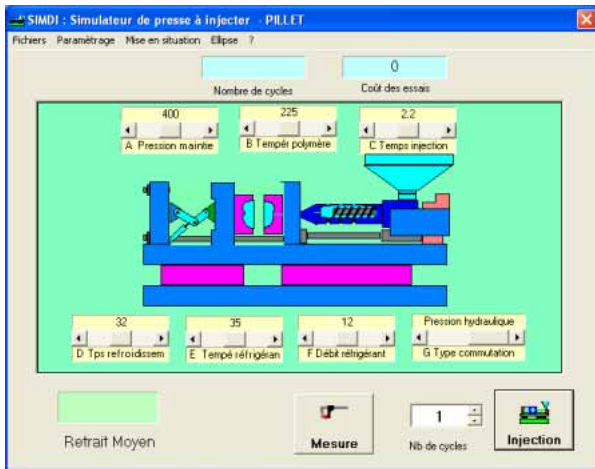


# SIMDI - Presse à injecter

« Les élèves apprennent à réaliser un plan d'expériences portant sur de nombreux facteurs »



## Objectifs du simulateur

Simuler les différentes étapes de la construction, de la réalisation, et de l'interprétation d'un plan d'expériences dans le cas où de nombreux facteurs interviennent.

Dans ce problème, on cherche à :

- Hierarchiser l'influence relative des facteurs sur le retrait de la matière plastique après injection.
- Trouver la configuration qui donne le moins de retrait sans trop perdre en productivité (Temps de cycle)

## Apport pédagogique de la séquence de formation

- Mise en place d'un plan d'expériences sur un processus comportant de nombreux facteurs

## Fonctionnalités du logiciel



Lance un cycle d'injection pour fabriquer une pièce. A la fin de la simulation, le pourcentage de retrait apparaît dans le cadre



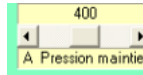
Deux injections consécutives avec le même configuration des facteurs ne donne pas forcément le même résultat.



Nombre de cycles de production lancés



Mesure des cotes sur les pièces fabriquées

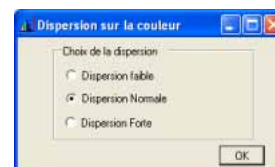


Permet de modifier le niveau du facteur. Dans cette simulation, les extrême possible sont des extrêmes réalistes. On peut donc se placer au mini ou au maxi des plages possibles.



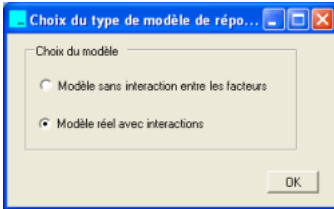
Compteur indiquant le nombre d'essais, et le coût total en fonction du nombre d'injections

## Menu Paramétrage/Dispersion



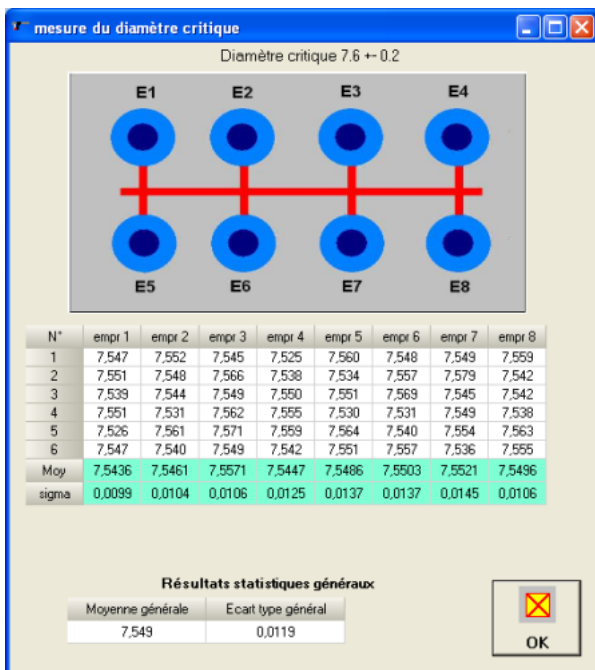
Par défaut, le modèle comporte les interactions rencontrées dans ce type de problème. On peut les supprimer en sélectionnant la puce correspondante.

## Menu Paramétrage/Modèle



Cette fonctionnalité permet de sélectionner l'importance de la dispersion dans les réponses. Par défaut, la dispersion est conforme à la dispersion observée sur ce type de procédé.

## Mesure des caractéristiques



Après injection outre le retrait, on peut mesurer sur chacune des 8 empreintes une caractéristique dimensionnelle dont la cote est de  $7.6 \pm 0.2$ .

### Exemple de TP à réaliser avec presse

1. Réalisation d'un plan de balayage pour hiérarchiser l'influence des différents paramètres sur le retrait

2. Plan d'expérience complet sur les trois premiers facteurs dans le but d'une initiation aux plans complet
3. Modélisation du comportement de l'ensemble des facteurs avec une table L16 à 2 niveaux en résolution IV (colonnes impaires de la table L16 de Taguchi)
4. Rechercher à améliorer la capabilité sur la caractéristique mesurée en regardant l'influence sur la moyenne et sur la dispersion de l'ensemble des facteurs
5. Réalisation d'un plan produit de Taguchi pour réduire la perte sur la variable mesurée.

Nous donnons en exemple les deux premiers type de TP que l'on peut réaliser.

## Menu ELLIPSE

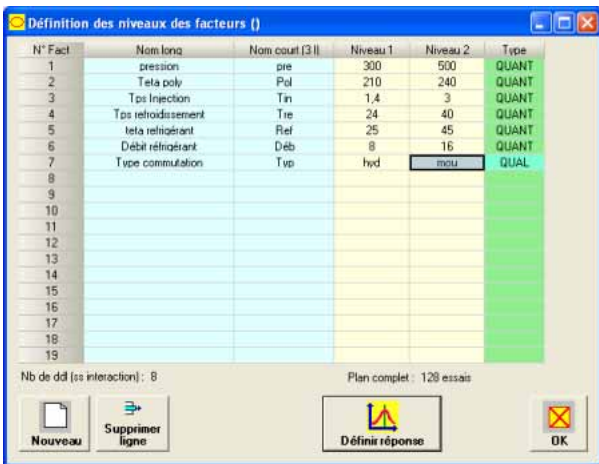
Ce menu permet d'accéder au logiciel de traitement des plans d'expériences ELLIPSE Plan Taguchi.



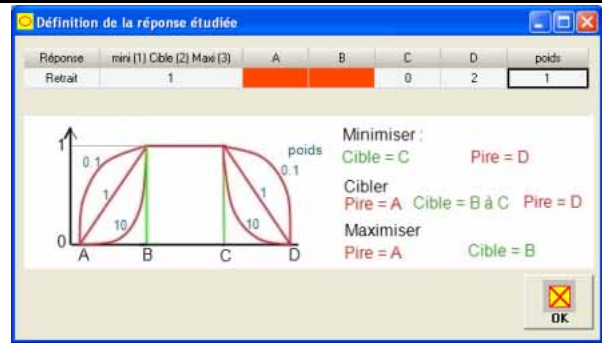
Pour plus de détail sur ELLIPSE, On se référera à sa documentation.

Un des plans intéressant à traiter avec ce simulateur est le plan de balayage de Taguchi, la table L12 soit un plan factoriel à 2 niveaux.

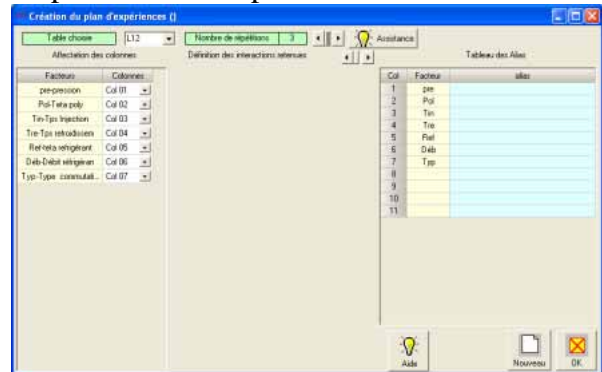
On définit les facteurs de la façon suivante :



Et la réponse

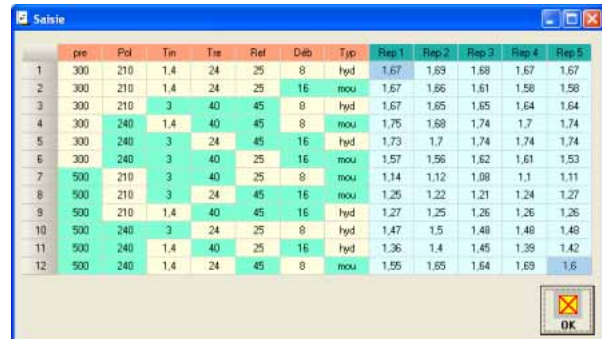


Le plan est défini par :

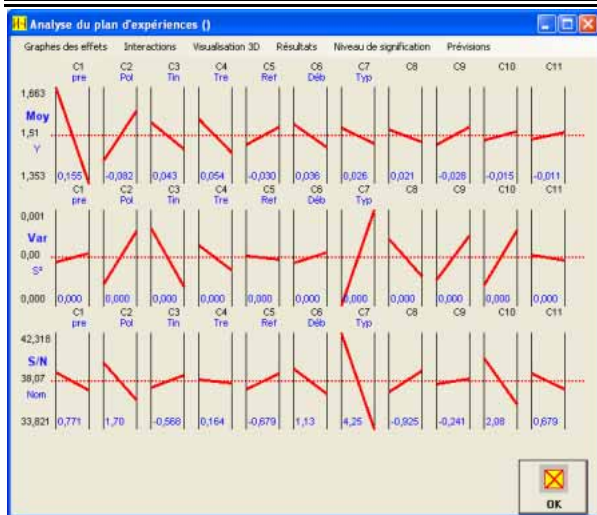


On fait 3 répétitions pour optimiser à la fois la moyenne du retrait, mais également la variance (optimisation double en moyenne et en variance de Taguchi)

Conduite des Essais



Dépouillement et interprétation :



On sort le graphe des effets en moyenne, en variance, et en S/N (ratio Signal/Bruit) de Taguchi.

On note que les colonnes 8, 9, 10 où il n'y a aucun facteur sont néanmoins très actives. Il est délicat d'interpréter le sens de ces colonnes.

On note que les facteurs Pression de Maintien et température du polymère agissent sur la moyenne du retrait, par contre le choix de la pression de commutation influe sur la variance. Il faut donc placer ce facteur prioritairement sur le niveau 1 : « Hydraulique »

### Analyse de la variance

N° col	Action	retenu	SP	ddl	Var	F exp	F limite	Risque	Signif ?	Contrib
1	pre	OK	1.44	1	1.44	557.15	4.01	0.000	Tres	58.5%
2	Pol	OK	0.41	1	0.41	157.88	4.01	0.000	Tres	16.7%
3	Tr	OK	0.11	1	0.11	43.73	4.01	0.000	Tres	4.6%
4	Tr	OK	0.17	1	0.17	67.92	4.01	0.000	Tres	7.2%
5	Ref	OK	0.05	1	0.05	20.50	4.01	0.000	Tres	2.2%
6	Deb	OK	0.08	1	0.08	30.75	4.01	0.000	Tres	3.3%
7	Typ	OK	0.04	1	0.04	15.34	4.01	0.000	Tres	1.6%
8		NON	0.03	1	0.03					
9		NON	0.05	1	0.05					
10		NON	0.01	1	0.01					
11		NON	0.01	1	0.01					
12	Residus	NON	0.134	52	0.003					5.5%
12	Totale		2.44	59	0.04					

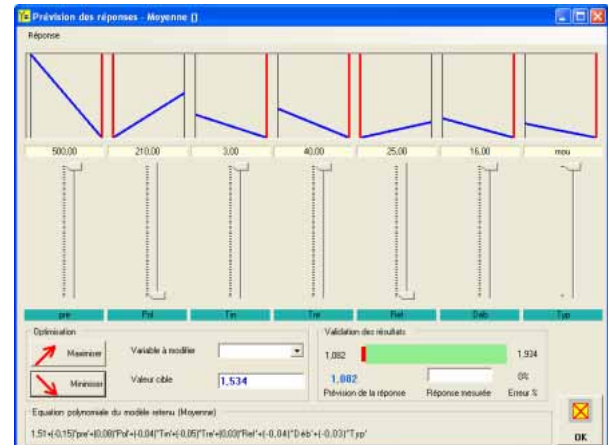
Seoir la variance résiduelle si vous la connaissez: 0.0026  
Seoir le nombre de degrés de liberté: 52

L'analyse de la variance montre que toutes les colonnes sont significatives ! Même celle qui ne comporte aucun facteur. Cela signifie qu'ils y a des interactions non prises en

compte dans le modèle qui ont un impact dilué dans les colonnes vides... mais également dans les colonnes où il y a des facteurs.

### Optimisation du plan d'expériences

Supposons que l'optimum consiste à minimiser le retrait en minimisant la variance :  
On trouve :



On place manuellement la commutation sur « Hydraulique ». Cet essai n'a pas été réalisé dans le plan d'expériences.

On réalise l'essai de confirmation :  
1.07 ; 1.06 ; 1.07 ; 1.09 ; 1.03

Ce qui donne une moyenne de 1.06 très légèrement différente de 1.13 prévu, mais qui est effectivement l'essai donnant le plus faible retrait.

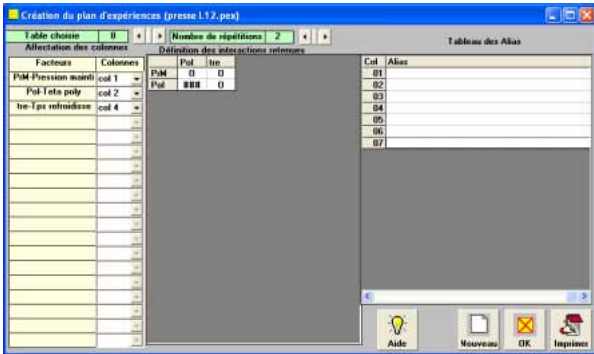
### Plan d'expériences complet

Le plan d'expériences L12 a montré qu'il existait sans doute des interactions.

Si on applique le principe d'hérédité : « Les interactions sont souvent le fait de facteurs eux même très actifs », on recherchera en priorité ces interactions entre les effets les plus forts :

- Pression de maintien
- Température du polymère
- Temps de refroidissement

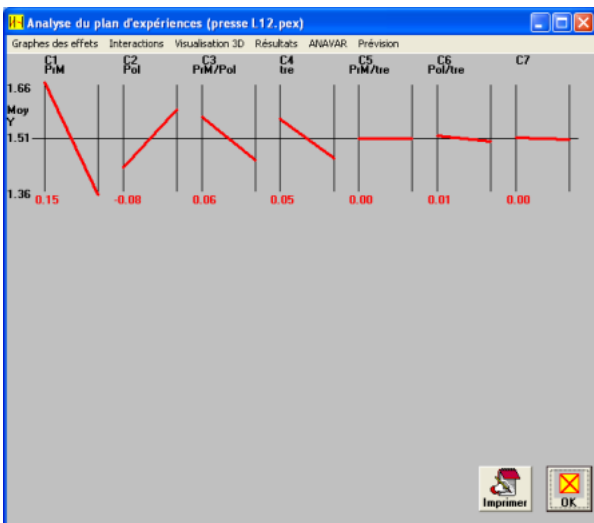
Pour cela une table L8 en plan complet est idéale.



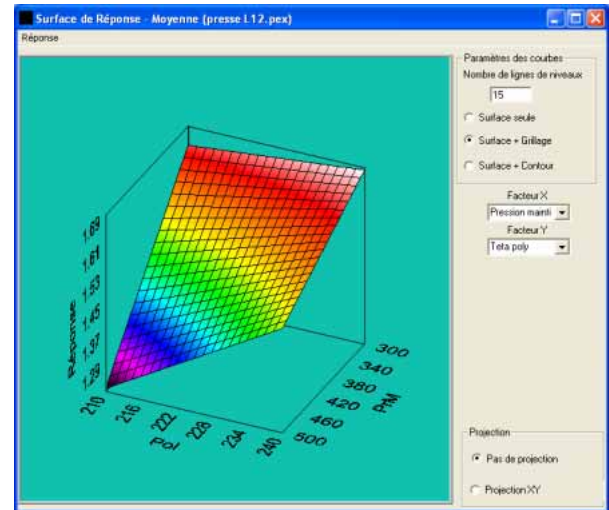
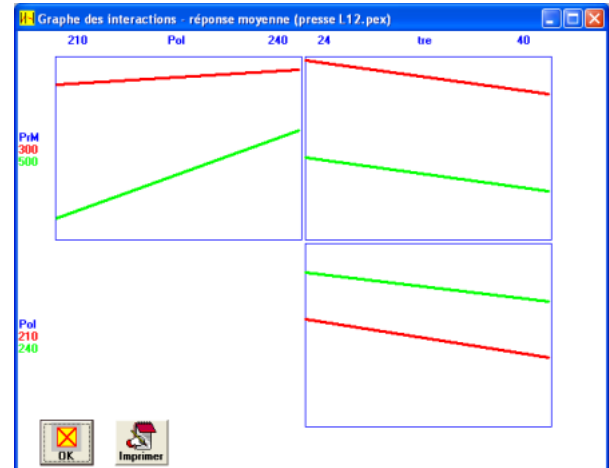
Ce qui donne comme plan d'expériences :

	PM	Pol	tre	Rép 1	Rép 2
1	300	210	24	1.7	1.7
2	300	210	40	1.59	1.56
3	300	240	24	1.69	1.76
4	300	240	40	1.63	1.65
5	500	210	24	1.26	1.29
6	500	210	40	1.15	1.17
7	500	240	24	1.53	1.55
8	500	240	40	1.42	1.47

Le graphe des essais donne le graphe suivant avec une interaction assez forte entre la pression de maintien et la température du polymère.



Cette interaction peut se visualiser selon deux graphiques :



Le graphique en surface de réponse est particulièrement parlant :

L'interaction amplifie l'effet cumulé des deux facteurs. Le point le plus faible se trouve pour la pression de maintien à 500 et la température du polymère de 210.

L'analyse de la variance confirme le résultat.





# SIMDI PRESSE - Simulateur de presse à injecter - Fiches d'informations

Prévision des réponses - Moyenne (presse L12.pex)

N° col	Action	retenue	S²	ddl	Var	F esp	F limite	Risque	Signif ?	Contrib
01	P/M	OUI	0.37	1	0.37	531.57	5.32	0.000	Très	64.4%
02	Pol	OUI	0.10	1	0.10	146.29	5.32	0.000	Très	17.7%
03	P/M/Pol	OUI	0.05	1	0.05	75.57	5.32	0.000	Très	9.2%
04	te	OUI	0.04	1	0.04	63.00	5.32	0.000	Très	7.6%
05	P/M/te	OUI	0.00	1	0.00	0.00	5.32	0.963	Non	0.0%
06	Pol/te	OUI	0.00	1	0.00	1.29	5.32	0.290	Non	0.2%
07		OUI	0.00	1	0.00	0.14	5.32	0.713	Non	0.0%
Résidus			0.005	8	0.001					0.9%
Totale			0.58	15	0.04					

Saisir la variance résiduelle si vous la connaissez

Saisir le nombre de degrés de liberté

## Guide de mise en place du travail pratique

Le TP tel qu'il est présenté dans cette fiche se déroule sur une période de quatre heures.

## Choix du plan d'expériences

Le groupe de stagiaires analyse les facteurs présents sur le simulateur et recherche la meilleure stratégie possible pour minimiser le pourcentage de retrait.

Deux solutions sont possibles selon le niveau de connaissances des stagiaires sur les presses à injecter.

### Connaissances du groupe nulles

Dans ce cas de figure, compte tenu de l'impossibilité d'éliminer des facteurs et de faire des hypothèses sur les interactions, le choix optimum est de faire un plan fractionnaire à interactions diluées. La table  $L_{12}$  est la meilleure des solutions.

### Connaissances du groupe faibles

On peut bien sûr faire une table  $L_{12}$ , mais en faisant quelques hypothèses sur les interactions, on peut réaliser un plan fractionnaire de résolution IV sur les huit facteurs. On utilise pour cela les colonnes impaires de la table  $L_{16}$ . On consultera utilement l'ouvrage de référence au chapitre 4 pour plus de renseignements sur les plans de résolution IV.

### Connaissances du groupe fortes

On peut alors éliminer un certain nombre de facteurs :

- soit parce qu'on les suppose peu influents ;
- soit parce qu'on connaît déjà leur influence et qu'il est inutile de faire un plan d'expériences pour connaître ce que l'on connaît déjà.

On peut alors réaliser un plan très fractionnaire de type  $L_8$ .

L'intérêt de ce simulateur est justement de susciter le débat sur le choix du plan d'expériences et de proposer une approche synthétique des différents simulateurs. Dans tous les cas, on a intérêt à répéter plusieurs fois les essais pour étudier les réponses en moyenne et en dispersion.

## Interactions programmées

### Phase 1

Pas d'interaction programmée, le type de commutation joue principalement sur la dispersion.

### Phase 2

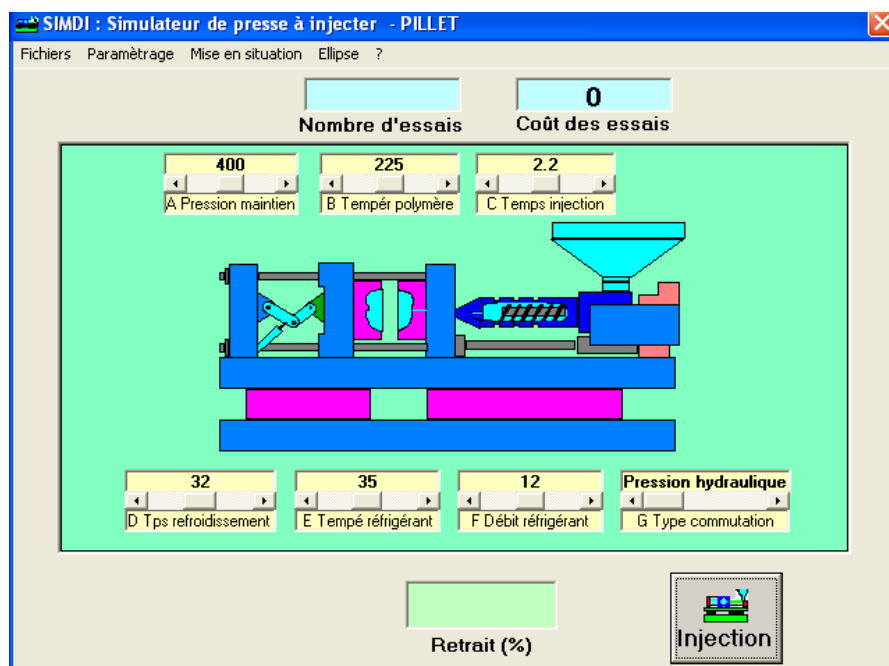
Pression/Tempé polymère

Pression/Tps injection

Tempé polymère/Tps injection

Temps de refroidissement/Température réfrigérant

# SIMDI Presse - Fiche d'informations



## Objectifs de l'expérimentation

Vous êtes responsable du secteur injection dans l'entreprise SIMDI. Un des problèmes qualité que l'on rencontre sur une presse est lié au pourcentage de retrait (différence entre les cotes en sortie de moule et après refroidissement). Vous décidez de réaliser une étude par plan d'expériences pour minimiser ce retrait.

Les facteurs sont les suivants :

Pression de maintien	Pression à laquelle on maintient le vérin pendant le refroidissement après le cycle d'injection
Temps d'injection	Détermine la vitesse de sortie du vérin pendant le cycle d'injection
Température du polymère	Température du plastique dans le collier chauffant avant le cycle d'injection
Temps de refroidissement	Temps de refroidissement de la matière dans le moule
Température du réfrigérant moule	Température de l'eau qui circule dans le moule pour le refroidir
Débit réfrigérant	Débit de la circulation de l'eau
Type de commutation	Valeur sur laquelle on s'aligne pour changer de type d'asservissement pendant l'injection. On passe d'un asservissement en vitesse à un asservissement en pression

Choisir le plan le plus adapté pour minimiser ce retrait en faisant les hypothèses nécessaires sur les facteurs à retenir et sur les interactions supposées.



On cherchera à minimiser le retrait, et à minimiser la dispersion sur ce retrait.

Les extrêmes possibles proposés par le simulateur sont des extrêmes réalistes.

## SIMDI Presse - Fiche de calcul

### Détermination d'un plan d'expériences :

Facteurs		Difficultés	Symbole
A	Pression de maintien		
B	Température du polymère		
C	Temps d'injection		
D	Temps de refroidissement		
E	Température réfrigérant		
F	Débit réfrigérant		
G	Type de commutation		

Interactions supposées

Graphe associé

Graphe de Taguchi Table .....

Affectation des colonnes

Facteurs	colonnes
A	
B	
C	
D	
E	
F	
G	

### Réalisation du plan d'expériences

N°	A	B	C	D	E	F	G	R1	R2	R3
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										

---

---

16		
17		
18		

## 2. Interprétation du plan

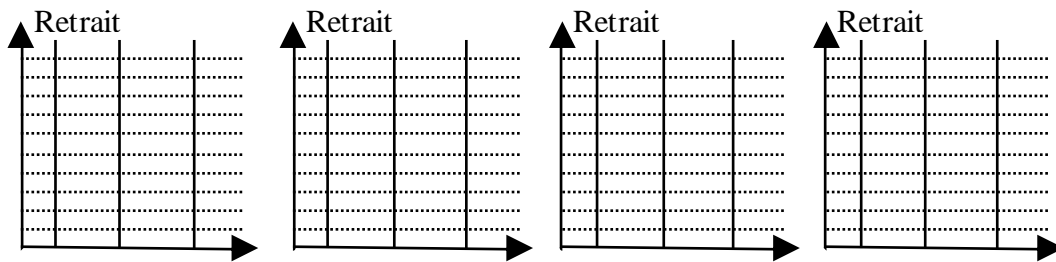
### Tableaux des moyennes

Moyenne générale de tous les essais : .....

	A	B	C	D	E	F	G
N 1							
N 2							



### Graphe des effets

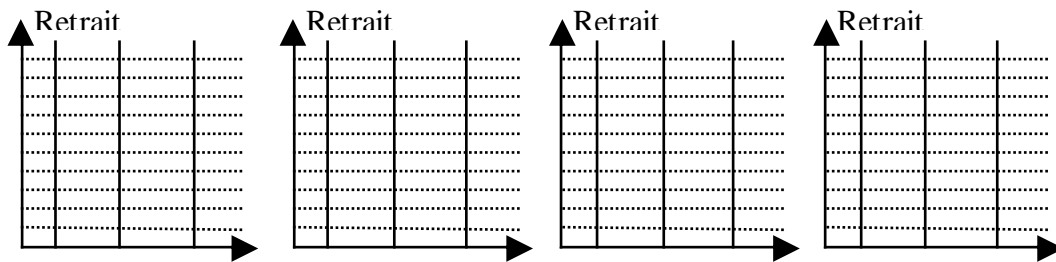


Effet de

Effet de

Effet de

Effet de



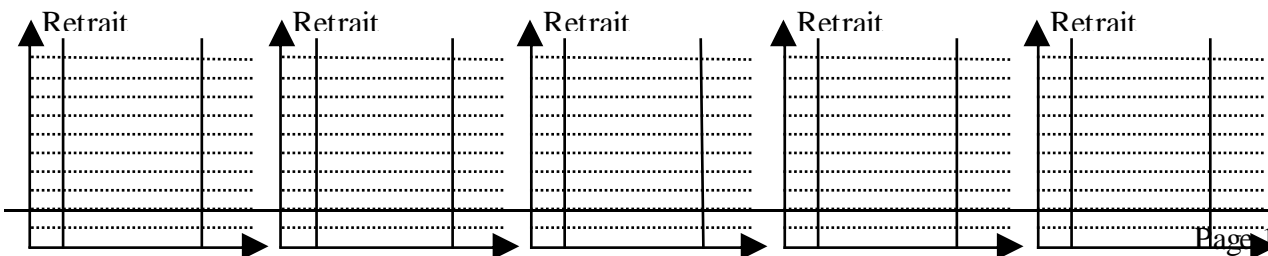
Effet de

Effet de

Effet de

Effet de

### Graphe des interactions significatives



①

②

①

②

①

②

①

②

①

②

Interaction

Interaction

Interaction

Interaction

Interaction

### **Calcul des actions**

Effet de A :

Effet de B :

Effet de C :

Effet de D :

Effet de F :

Effet de G :

Effet de H :

### **Modèle matriciel**

### **Conclusion sur le modèle**

