

# REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

M. PILLET

## **Construire facilement des plans de résolution IV à partir des tables de Taguchi**

*Revue de statistique appliquée*, tome 46, n° 4 (1998), p. 85-100

[http://www.numdam.org/item?id=RSA\\_1998\\_\\_46\\_4\\_85\\_0](http://www.numdam.org/item?id=RSA_1998__46_4_85_0)

© Société française de statistique, 1998, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « *Revue de statistique appliquée* » (<http://www.sfds.asso.fr/publicat/rsa.htm>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme  
Numérisation de documents anciens mathématiques  
<http://www.numdam.org/>

## CONSTRUIRE FACILEMENT DES PLANS DE RÉOLUTION IV À PARTIR DES TABLES DE TAGUCHI

M. Pillet

*Laboratoire de Logiciel pour la productique (LLP – CESALP) –  
Université de Savoie – Annecy - France  
Maurice.Pillet@Univ-savoie.fr*

### RÉSUMÉ

L'utilisation des plans d'expériences est aujourd'hui largement développée dans le milieu industriel. Parmi les plans utilisés, figurent en bonne place ceux établis à partir des tables et graphes linéaires de Taguchi. Par la simplicité de l'approche, cette méthode a convaincu de nombreux industriels. Pourtant, la plupart des plans créés par cette méthode sont des plans de résolutions III comportant de nombreux risques. Nous proposons dans cet article une méthode très simple, de construction de plans de résolution IV à partir de graphes de Taguchi modifiés à la portée de tous les techniciens. Ces nouveaux graphes sont fondés sur des propriétés spécifiques des colonnes impaires de ces tables. Nous développons également une extension de cette méthode pour construire des plans gigognes simples.

*Mots-clés : Plan d'expériences, Graphes de Taguchi, Résolution*

### ABSTRACT

Design of experiments are today extensively developed in the industrial environment. Among the commonly-used tables, those establish from Taguchi's tables and linear graphs are prominent. Many industrialists have been convinced by this simple method. However, most orthogonal arrays created are resolution III designs that present numerous risks. In this paper, we suggest a very simple method for building resolution IV designs from Taguchi's modified linear graphs. It has been developed from properties of odd columns. We describe equally an extension of this method to build some simple nest of designs of experiment.

*Keywords : Orthogonal array, design of experiments, resolution, Taguchi method*

### Introduction

Il est inutile de démontrer le bien fondé de l'introduction des plans d'expériences dans les démarches classiques de résolution de problèmes en milieu industriel. Aujourd'hui, de nombreuses entreprises, y compris des PME, utilisent largement les plans d'expériences pour améliorer leurs produits et leurs processus. Pour faciliter

cette utilisation à une large échelle, la réalisation d'un plan d'expériences simple ne doit pas rester l'apanage de quelques spécialistes, mais au contraire être diffusée le plus largement possible à tous les niveaux, notamment au niveau des techniciens. Pour cela, un des rôles de la communauté scientifique consiste à mettre au point des méthodes simples, mais rigoureuses, de construction de plans.

Parmi les plans largement utilisés figurent ceux construits à partir des tables de Taguchi associées aux graphes linéaires. La simplicité de l'approche attire de nombreux industriels. Pourtant, ce type de plan d'expériences établi par la méthode graphique soulève souvent des controverses. Il semble que l'on ne trouve que des défenseurs acharnés ou des pourfendeurs non moins passionnés. Cependant, les uns comme les autres reconnaissent que les tables utilisées par Taguchi ne sont pas différentes des tables classiques. Les arguments contre cette méthode de construction ne sont pas liés au choix de la table, mais plutôt à la résolution des plans. En effet, la plupart des plans établis en respectant les graphes linéaires sont des plans de résolution III. Il y a presque toujours confusion entre les effets principaux des facteurs et les interactions de second ordre.

Par les graphes linéaires, on peut affirmer que Taguchi a réussi à simplifier la construction des plans simples fractionnaires. Par contre, le fait que pratiquement tous les plans proposés soient de résolution III est extrêmement gênant et de nombreuses personnes utilisant couramment cette méthode prennent des risques importants sans en connaître l'existence.

Pour contourner cette difficulté, nous proposons dans cet article, une méthode de construction des plans d'expériences à deux niveaux par facteur en s'appuyant sur l'approche des graphes linéaires que nous avons modifiés afin d'orienter systématiquement vers des plans de résolution IV. Ainsi, on garde la facilité de création des plans d'expériences apportée par les graphes linéaires, tout en ne cédant rien à la rigueur et en limitant les risques de confusion d'actions. L'approche est volontairement intuitive et non mathématique afin d'être facilement appropriée par des techniciens.

Nous proposons également un ensemble de règles très pratiques et très simples, facilement mémorisables et compréhensibles pour les non professionnels des plans d'expériences qui permettent de simplifier la construction de plans gignones simples.

### 1. Les risques liés aux graphes proposés par Taguchi

Pour toutes les tables qui permettent l'étude des interactions, Taguchi a proposé un ensemble de graphes. Ainsi pour la table  $L_8$ , on trouve deux graphes de résolution IV. Ces graphes permettent la construction de plans de bonne qualité pour quatre facteurs. Pour la table  $L_{16}$  et  $L_{32}$  il en va autrement car la plupart des graphes sont des graphes qui conduisent à des plans de résolution III. Pour illustrer ce propos, prenons l'exemple d'un plan d'expériences que l'on veut construire pour identifier le modèle suivant :

Facteurs étudiés : A, B, C, D, E, F

Interactions retenues : AB, BC, AC, AE, AD

Avec les règles de représentation fixées par Taguchi, nous pouvons établir le graphe du modèle (figure 1). Nous passerons sous silence le problème de difficulté de modification des facteurs dans cet article.

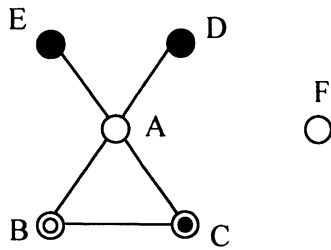


FIGURE 1  
Graphe du modèle

Les critères de nombre de degré de liberté et d'orthogonalité conduisent rapidement à utiliser la table  $L_{16}(2^{15})$ . La table  $L_{16}$  et les principaux graphes proposés par Taguchi sont donnés en annexes 1 et 2. En utilisant le graphe figure 2 de Taguchi, l'affectation des colonnes donne le plan donné en figure 3. D'autres plans pourraient également identifier ce modèle.

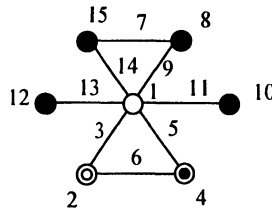


FIGURE 2  
Graphe de Taguchi

Les risques de confusion d'actions sont donnés dans le tableau d'alias en figure 4.

On obtient ainsi un plan de résolution III avec, en particulier, confusion de B avec DF, de D avec BF et de F avec BD. Ainsi, bien que largement utilisés dans le milieu industriel, les graphes linéaires peuvent conduire à de graves problèmes d'interprétation sur les résultats, surtout pour un non initié.

Le problème est d'autant plus grave que plus on sature la table, plus il y a d'alias. Ainsi le graphe de la figure 5 (graphe 3a de Taguchi) donne un tableau d'alias peu recommandable. Le facteur placé en colonne 4 est alias avec trois interactions de second ordre. Cette configuration est risquée, alors qu'il est possible avec huit facteurs de faire un plan de résolution IV dans lequel les facteurs ne sont confondus qu'avec des interactions de troisième ordre.

Pourtant, notre expérience nous a montré que la méthode des graphes linéaires est très facilement assimilée dans le milieu industriel, et permet facilement de construire les petits plans nécessaires lors de la conception d'un produit ou d'un processus. Notre souci a donc été de construire une méthode, adaptée au milieu

Colonnes Facteurs	01 A	02 B	04 C	08 D	15 E	10 F
01	1	1	1	1	1	1
02	1	1	1	2	2	2
03	1	1	2	1	2	1
04	1	1	2	2	1	2
05	1	2	1	1	2	2
06	1	2	1	2	1	1
07	1	2	2	1	1	2
08	1	2	2	2	2	1
09	2	1	1	1	2	1
10	2	1	1	2	1	2
11	2	1	2	1	1	1
12	2	1	2	2	2	2
13	2	2	1	1	1	2
14	2	2	1	2	2	1
15	2	2	2	1	2	2
16	2	2	2	2	1	1

FIGURE 3  
*Plan établi à partir des graphes de Taguchi*

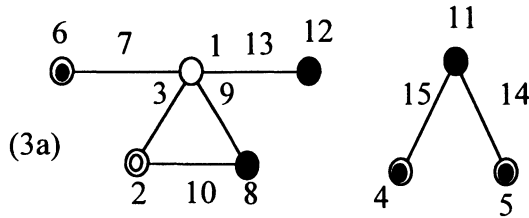
Action du modèle	A	B	C	D	E	F	AB	AC	BC	AD	AE
Colonne Alias	1	2 DF	4	8 BF	15	10 BD	3	5 EF	6	9	14 CF

FIGURE 4  
*Tableau des Alias*

industriel, qui permette à un technicien de construire facilement des plans  $2^{n-k}$  avec le moindre risque.

## 2. Construire des plans de résolution IV à partir d'une table $2^n$ de Taguchi

L'arrangement proposé par Taguchi (qui n'est d'ailleurs pas différent des autres tels que Box) pour les tables  $2^{n-k}$  permettant l'étude des interactions possède une propriété mnémotechnique très intéressante : «*Les interactions entre deux colonnes impaires se retrouvent systématiquement dans une colonne paire*» (voir figure 6).



Facteur	1	2	4	5	6	8	11	12
Alias	4/5	4/6	2/6 1/5 8/12	1/4	2/4	4/12		4/8

FIGURE 5  
Tableau des Alias d'un graphe de Taguchi

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
(1)	3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15	14
(2)		1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12	13
(3)			7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13	12
(4)				1	2	3	12	13	14	15	8	9	10	11
(5)					3	2	13	12	15	14	9	8	11	10
(6)						1	14	15	12	13	10	11	8	9
(7)							15	14	13	12	11	10	9	8
(8)								1	2	3	4	5	6	7
(9)									3	2	5	4	7	6
(10)										1	6	7	4	5
(11)											7	6	5	4
(12)												1	2	3
(13)													3	2
(14)														1

FIGURE 6  
Triangle des interactions de la table L<sub>16</sub>

Ce message est très facile à faire passer et il n'y a pas besoin de grandes démonstrations mathématiques pour comprendre l'utilité de cette particularité. En plaçant les facteurs dans les colonnes impaires d'une table de Taguchi, forcément, les interactions se retrouveront dans les colonnes paires. Ainsi, il n'y a aucune confusion d'actions entre les facteurs et les interactions de second ordre. Le plan sera de résolution IV. Pour simplifier l'utilisation des plans d'expériences dans le milieu industriel, et favoriser la création de plans de moindre risque, il est donc nécessaire de modifier les graphes proposés par Taguchi en les remplaçant par des graphes de résolution IV en n'utilisant que les colonnes impaires. Ce n'est bien sûr pas la seule possibilité de créer un plan de résolution IV, mais c'est en tout cas la plus facilement mémorisable. L'autre solution bien connue est d'utiliser les colonnes du plan complet et les colonnes d'interaction de troisième ordre. Cette solution consiste à utiliser les colonnes 1, 2, 4, 7, 8, 11, 13, 14. D'autres solutions sont également possibles, mais la plus facilement appréhendée est l'utilisation des colonnes impaires. On verra par la suite que cette particularité des colonnes impaires possède d'autres avantages.

Pour simplifier la création de ce type de plan, nous avons été amenés à modifier les graphes proposés par Taguchi pour en faire des graphes de résolution IV. En annexes 3 et 4, on trouvera quelques graphes pour les tables  $L_{16}$  et  $L_{32}$ .

Pour l'exemple que nous avons pris en figure 1, en utilisant le graphe figure 7 à la place du graphe de Taguchi, l'affectation des colonnes devient :

Facteur	A	B	C	D	E	F
Colonnes	3	5	7	13	15	11

Le tableau des alias pour ce plan est donné en figure 8.

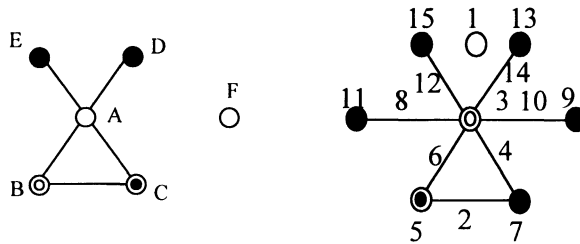


FIGURE 7

*Etablissement du plan à partir d'un graphe de résolution IV*

Action du modèle	A	B	C	D	E	F	AB	AC	BC	AD	AE
Colonne	3	5	7	13	15	11	6	4	2	14	12
Alias							DF	EF	DE	BF	CF

FIGURE 8

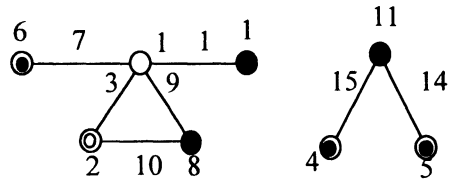
*Tableau des Alias*

Ce plan est de moindre risque avec une résolution IV. Il est pourtant construit très facilement à partir de la méthode très simple des graphes linéaires de Taguchi.

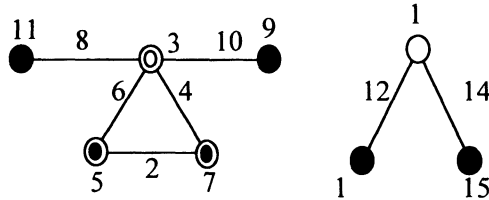
On peut également comparer le graphe de Taguchi de la figure 5, et le graphe équivalent en résolution IV de la figure 9. Le type de modèle identifié est le même, mais les risques sont considérablement diminués dans le cas de l'utilisation des colonnes impaires.

### 3. Construire des plans gigognes à partir des graphes de Taguchi

Parmi les préoccupations des industriels, figure en première ligne le souci de minimiser le nombre d'essais, quitte à faire un maximum d'hypothèses restrictives.



Graphes proposés par Taguchi



Equivalent en résolution IV

FIGURE 9

Graphes de Taguchi et son équivalent en résolution IV

Il faut cependant pouvoir désaliasser le plan d'expériences lorsque les hypothèses restrictives s'avèrent fausses suite à un essai de confirmation.

On rappelle que pour désaliasser un plan d'expériences de type  $2^{n-k}$ , il suffit de doubler le plan d'expériences en inversant les niveaux des facteurs.

Là encore, il est très facile d'utiliser les particularités des tables utilisées par Taguchi. En effet, les colonnes impaires des tables sont construites de telles sortes que la seconde partie de la table est justement l'inverse de la première partie. Il est donc facile de désaliasser une table  $L_8$  en passant à une table  $L_{16}$  et d'une table  $L_{16}$  à une table  $L_{32}$ .

Colonnes mères $L_8 (n)$	1	2	3	4	5	6	7
Colonnes filles $L_{16} (2n + 1)$	3	5	7	9	11	13	15

Ainsi, si dans un plan de 8 essais, un facteur se trouve dans la colonne mère 3, pour désaliasser le plan, il suffira de placer ce facteur dans la colonne fille 7 de la table  $L_{16}$ . Les huit premières lignes de la colonne 7 de la  $L_{16}$  sont identiques aux lignes de la colonne 3 de la  $L_8$ . Le principe est bien sûr le même pour passer de la table  $L_{16}$  à la table  $L_{32}$  et plus généralement de la table  $2^n$  à la table  $2^{n+1}$ .

On note évidemment qu'après avoir réalisé le second demi-plan, on se retrouve systématiquement dans une colonne impaire, le plan est donc de résolution IV. Cette propriété est encore une fois très facilement assimilée par les techniciens sans avoir besoin de longs développements mathématiques.

En partant de cette remarque, on peut alors facilement construire une stratégie en deux étapes pour réaliser le plan d'expériences en commençant avec des hypothèses



très restrictives sur les interactions avec une table de petite dimension en résolution faible, pour aller, si besoin est, vers une table double de résolution IV. Prenons l'exemple d'un plan identifiant le modèle de la figure 10 :

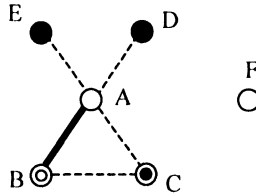


FIGURE 10  
*Grappe du problème à résoudre*

Supposons que l'interaction AB soit jugée primordiale, les autres interactions notées sur le graphe sont supposées plus incertaines. Celles qui ne sont pas notées sur le graphe sont supposées nulles.

Dans ces conditions, en partant du graphe de résolution IV de la table L<sub>16</sub>, on construit facilement les colonnes mères correspondantes de la table L<sub>8</sub> en divisant par 2 les colonnes paires, et en faisant de même pour les colonnes impaires après avoir enlevé 1. Ainsi la colonne 8 a pour colonne mère la 4 (8/2) et la colonne 11 a pour colonne mère la colonne 5 ((11-1)/2). La colonne 1 disparaît évidemment puisqu'elle correspondra au facteur bloc. La figure 11 donne le tableau des colonnes mères/filles pour les tables L<sub>4</sub> à L<sub>32</sub>.

L <sub>4</sub>								1							2							3									
L <sub>8</sub>	1			2				3			4				5			6			7										
L <sub>16</sub>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15																
L <sub>32</sub>	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	27	28	29	30	31

FIGURE 11  
*Colonnes mères et filles*

Pour construire le plan, on choisit un graphe de résolution IV qui «ressemble» au graphe du problème à résoudre. Sur ce graphe, on note les facteurs à étudier par identification entre le graphe du problème et le graphe de résolution IV (voir figure 12). Les colonnes en traits forts sont les colonnes correspondant aux interactions supposées. La table des huit premiers essais se trouve facilement en passant des colonnes filles (table L<sub>16</sub>) aux colonnes mères (Table L<sub>8</sub>). On s'aperçoit sur la première solution de la figure 12 qu'on ne peut pas étudier l'interaction AB dans le plan à 8 essais. Le triangle 3/5/7 ne peut être utilisé car la colonne 3 serait affectée deux fois dans la table L<sub>8</sub>. Il faut donc modifier le graphe à partir du triangle des interactions pour reconstruire un autre triangle.

La figure 13 donne graphiquement une solution à ce problème. On a rapidement construit un plan permettant d'étudier l'interaction AB dans le premier plan et les interactions AB, AC, BC, AD, AE dans le plan à 16 essais, tout en gardant une résolution IV pour ce dernier.

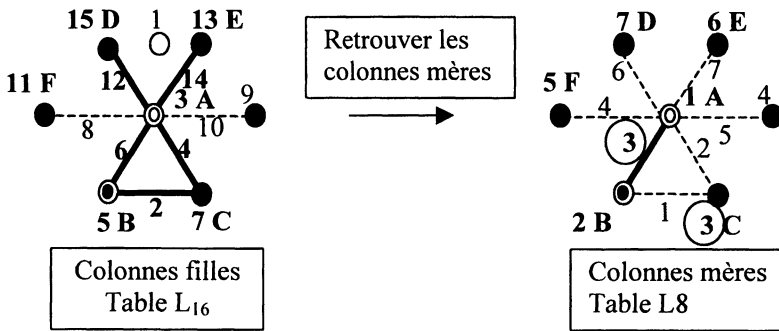


FIGURE 12  
Construction des plans

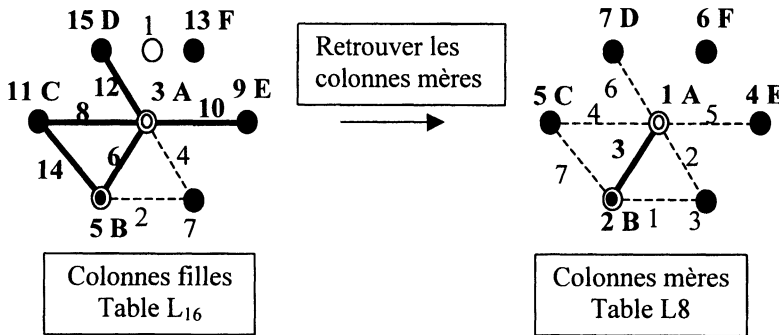


FIGURE 13  
Construction des deux plans gignés

Le premier plan en huit essais est facilement établi de même que le plan en seize essais qui permettra de désaliasser en cas d'interactions fortes. Le tableau des Alias est donné pour les deux plans en figure 15.

Le premier plan permet de tester l'interaction jugée principale et le complémentaire, s'il est réalisé, permet d'identifier un modèle plus complexe tout en étant de résolution IV.

Lorsqu'il n'existe pas de graphe de résolutions IV ressemblant au problème, il est très facile de reconstruire un graphe, en s'imposant de n'utiliser que les colonnes impaires. Les interactions sont déterminées à l'aide du triangle des interactions.

#### 4. Conclusion

Nous avons montré dans cet article, qu'il est très facile en utilisant les propriétés des arrangements entre les colonnes paires et impaires des tables de Taguchi de créer des plans en résolution IV à condition d'utiliser les graphes modifiés. Les avantages

Facteur	A	B	C	D	E	F
Colonnes mères plan L <sub>8</sub>	1	2	5	7	4	6
Colonnes filles plan L <sub>16</sub>	3	5	11	15	9	13

	Bloc	A	B	E	C	F	D
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	1	2	1	1	2	2
4	1	1	2	2	2	1	1
5	1	2	1	1	2	1	2
6	1	2	1	2	1	2	1
7	1	2	2	1	2	2	1
8	1	2	2	2	1	1	2
9	2	2	2	2	2	2	2
10	2	2	2	1	1	1	1
11	2	2	1	2	2	1	1
12	2	2	1	1	1	2	2
13	2	1	2	2	1	2	1
14	2	1	2	1	2	1	2
15	2	1	1	2	1	1	2
16	2	1	1	1	2	2	1

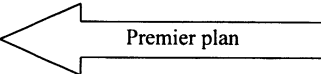
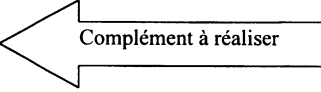
 Premier plan  
 Complément à réaliser

FIGURE 14  
Les deux plans d'expériences

Action du modèle	Colonne Table L <sub>8</sub>	Alias	Colonne Table L <sub>16</sub>	Alias
A	1	CE DF	3	-
B	2	EF CD	5	-
C	4	BD AE	9	-
D	7	BC AF	15	-
E	5	BF AC	11	-
F	6	BE AD	13	-
AB	3	DE CF	6	DE CF
AC			8	BF
BC			14	AF
AD			12	BE
AE			10	BD

FIGURE 15  
Tableau des alias des deux plans d'expériences

de la méthode que nous avons proposée sont essentiellement pédagogiques. Elle est facilement introduite dans les entreprises auprès des techniciens. Sans approche mathématique, ni logiciel sophistiqué toujours un peu «magique», il est possible de faire créer des plans de résolutions IV par les techniciens et donc de diminuer les risques de conclusions erronées.

Nous avons également montré que l'utilisation de ces graphes de résolution IV permettait d'avoir une approche des problèmes par plans gigognes simples qui permet à l'industriel de prendre beaucoup de risques sur un premier plan tout en se réservant la possibilité de désaliasser le plan en étudiant un modèle plus complexe.

Outre cette «gymnastique» sur les colonnes paires et impaires, nous proposons un petit tableau récapitulatif (annexe 5) très simple à utiliser. Il permet de synthétiser l'ensemble de la démarche pour construire des plans à deux niveaux à partir des tables de Taguchi, tout en limitant les risques de confusion d'actions.

Cette méthode basée sur une approche très intuitive de notions pourtant difficiles pour le non spécialiste telles que la confusion d'actions, la résolution, la réalisation de plans complémentaires a été testée dans plusieurs entreprises. Facilement perçu par le milieu industriel, elle nous a permis d'introduire facilement un peu plus de rigueur dans la construction des plans d'expériences.

### Bibliographie

- American Supplier Institute, Inc, *Orthogonal arrays and linear graphs*, ASI, 1987.
- BARRENTINE L., Illustration of confounding in Plackett Burman designs, *Quality Engineering*, 9(1), 11-20 1996.
- BINGHAM T., An approach to developing Multi-Level Fractional Factorial Designs, *Journal of Quality Technology*, Vol 29, n° 4, 370/380, 1997.
- FAIRCHILD D., Experimental designs, design, *Quality Engineering*, 10(1), 155-170, 1997.
- KUCKER R., TSUI T., Interaction graphs : graphical aids for planning experiments, *Journal of Quality Technology*, 22, 1-14, 1990.
- LIAO C., LYER H., VECCHIA D., Construction of orthogonal two level designs of user, *Technometrics*, Vol 38, n° 4, 1996.
- PILLET M., Plans d'expériences, l'approche du Docteur Taguchi, *La technique moderne*, 1995.
- PILLET M., Les plans d'expériences par la méthode Taguchi, *Les éditions d'organisation*, 1997.
- SANTY W., EINWALTER B., Comparison of classroom Toys for teaching experimental design, *Quality Engineering*, 10(1), 75-83, 1997.
- SITTER R., CHEN J., FEDER M., Fractional Resolution and Minimum Aberration in Blocked  $2^{n-k}$  Designs, *Technometrics*, vol 39, N° 4, 382/390, 1997.
- TAGUCHI G., *System of experimental design (tome I et II)* Unipub/Kraub, 1987.
- TAGUCHI G., KONISHI S., *Orthogonal arrays and linear graph*, American Supplier Institute Press, 1987.
- WU C., CHEN Y., A graph aided method for planning two level experiments when certain interactions are importants, *Technometrics*, Vol 34, 162-174, 1992.

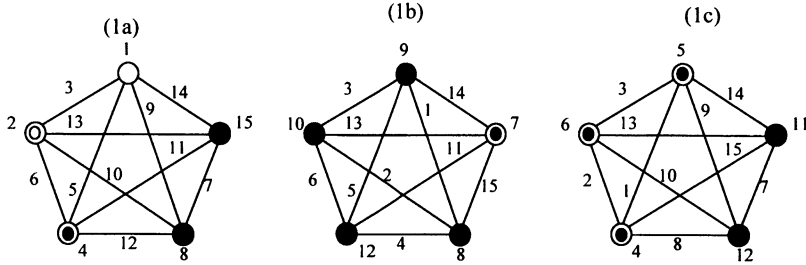
**Annexe 1. Table de Taguchi L<sub>16</sub> (2<sup>15</sup>)**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1
	a	b	a	c	a	b	a	d	a	b	a	c	a	b	a
			b		c	c	b		d	d	b	d	c	c	b
							c				d		d	d	c
															d
Groupe	1	2	3				4								

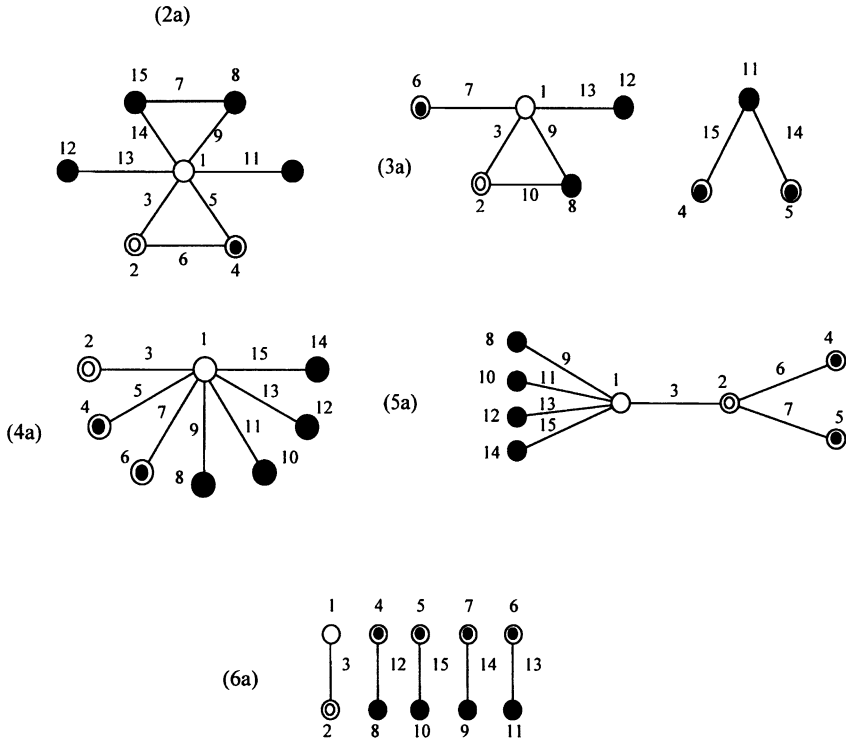
Résolution	Nombre maximum de facteurs	Colonnes à utiliser
Plan complet	4	1, 2, 4, 8
V	5	1, 2, 4, 8, 15
IV	8	1, 2, 4, 7, 8, 11, 13, 14 ou 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15
III	15	Toutes

**Annexe 2. Graphes proposés par Taguchi**

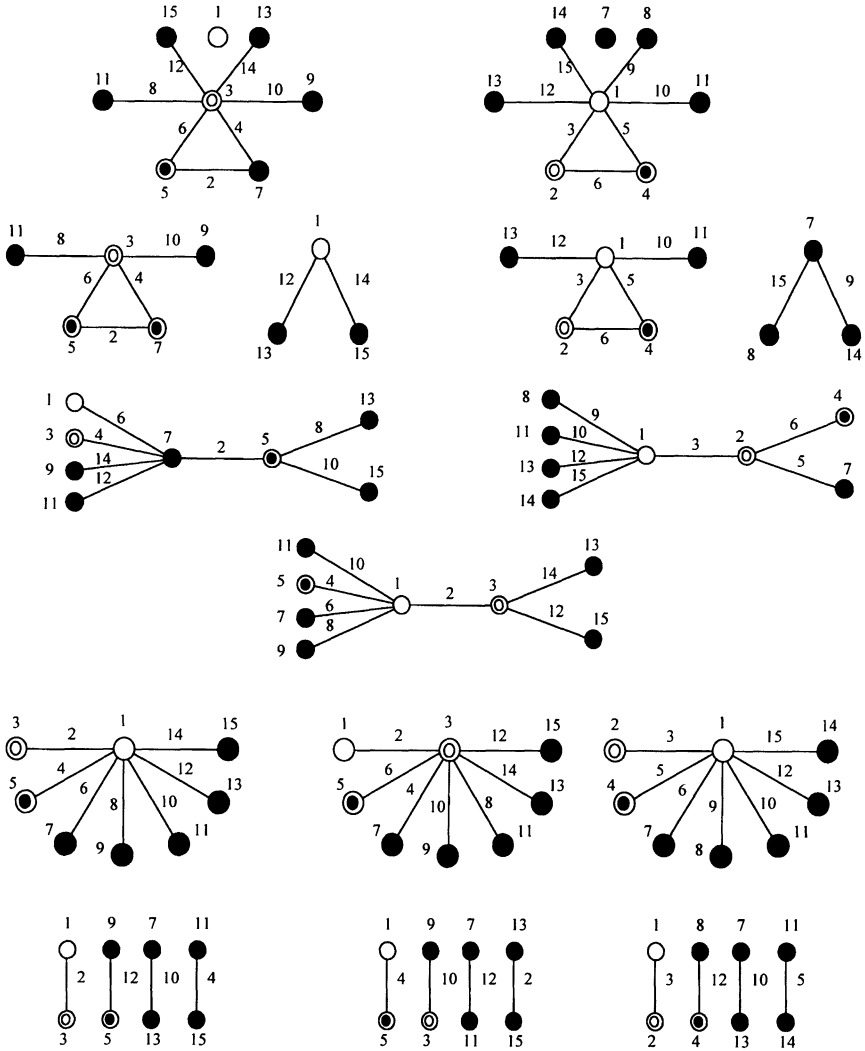
**Table L<sub>16</sub> - Graphes de Taguchi (résolution V)**



**Table L<sub>16</sub> - Graphes de Taguchi (résolution III)**



Annexe 3. Nouveaux graphes proposés de résolution IV (Table L<sub>16</sub>)



Annexe 4. Quelques graphes de résolution IV (Table L<sub>32</sub>)

