche du produit "t de Student x écart-type du coefficient" (cellule T5 de la feuille Coefficient), pourront être incorporés ou éliminés selon les risques et les enjeux de l'étude. La statistique n'est ici qu'un guide qui signale qu'un facteur ou une interaction pourrait être légèrement influent. Le conserver ou l'éliminer appartient à l'expérimentateur qui peut toujours faire des mesures supplémentaires pour prendre la bonne décision.

## Exploitation des résultats

La feuille résultats indique la valeur des réponses calculées aux points expérimentaux du plan et permet ainsi la comparaison entre les valeurs observées et les valeurs mesurées. On en déduit les résidus dont il faut examiner la valeur et la distribution pour s'assurer qu'il ne reste pas d'information non modélisée.

Il est également possible de calculer la valeur des réponses en tous points du domaine d'étude en attribuant des niveaux à chaque facteur.

## Diagrammes

Deux diagrammes sont construits automatiquement :

- Le diagramme de Pareto dans lequel les coefficients sont classés par ordre de valeur absolue. Il aide à déterminer la valeur au dessous de laquelle on élimine les coefficients.
- Le diagramme de Daniel où les petits coefficients se rassemblent autour de la droite de Henry et où les coefficients à prendre en compte s'en écartent.

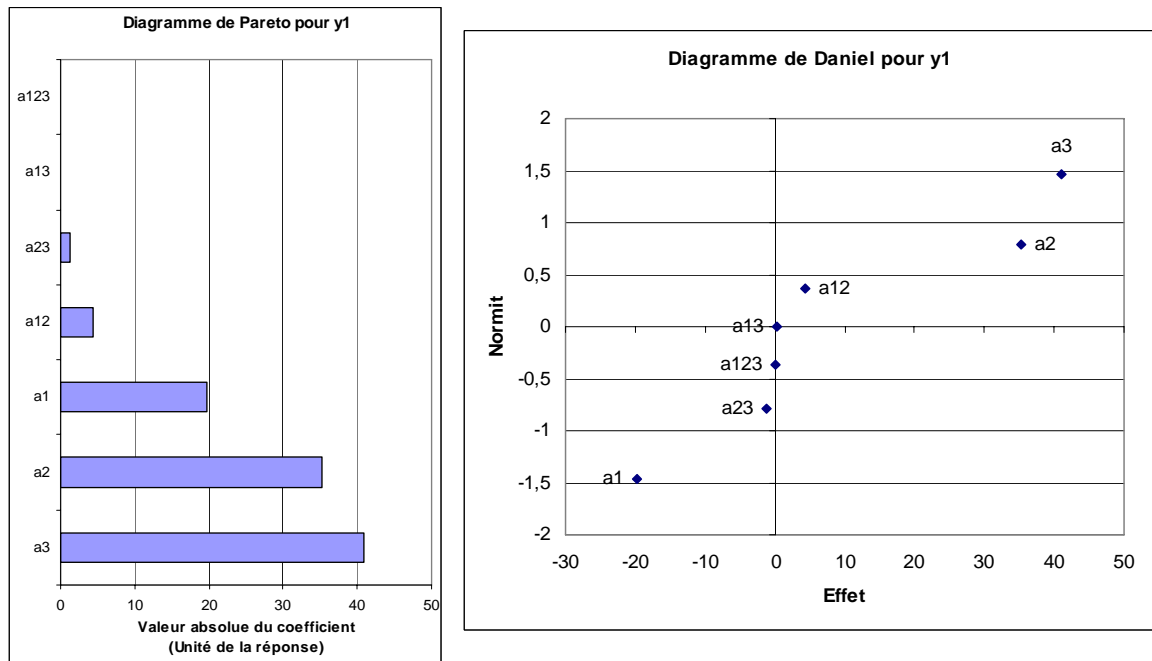


Figure 5 : A gauche, diagramme de Pareto; à droite diagramme de Daniel.

Ces deux diagrammes sont une aide à l'expérimentateur pour qu'il puisse décider s'il conserve ou s'il élimine un facteur ou une interaction.

Fichier Excel associé : « **PlansComplets.xls** »

## Références

- (1) Morineau A., Chatelin Y.-M. (Coordinateurs) – *L'analyse statistique des données. Apprendre, comprendre et réaliser avec Excel*. Editions Ellipses, 2005.
- (2) Goupy J. et Creighton L. – *Introduction aux plans d'expériences*. Editions Dunod, 2006.