

# Logiciel de traitement de plans d'expériences ELLIPSE

ELLIPSE est une suite de logiciel de construction et d'analyse des plans d'expériences qui comporte 4 programmes :

- Plans factoriels à 2 niveaux de Taguchi
- Plans factoriels à 2 et 3 niveaux de moins de 20 essais (complets ou fractionnaires)
- Plans en surface de réponse (composites centrés)
- Optimisation de réponse multiple pour un même plan d'expériences

L'objectif d'Ellipse est de fournir un outil simple, adapté aux non-spécialistes des plans d'expériences pour construire et interpréter les plans simples permettant l'optimisation de produits ou de processus.



## Lancement d'Ellipse :

La première fenêtre permet de choisir le type de plans que l'on veut construire. Sélectionner le type de plan choisi et valider par OK.

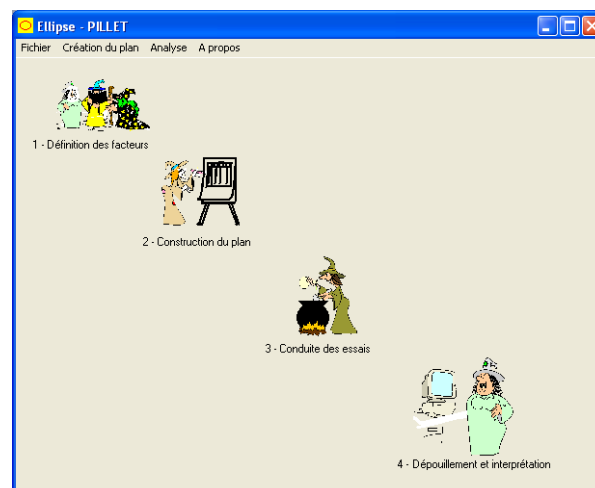
Pour les plans à 2 niveaux, qu'ils soient complets ou fractionnaire, il est préférable de choisir la première option.

Pour les plans complet comportant plus de 2 niveaux sur au moins un des facteurs ou des plans fractionnaires avec un facteur à plus de 2 niveaux, choisir la seconde option.

La troisième option permet de traiter la plupart des plans en surface de réponse de la littérature jusqu'à 6 facteurs.

La dernière option permet d'optimiser un système comportant plusieurs réponses à partir d'un plan fournissant une réponse polynomiale (plans à 2 niveaux et plans en surface de réponse)

## Plans factoriels à 2 niveaux



La logique de construction d'un plan est la suivante :

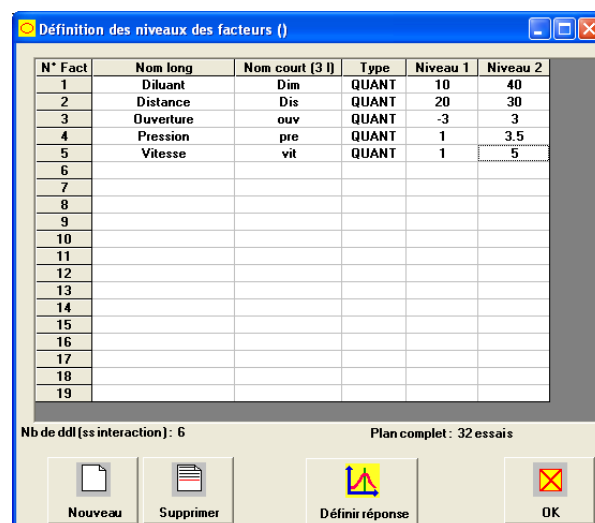
1. Définir les facteurs et les niveaux
2. Construire le plan d'expériences
3. Saisir le résultat des essais
4. Analyser le plan

En cliquant successivement sur les « sorcières » on déroule les différentes étapes de la construction et de l'analyse d'un plan.

On peut accéder aux différentes étapes également par le menu.

Un plan d'expériences peut à tout moment être enregistré en utilisant la commande "enregistrer" dans le menu "Fichier".

## 1. Définir les facteurs et les niveaux



La définition des facteurs consiste à définir pour tous les facteurs :

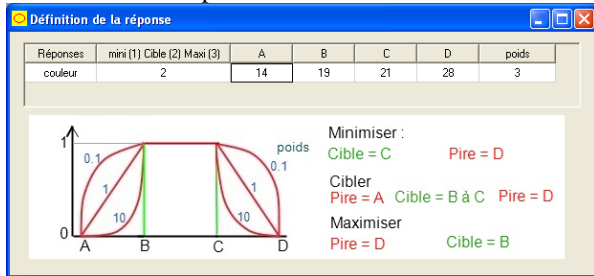
- un nom long ;
- un nom court (3 caractères) par défaut le système nomme A, B, C... Mais nous vous conseillons de donner des noms courts significatifs (exemple Temps => tps) ;
- les niveaux étudiés, Ellipse détermine automatiquement s'il s'agit d'un facteur qualitatif ou quantitatif.

## 2. Définir l'objectif pour la réponse



En cliquant sur le bouton "Définir Réponse" on ouvre la fenêtre qui permet de définir l'objectif recherché :

1. Minimiser la réponse
2. Viser une cible
3. Maximiser la réponse

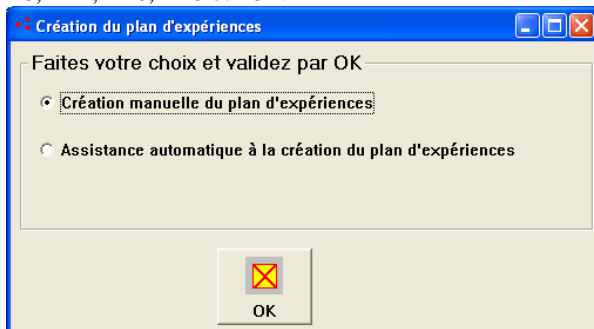


Dans l'exemple ci-dessus, on cherche à viser une couleur comprise entre 19 et 21 (la cible). Dans cet intervalle la désirabilité sera de 1. Toute valeur hors de l'intervalle 14 – 28 ne nous intéresse pas la désirabilité sera de 0. Entre 14 et 19 (et 28-21) la désirabilité va progresser selon une fonction au cube (poids de 3).

La définition de l'objectif sera utile pour trouver la configuration optimale.

## 3. Construction du plan d'expériences

Les tables programmées dans Ellipse sont les tables L4, L8, L12, L16, L20 et L32.



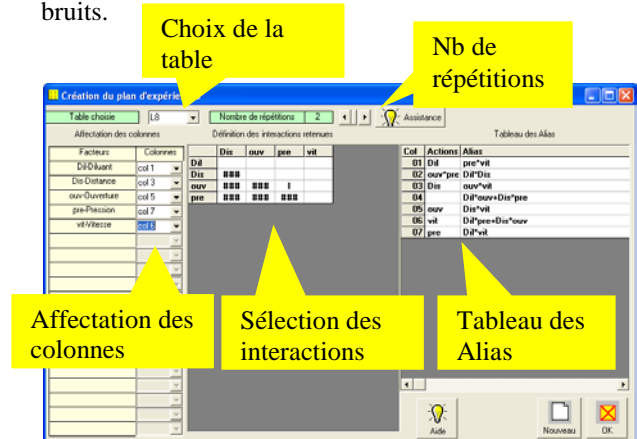
Vous pouvez créer vos propres plans, ou laisser Ellipse choisir le plan de meilleure résolution (assistance automatique). Dans ce cas, Ellipse applique les règles

de construction des plans à 2 niveaux que l'on trouvera à la fin de ce document.

## Choix des colonnes pour les facteurs

Dans le cas des tables permettant l'étude des interactions (Table 4, 8, 16), Ellipse affiche un tableau qui permettra de sélectionner les interactions supposées non nulles.

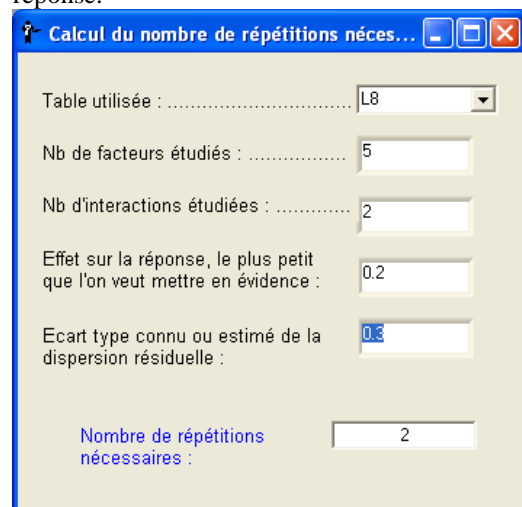
On choisit également le nombre d'essais (nombre de répétitions) que l'on souhaite faire par ligne. Dans le cas d'un plan produit de Taguchi, le nombre de répétition sera le nombre de combinaison des facteurs bruits.



Pour obtenir les colonnes qui donneront le meilleur plan, vous pouvez cliquer sur AIDE afin d'avoir le conseil ELLIPSE.

Pour chaque facteur, on définit la colonne dans laquelle on souhaite affecter le facteur. Un récapitulatif du contenu de chaque colonne est affiché dans le cadre "Tableau des Alias".

Pour choisir le nombre de répétition, on peut utiliser l'utilitaire Assistance qui donne le nombre en fonction de l'effet recherché et de la dispersion attendue sur la réponse.



## Choix des colonnes pour les interactions

Pour sélectionner une interaction que l'on souhaite retenir, on clique avec la souris dans le tableau des

interactions. Un "I" s'affiche. Pour éliminer une sélection, on clique une nouvelle fois sur l'interaction. Dans le cas où la colonne dans laquelle se trouve l'interaction sélectionnée est déjà réservée pour un facteur ou pour une autre interaction, un message d'alerte s'affiche.

Le "tableau des Alias" donne, outre les facteurs et les interactions retenues, toutes les interactions de second ordre et les colonnes correspondantes. On peut ainsi facilement visualiser les risques que l'on prend en réalisant le plan choisi.

On cherche toujours dans un plan d'expériences de manière à avoir la meilleure résolution possible, c'est à dire à avoir le moins d'alias possible. On pourra se référer à la documentation spécialisée pour le choix optimum des colonnes.

### 3. Conduite des essais

Saisie							
	Dil	Dis	ouv	vit	pre	Rep 1	Rep 2
1	10	20	-3	1	1	26.7	26.2
2	10	20	3	5	3.5	31.8	31.1
3	10	30	-3	5	3.5	12.2	11.6
4	10	30	3	1	1	30.5	30.7
5	40	30	3	1	3.5	29	29.3
6	40	30	-3	5	1	24.3	24.2
7	40	20	3	5	1	27.5	27.6
8	40	20	-3	1	3.5	20.5	21.1

La conduite des essais consiste à saisir le résultat du plan d'expériences. Le nombre de colonnes disponibles pour la saisie des réponses est égal au nombre de répétitions qui ont été déclarées dans la phase de construction du plan.

Dans le cas où le plan posséderait plusieurs réponses à optimiser, on créerait autant de fichiers que de réponses. Cela revient à traiter en parallèle plusieurs plans d'expériences.

### 4. Analyse du plan d'expériences

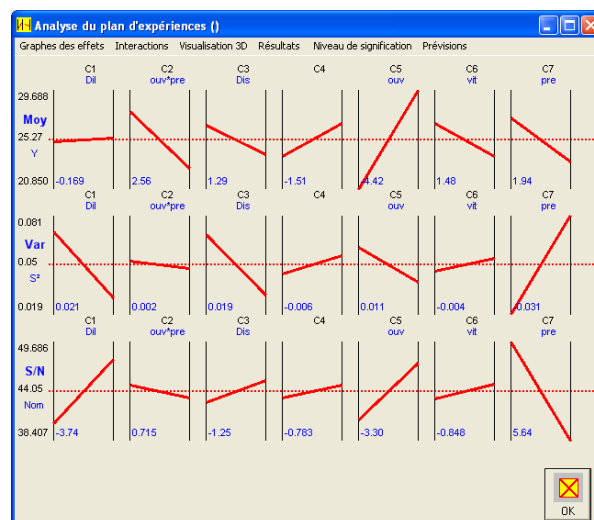
#### Menu "Graphe des effets"

Par défaut, Ellipse affiche le graphe des effets sur la moyenne des réponses saisies dans la phase "essais".

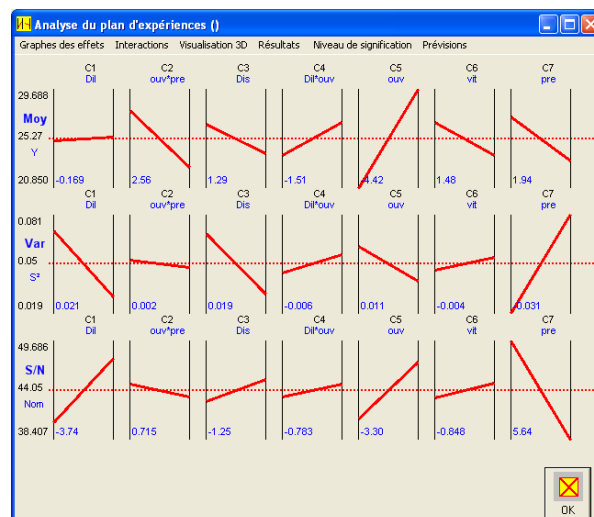
Dans le cas où plusieurs réponses ont été saisies, notamment dans le cas de "plans produits de Taguchi", il est possible de faire afficher trois réponses à l'écran en utilisant le menu "Graphe des effets".

Dans l'exemple précédent où le but du plan est de maximiser la réponse, on a affiché les trois réponses utiles à l'optimisation, c'est à dire :

- Moyenne ;
- Variance ;
- S/N de type Nominal.



Le graphe des effets montre les effets de l'ensemble des colonnes de la table choisie. Cela permet éventuellement de voir des interactions non sélectionnées au départ. C'est le cas dans l'exemple avec la colonne 4 qui est finalement active. On peut alors retourner à la définition du plan d'expériences et sélectionner l'interaction choisie.



#### Menu interactions

Le menu "Interactions" permet d'afficher le graphe des interactions retenues dans le plan d'expériences.

Le menu interaction permet d'afficher les graphes des interactions pour les différentes réponses :

- Moyenne
- log(variance)
- et les différents S/N

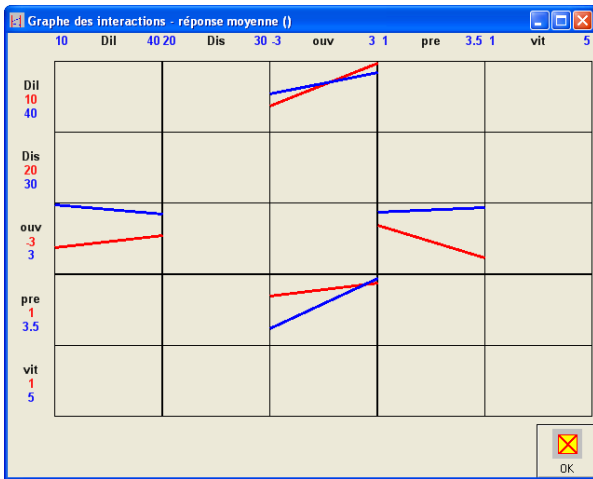


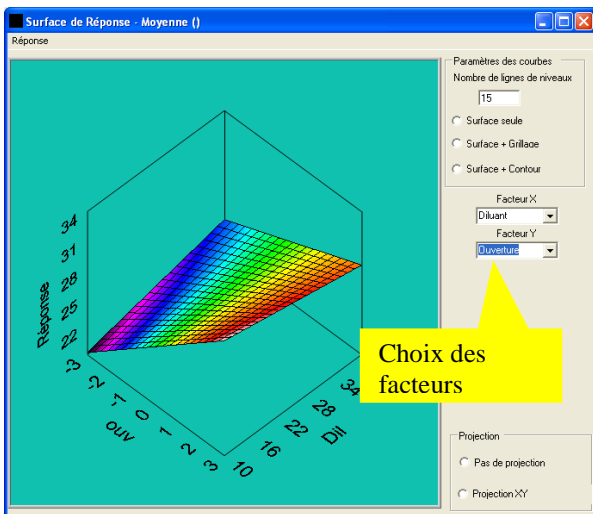
Tableau des moyennes des effets

	Dil	Dis	ouv	pre	vit
N1	25.100	26.563	20.950	27.213	26.750
N2	25.438	23.975	29.688	23.325	23.788

Tableau des moyennes des interactions

		ouv1	ouv2	pre1	pre2
Dil1		19.175	31.025		
Dil2		22.525	20.350		
	ouv1			25.350	16.350
	ouv2			29.075	30.300

## Menu "Visualisation 3D"



La visualisation 3D permet de mieux comprendre comment agissent les effets et les interactions. On sélectionne 2 facteurs parmi l'ensemble, et le graphique visualise la surface de réponse sur ces deux facteurs. Il est possible de faire tourner l'image à l'aide de la souris.

## Menu "Résultat" "Tableau des moyennes"

Ce tableau affiche le résultat des calculs des effets des facteurs et des interactions. On trouve les moyennes lorsque chaque facteur est au niveau 1 et au niveau 2. On trouve également les moyennes pour chacune des combinaisons des interactions retenues.

## "Essais"

Ce tableau affiche le résultat des essais, ainsi que la moyenne et la variance de chacun des essais du plan.

Résultats des Essais ()

Copier

	Dil	Dis	ouv	vit	pre	Rép 1	Rép 2	Moy	Var	SN Nom	SN min	SN Max
1	10	20	-3	1	1	26.7	26.2	26.450	0.0625	40.490	-28.449	28.447
2	10	20	3	5	3.5	31.8	31.1	31.450	0.1225	39.071	-29.953	29.951
3	10	30	-3	5	3.5	12.2	11.6	11.900	0.0900	31.969	-21.514	21.503
4	10	30	3	1	1	30.5	30.7	30.600	0.0100	49.714	-29.714	29.714
5	40	30	3	1	3.5	29	29.3	29.150	0.0225	45.771	-29.293	29.292
6	40	30	-3	5	1	24.3	24.2	24.250	0.0025	53.715	-27.694	27.694
7	40	20	3	5	1	27.5	27.6	27.550	0.0025	54.823	-28.802	28.802
8	40	20	-3	1	3.5	20.5	21.1	20.800	0.0900	36.819	-26.362	26.359
					Moy	25.313	25.225	25.269	0.050	44.046	-27.723	27.720

## "Résidus"

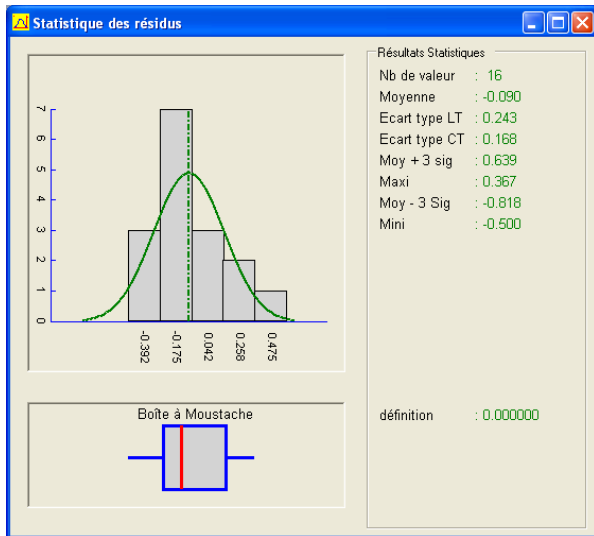
Analyse des résidus

						Rep.1	Rep.2	Y prédit	résidus	résidus	rés std	rés std
1	-1	-1	-1	-1	-1	26.7	26.2	26.45	-.25	.25	.01	.01
2	-1	-1	1	1	1	31.8	31.1	31.45	-.35	.35	.02	.02
3	-1	1	-1	-1	1	12.2	11.6	11.9	-.3	.3	.01	.01
4	-1	1	1	1	-1	30.5	30.7	30.6	-.1	.1	0	0
5	1	-1	-1	-1	1	29	29.3	29.15	-.15	.15	.01	.01
6	1	-1	1	1	-1	24.3	24.2	24.25	-.05	.05	0	0
7	1	1	-1	-1	1	27.5	27.6	27.55	-.05	.05	0	0
8	1	1	1	1	-1	20.5	21.1	20.8	.3	-.3	.01	-.01

Symbolisation des couleurs  
 Résidu faible (niveau à 2 s) => c'est normal  
 Résidu élevé (supérieur à 2 s) => vérifier cet essai  
 Résidu très fort => c'est probablement une valeur aberrante

Le tableau donne pour chaque ligne du plan d'expériences la réponse prédite par le plan, et l'écart entre la prédiction et la mesure (résidus). En cas de résidus élevé, il apparaît en couleur orange ou rouge.

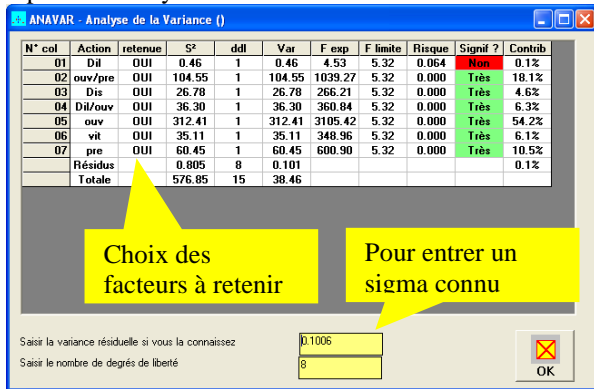
## "Histogramme des Résidus"



Ce diagramme est surtout utile lorsque le nombre de résidus est supérieur à 15 il permet de voir si la distribution suit une loi normale et de connaître la variance résiduelle.

## Menu "Niveau de signification" "ANAVAR"

Dans le cas où plusieurs répétitions ont été réalisées, il est possible de faire l'analyse de la variance sur la réponse en moyenne.



L'analyse de ce tableau est facilitée par l'aide à la décision qui apparaît en couleur.

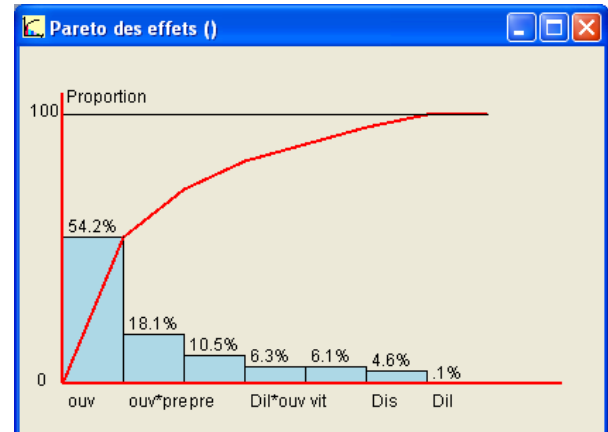
On peut facilement appliquer la méthode du regroupement sur les facteurs en supprimant ou en rajoutant un facteur dans l'analyse de la variance. Pour cela, on clique sur OUI/NON de la colonne "Retenue" sur la ligne du facteur considéré.

Attention cependant dans l'interprétation ! La variance résiduelle est calculée en prenant en compte la variance de répétition dans chaque ligne. Dans le cas où on a fait un plan produit de Taguchi, les répétitions incluent la variance de l'effet du facteur Bruit. On surestime considérablement la variance résiduelle dans ce cas de

figure, et aucun facteur n'est déclaré significatif. Il ne faut donc pas tenir compte des résultats de cette ANAVAR dans le cas de plans produits de Taguchi.

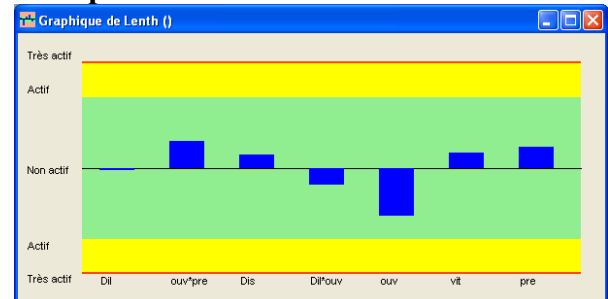
Si on connaît le sigma résiduel par une autre expérimentation que le plan d'expériences, il est possible de rentrer la variance pour pouvoir faire une analyse de la variance.

## "Pareto"



Donne l'importance relative des facteurs dans l'analyse de la variance

## "Graphique de Lenth"

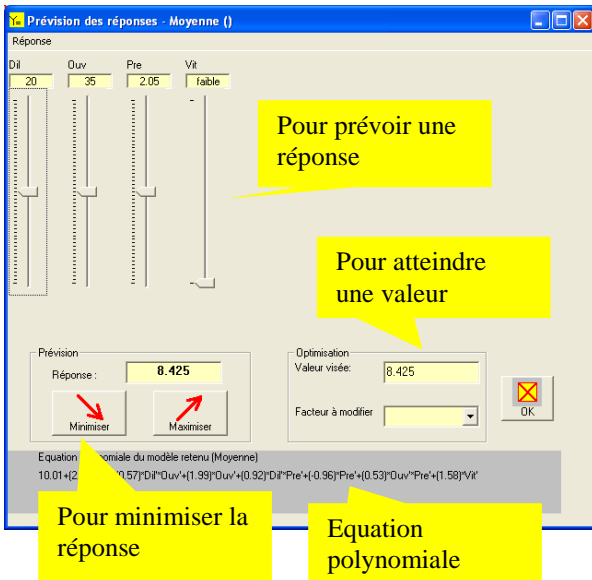


Permet de voir les facteurs significatifs dans le cas de plan screening (L12 L20) avec peu de facteurs significatifs et pas de répétition.

## Menu "Prévision" "Prévisions"

Cette fonctionnalité permet à Ellipse de :

- calculer la réponse prédite pour une configuration des facteurs ;
- trouver le niveau d'un facteur pour obtenir une réponse donnée.



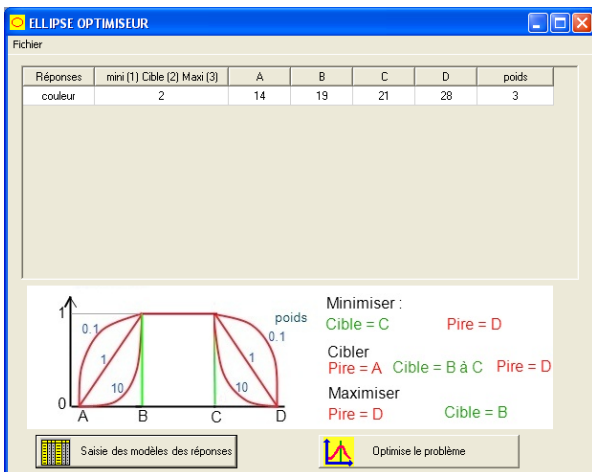
Pour calculer une réponse prédite, il suffit de placer les curseurs des facteurs sur le niveau retenu, le calcul de la réponse théorique s'affiche dans la case prévision de la réponse.

Pour maximiser ou minimiser la réponse, il suffit de cliquer sur les boutons correspondants. Ellipse donne automatiquement la meilleure configuration.

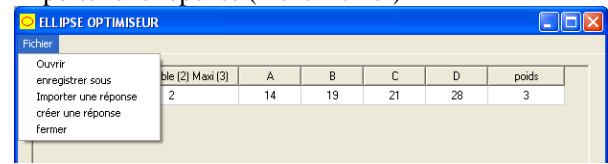
Si l'on souhaite atteindre une valeur de la réponse en modifiant un facteur, on tape la valeur cible dans la case « valeur visée » et on choisit ensuite le facteur à modifier pour atteindre la valeur. S'il n'est pas possible d'atteindre la valeur dans la plage de variation, Ellipse donne le meilleur résultat possible en plaçant le facteur aux extrêmes. On peut alors choisir de modifier un autre facteur.

### "Optimisation"

Cette fonctionnalité permet de trouver automatiquement la meilleure configuration en fonction de l'objectif pour la réponse. Elle permet également de faire l'optimisation simultanée de plusieurs réponses réalisées avec ce plan d'expériences.

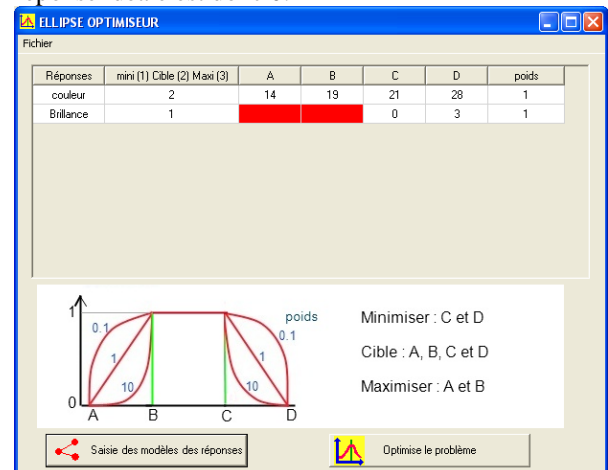


La première fenêtre rappelle l'objectif sur la réponse. Si une autre réponse a été traitée avec ce plan, on peut importer une réponse (menu fichier)



Pour exporter un modèle, on utilise le menu "Fichier" de la fenêtre principale de Ellipse, "exporter le modèle"

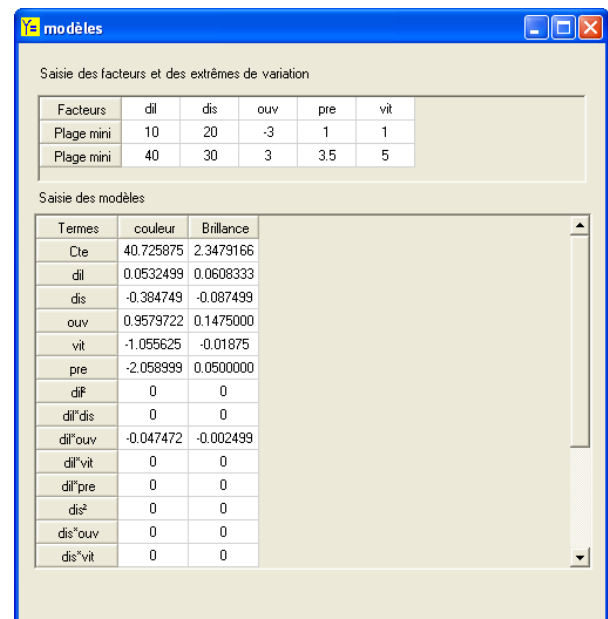
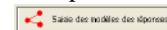
Dans l'exemple ci-dessous on a importé un modèle de la réponse brillance que l'on cherche à minimiser. La réponse idéale est donc 0.



L'optimisation consiste donc à simultanément

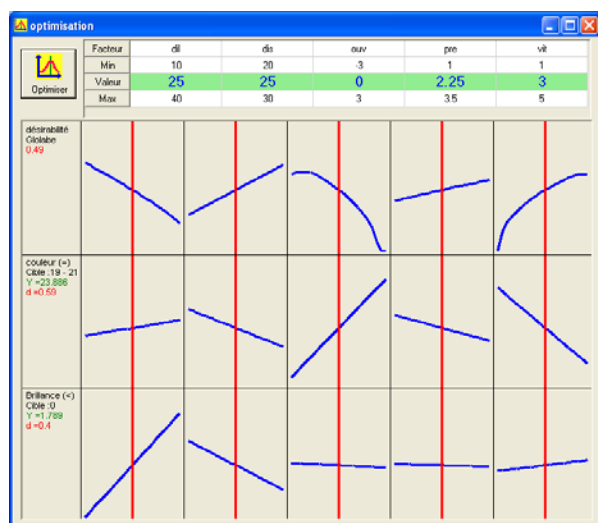
- Obtenir la cible de 20 sur la réponse couleur
- Minimiser la brillance

On peut visualiser les modèles en cliquant sur



Cette page rappelle également les mini et maxi de variation des facteurs.

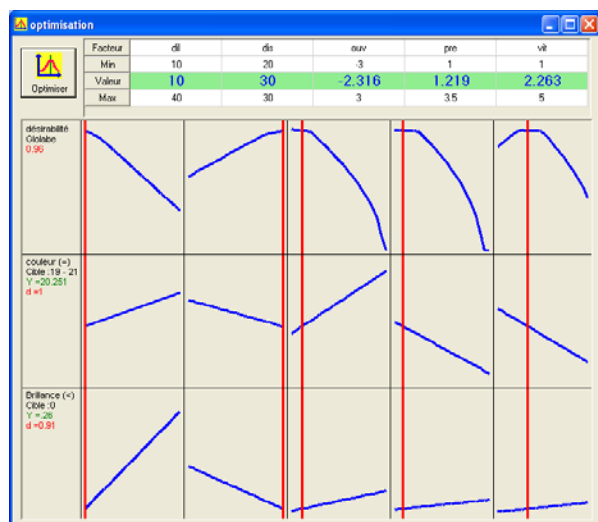
L'optimisation se réalise en appuyant sur le bouton



La première ligne de graphique donne la désirabilité globale à faire tendre vers 1.  
Les deux autres graphiques donnent les effets pour les réponses couleur et brillance.

Pour optimiser manuellement on clique sur la position souhaité d'un facteur ou on modifie sa valeur dans le tableau

Pour trouver la meilleure configuration automatiquement, il suffit de cliquer sur le bouton optimiser.



Dans cette exemple on trouve immédiatement une configuration qui donne une couleur de 20.25 avec une brillance de 0.25 ce qui est très satisfaisant.

## Rédaction d'un rapport avec Ellipse

La meilleure solution pour rédiger un rapport sur un plan d'expériences avec Ellipse est d'utiliser un traitement de texte de type WORD, et d'utiliser les copies d'écrans Ellipse.

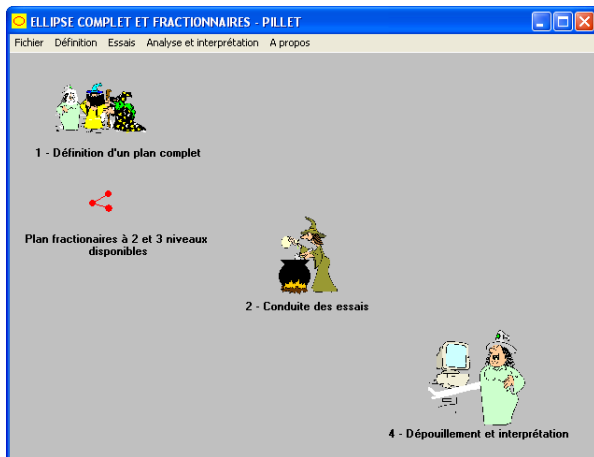
Pour cela : On se place sur la fenêtre Ellipse, et on copie la fenêtre en mémoire en appuyant sur les touches ALT+IMP ECRAN

On se place ensuite dans le document Word, et on utilise la commande coller pour insérer la fenêtre qui peut alors être redimensionner.

## Les plans complets et fractionnaires à 2 et 3 niveaux

Ce choix est le second choix d'Ellipse. Il permet de construire tous les plans complets de moins de 48 essais, ainsi que certains plans fractionnaires. La logique est toujours la même :

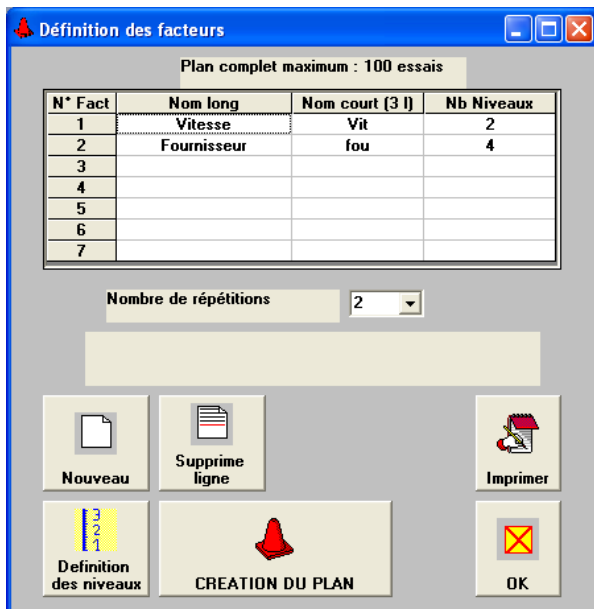
1. Construction du plan
2. Saisie des résultats des essais
3. Analyse des résultats



### Définition d'un plan complet

Pour définir le plan, on saisit :

- Le nom long, le nom court
- Le nombre de niveaux
- Le nombre de répétitions



Les niveaux des facteurs sont définis en cliquant sur



Type	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
QUANT	120	130	###	###
QUAL	pascal	robert	hector	vincen

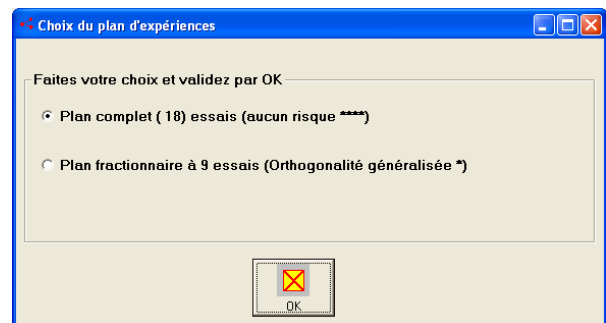
Les informations étant saisies, on crée le plan en cliquant sur



Si on sort de cette fenêtre en cliquant sur OK, le plan ne sera pas créé.

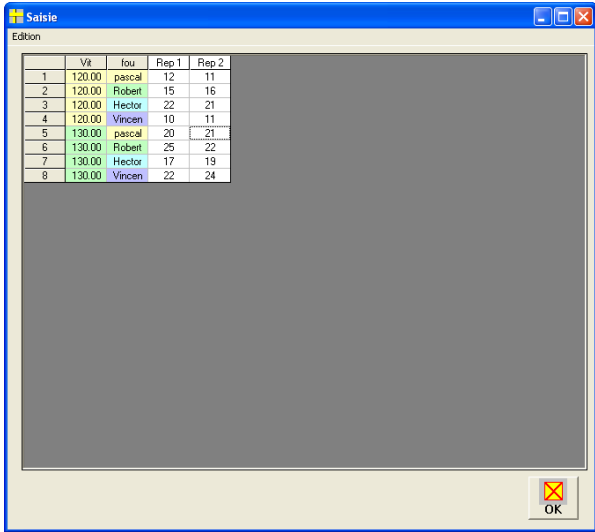
### Plan fractionnaire

Lorsqu'un plan fractionnaire disponible est possible, Ellipse affiche les différentes possibilités de plans (et les risques associés)



## Saisie des résultats

On saisit les résultats en cliquant sur



## Analyse du plan d'expériences

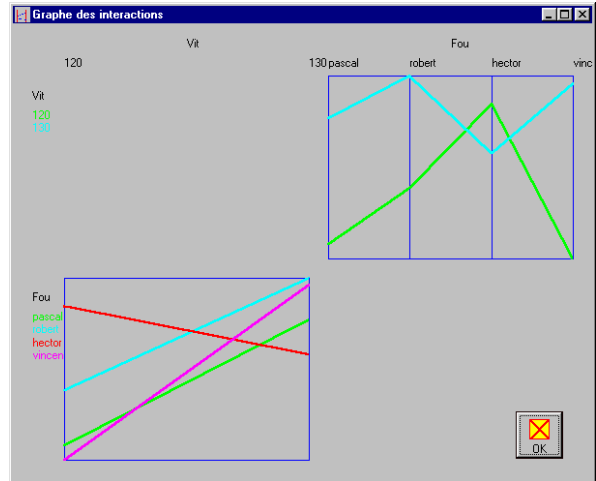
L'analyse du plan d'expériences consiste à étudier les fenêtres suivantes :

### Graphique des effets

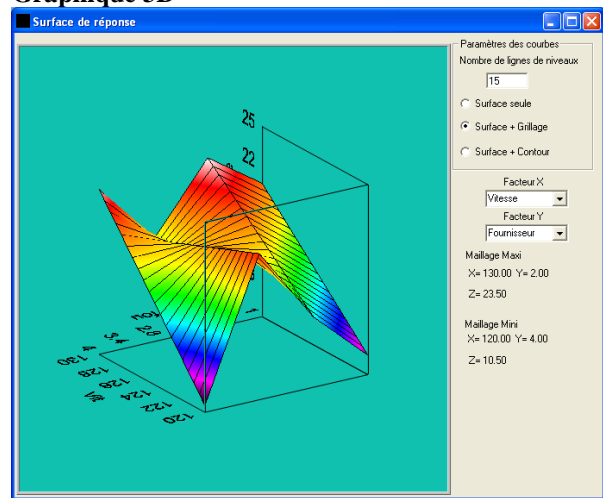


Ce graphique donne l'effet des facteurs étudiés.

## Graphique des interactions



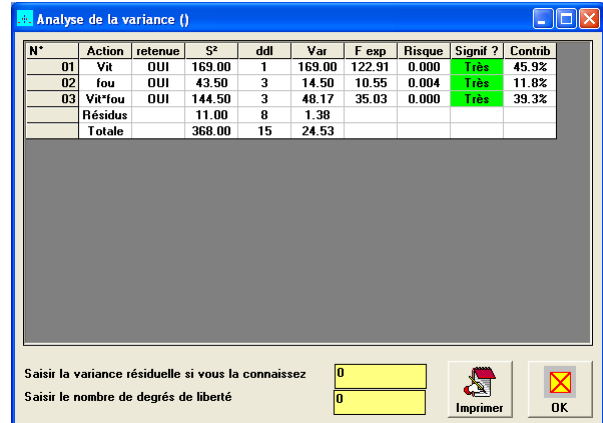
## Graphique 3D



Le graphique 3D permet de mieux comprendre l'effet de 2 facteurs simultanément.

On sélectionne 2 facteurs parmi l'ensemble, et le graphique visualise la surface de réponse sur ces deux facteurs. Il est possible de faire tourner l'image à l'aide de la souris.

## ANAVAR



Une aide à la décision est réalisée en donnant la signification du risque :

Vert : signification < 0.01, le facteur est très significatif

Bleu : Signification  $< 0.05$ , le facteur est significatif

Rouge : Signification  $> 0.05$ , le facteur n'est pas significatif

On peut supprimer les actions non significatives en cliquant dans la colonne "retenue"

### Le tableau des moyennes et des interactions

**Tableau des moyennes des effets**

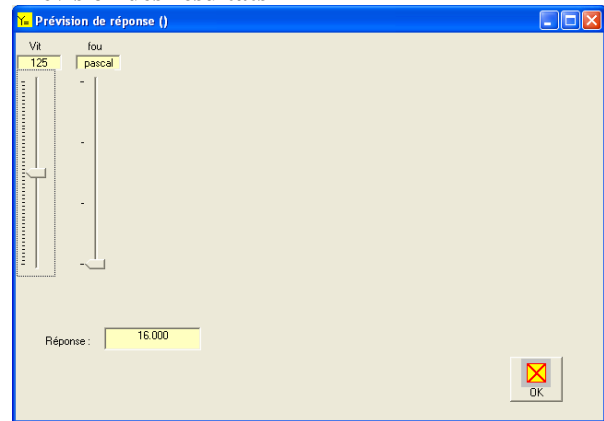
	Vit	fou
N 1	14.75	16.00
N 2	21.25	19.50
N 3		19.75
N 4		16.75

**Tableau des moyennes des interactions**

	Vit 1	Vit 2	fou 1	fou 2	fou 3	fou 4
Vit 1			11.50	15.50	21.50	10.50
Vit 2			20.50	23.50	18.00	23.00
fou 1	11.50	20.50				
fou 2	15.50	23.50				
fou 3	21.50	18.00				
fou 4	10.50	23.00				

### Prévision des résultats



Permet de prévoir le résultat pour une configuration quelconque des facteurs

Pour calculer une réponse prédite, il suffit de placer les curseurs des facteurs sur le niveau retenu, le calcul de la réponse théorique s'affiche dans la case prévision de la réponse.

### Le tableau des résidus

	Vit	fou	Rep 1	Rep 2	Y prédit	résidus	résidus	rés std	rés std
1	1.00	1.00	12	11	11.5	-.5	.5	-.43	.43
2	1.00	2.00	15	16	15.5	.5	-.5	.43	-.43
3	1.00	3.00	22	21	21.5	-.5	.5	-.43	.43
4	1.00	4.00	10	11	10.5	-.5	.5	-.43	.43
5	2.00	1.00	20	21	20.5	.5	-.5	.43	-.43
6	2.00	2.00	25	22	23.5	-1.5	1.5	-1.28	1.28
7	2.00	3.00	17	19	18	1	-1	.85	-.85
8	2.00	4.00	22	24	23	1	-1	.85	-.85

Symbolisation des couleurs

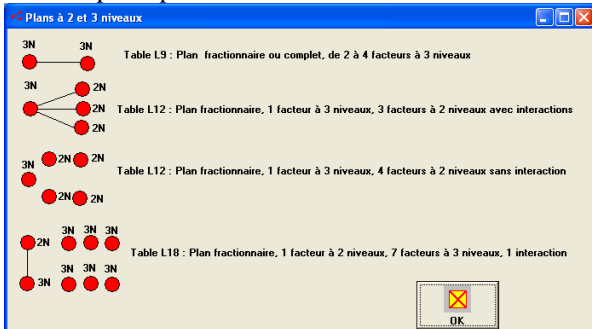
- Résidu faible (inférieur à 2 s) ==> c'est normal
- Résidu élevé (supérieur à 2 s) ==> vérifier cet essai
- Résidus forts ==> c'est probablement une valeur aberrante

La couleur précise l'importance du résidu en variable centrée réduite. En principe, il ne devrait pas y avoir de valeurs en rouge.

## Cas des plans à 2 et 3 niveaux

Ce choix permet de construire les plans d'expériences de moins de 20 essais mélangeant des facteurs à 2 et 3 niveaux.

- Les plans possibles :



- Les niveaux des facteurs

Type	Nom Long	Nom Court (3)	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
QUANT	vitesse	vit	120	130	140
QUANT	Pression	pre	500	600	700
QUAL	fournisseur	Fou	franc	vinc	paul
QUANT	température	Tem	250	260	270

Et de créer le plan d'expériences en cliquant sur



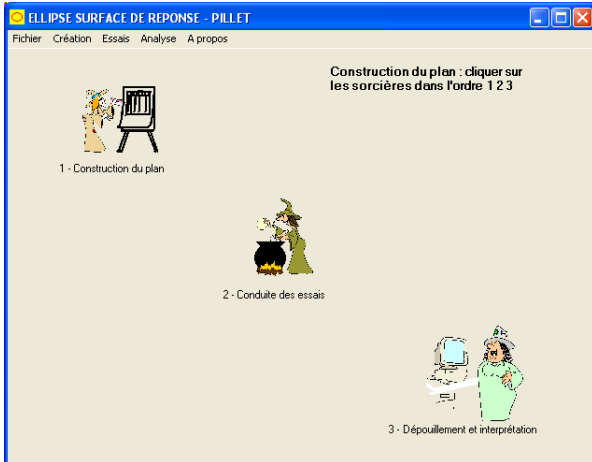
Le traitement est identique au cas des plans complets.

## Plans pour surfaces de réponses

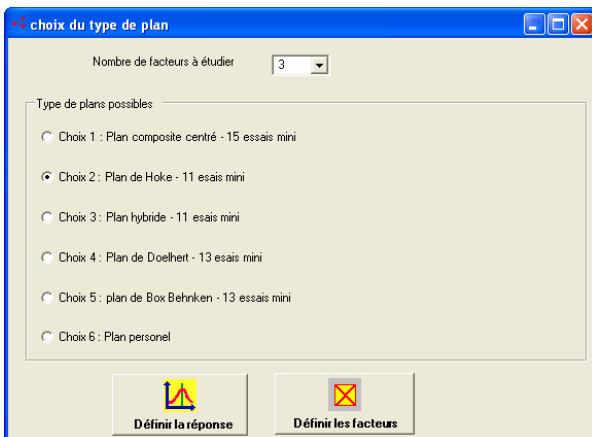
Le troisième type de plan d'expériences que l'on peut traiter avec Ellipse est le type "surface de réponse"

La logique est toujours la même :

4. Construction du plan
5. Saisie des résultats des essais
6. Analyse des résultats
- 7.



### Construction du plan en surface de réponse



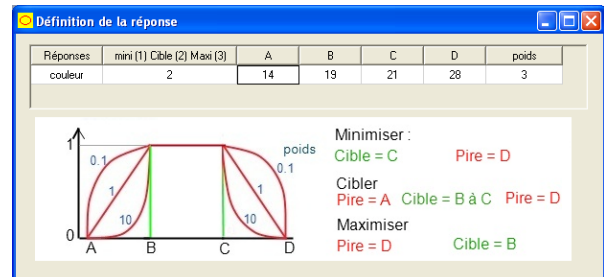
Après avoir choisi le nombre de facteurs à étudier, Ellipse propose un certain nombre de plans qui permettent d'étudier un modèle polynôme quadratique avec interactions. Pour 3 facteurs par exemple Ellipse propose 5 types de plans.

On peut également saisir directement le plan si on veut faire une étude particulière en régression multiple.



En cliquant sur le bouton "Définir Réponse" on ouvre la fenêtre qui permet de définir l'objectif recherché :

1. Minimiser la réponse
2. Viser une cible
3. Maximiser la réponse



Dans l'exemple ci-dessus, on cherche à viser une couleur comprise entre 19 et 21 (la cible). Dans cet intervalle la désirabilité sera de 1. Toute valeur hors de l'intervalle 14 – 28 ne nous intéresse pas la désirabilité sera de 0. Entre 14 et 19 (et 28-21) la désirabilité va progresser selon une fonction au cube (poids de 3).

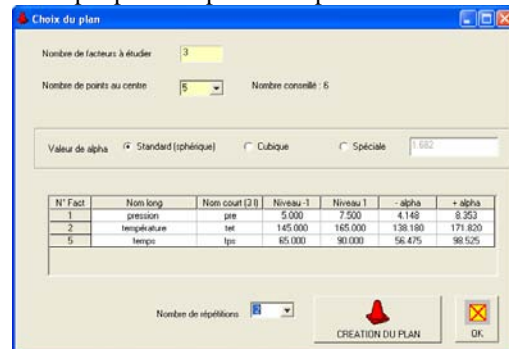
La définition de l'objectif sera utile pour trouver la configuration optimale.

### Saisie des facteurs

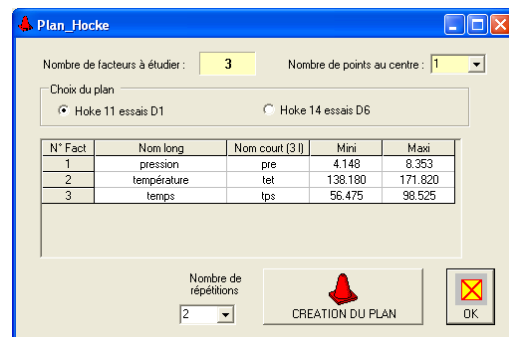
Pour chaque type de plan on doit définir

- Le nom long, le nom court
- Le domaine d'étude ( $\pm 1$  ou  $\pm \alpha$ )
- Le nombre de répétitions
- Le nombre de points au centre
- La valeur de alpha (pour les plans composites centrés)

Exemple pour les plans composites



Et pour le plan de Hocke



On crée le plan d'expériences en cliquant sur



## Saisie des résultats

	pre	tem	tps	Rep 1
1	5	145	65	24
2	7.5	155	77.5	25.5
3	6.25	165	77.5	23
4	6.25	155	90	21.5
5	7.5	165	65	27
6	7.5	145	90	24
7	5	165	90	22
8	7.5	145	65	26.5
9	5	165	65	25
10	5	145	90	21.5
11	6.25	155	77.5	23

Action	Coef réel	Coef red	Sigma	T	Proba p	Signif	éliminer
Cte	-1.846	22.935	0.036	636.132	0.000	Très	cliquer
pre	-9.216	1.117	0.021	53.252	0.000	Très	cliquer
tem	0.662	0.242	0.021	11.522	0.001	Très	cliquer
tps	0.050	-1.387	0.021	-64.765	0.000	Très	cliquer
pre²	0.938	1.466	0.045	32.365	0.000	Très	cliquer
pre*tem	-0.010	-0.131	0.022	-5.964	0.009	Très	cliquer
pre*tps							cliquer
tem²	-0.002	-0.159	0.045	-3.514	0.039	Oui	cliquer
tem*tps	-0.001	-0.131	0.022	-5.964	0.009	Très	cliquer
tps²							cliquer

Paramètre	S	R²	R² Ajusté
Valeur	0.0521	100.0%	99.9%

Le  $r^2$  ajusté donne le pourcentage des variations observées dans le plan d'expériences qui sont expliquées par le modèle. Dans notre exemple 99.9% ce qui est excellent.

## Interprétation

L'interprétation consiste à exploiter les différents écrans d'analyse :

### Analyse de significativité

Action	Coef réel	Coef red	Sigma	T	Proba p	Signif	éliminer
Cte	-4.190	22.947	0.062	371.822	0.002	Très	cliquer
pre	-9.068	1.109	0.037	29.904	0.021	Oui	cliquer
tem	0.660	0.234	0.037	6.300	0.100	Non	cliquer
tps	0.104	-1.391	0.037	-37.535	0.017	Oui	cliquer
pre²	0.941	1.470	0.076	19.472	0.033	Oui	cliquer
pre*tem	-0.011	-0.138	0.038	-3.601	0.172	Non	cliquer
pre*tps	-0.001	-0.013	0.038	-0.343	0.730	Non	cliquer
tem²	-0.002	-0.155	0.076	-2.047	0.289	Non	cliquer
tem*tps	-0.001	-0.138	0.038	-3.601	0.172	Non	cliquer
tps²	0.000	-0.030	0.076	-0.392	0.762	Non	cliquer

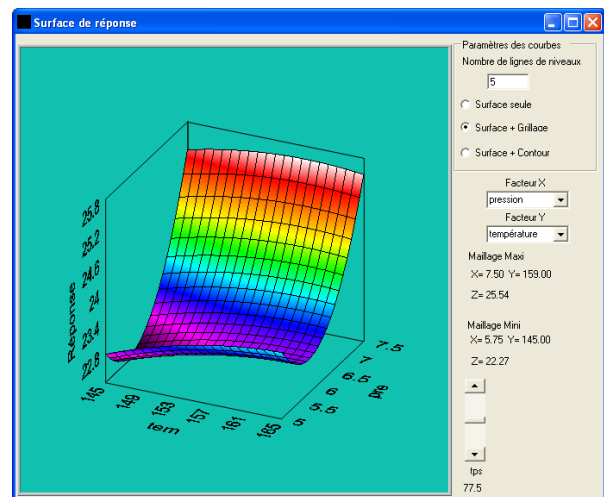
Paramètre	S	R²	R² Ajusté
Valeur	0.0811	100.0%	99.8%

En cas de coefficients non significatifs (en rouge) on peut le supprimer du modèle en cliquant sur le "cliquer" de la ligne à supprimer. L'analyse est alors réinitialisée.

Une bonne pratique consiste à éliminer en premier les facteurs les moins significatifs (ceux qui ont la probabilité p la plus élevée)

On affine ainsi le modèle pour arriver dans notre exemple à :

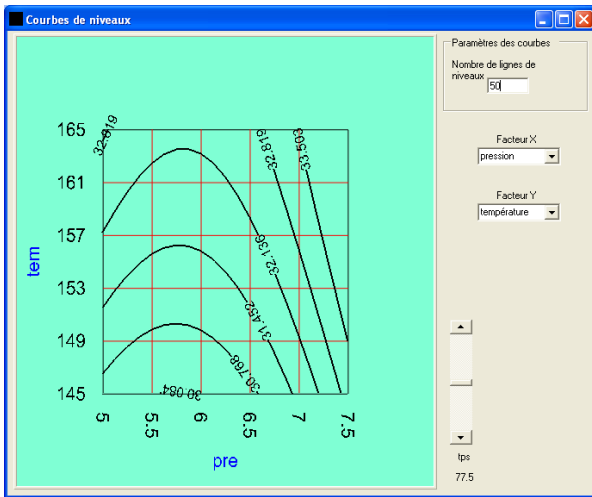
## Visualisation en 3D de la surface



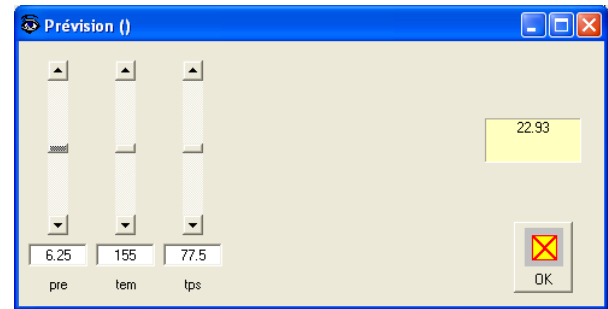
La visualisation 3D permet de comprendre l'influence de deux facteurs sur la réponse. On peut également modifier les autres facteurs en agissant sur les curseurs correspondants.

Cette fenêtre donne les points maxi et mini de la surface de réponse.

On peut également avoir une vision en surface de réponse par les lignes de niveaux



## Prévision d'une réponse



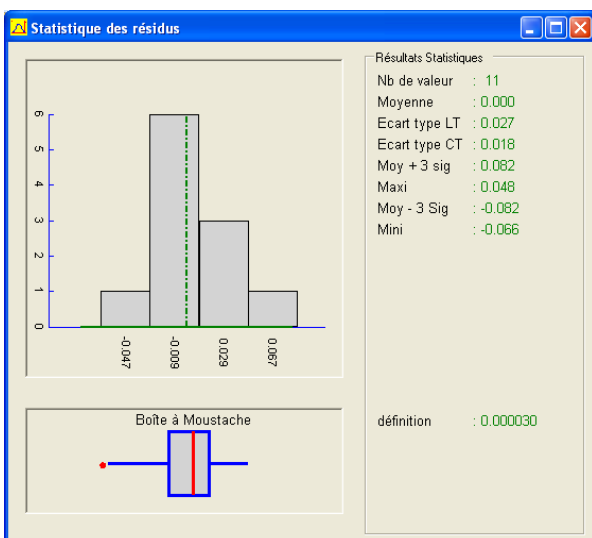
En modifiant la position des curseurs, on peut prévoir une réponse pour une configuration quelconque des facteurs.

## Tableau des résidus

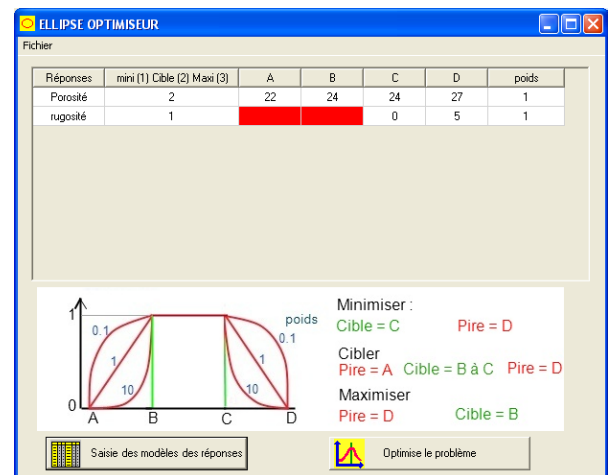
	V	P	D	Rep.1	Rep.2	Rep.3	V préd	résidu	résidu	résidu	rés. std	rés. std
1	-1.00	-1.00	-1.00	67.3	65.7	60.1	64.07	-2.23	-1.53	2.97	0.06	0.06
2	-1.00	1.00	1.00	76.4	80.8	87.1	80.76	5.36	-0.4	6.34	1.15	0.1
3	-1.00	1.00	-1.00	80.7	86.7	72.6	80.71	0.1	-5.99	8.11	0	1.29
4	-1.00	1.00	1.00	91.7	80.4	84.3	87.46	-4.24	-0.4	2.96	0.1	1.2
5	1.00	-1.00	-1.00	55.2	51.3	52.2	52.22	-2.90	-0.2	0.0	0.04	0.2
6	1.00	-1.00	1.00	68.6	73.9	72.2	68.52	-6.8	-4.98	-3.28	1.07	0.1
7	1.00	1.00	-1.00	62.1	58.9	61.9	59.05	-3.05	2.25	-2.85	0.8	0.0
8	1.00	1.00	1.00	68.4	70.8	64.1	68.6	-2.6	-0.5	1.7	0.0	1.08
9	0.00	0.00	0.00	78.8	78.1	86.7	73.42	5.38	-2.68	6.72	1.16	0.88
10	0.00	0.00	0.00	74.5	72.1	73.4	73.42	-1.49	1.32	0.2	0.0	0.8
11	0.00	0.00	0.00	73.2	74.6	72.4	73.42	2.2	-1.10	1.02	0.0	0.2
12	-1.68	0.00	0.00	115.1	102.7	104.6	107.02	-8.08	4.32	2.42	1.74	0.0
13	1.68	0.00	0.00	77.6	76.5	72.9	78.94	1.04	2.34	6.04	0.2	0.5
14	0.00	-1.68	0.00	18.6	22.4	15.6	20.5	1.9	-1.9	4.9	0.4	0.1
15	0.00	1.68	0.00	27.9	43.2	21.3	31.67	3.97	-11.33	10.57	0.5	0.44
16	0.00	0.00	-1.68	84.2	81.1	78.6	81.26	-2.94	-1.6	2.66	0.3	0.2
17	0.00	0.00	1.68	96.3	95.5	102.9	100.97	4.67	5.47	-1.93	1.01	1.18

L'interprétation est la même que dans le cas des plans complets.

## Histogramme des résidus

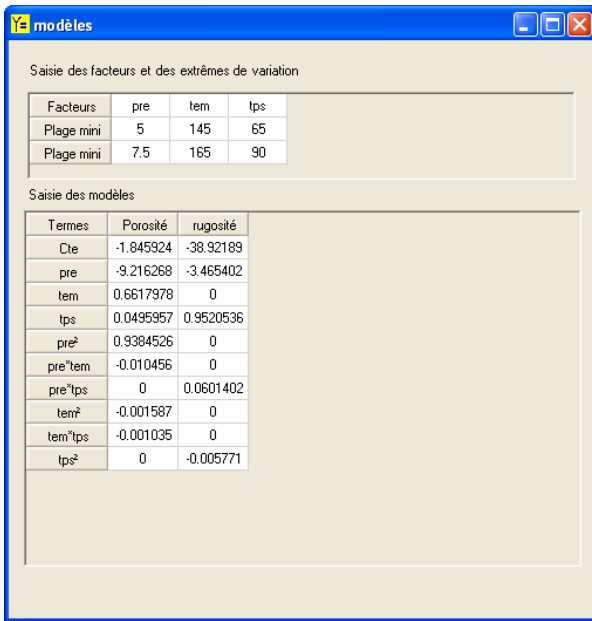


## Optimisation d'une réponse

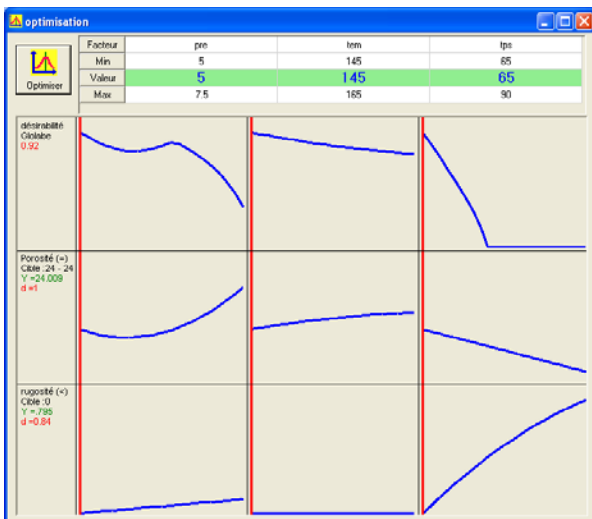


Comme dans le cas des plans à 2 niveau, on peut facilement importer une autre réponse de ce même plan d'expériences et faire de l'optimisation multi-réponse

La fenêtre saisie des modèles des réponses permet de visualiser (éventuellement de modifier ou de saisir) les équations du modèle quadratique



L'optimisation donne pour cet exemple :



La désirabilité globale obtenue est de 0.92 (idéalement 1 si tous les critères sont atteints)

# Mise en oeuvre des plans d'expériences

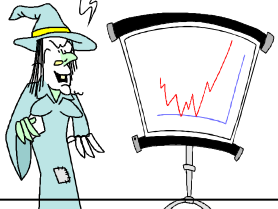
## 1 - Définition des objectifs et des moyens

Définir le problème à résoudre, les objectifs à atteindre.

Se poser les questions :

Qui, Quoi, Où, Comment, Pourquoi?

Fixer un budget



## 5 - Dépouillement et interprétation

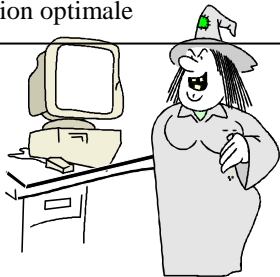
Calculer les coefficients du modèle,

Etablir les graphes des effets,

Faire l'analyse de la variance.

Sélectionner les niveaux des facteurs pour un résultat optimal.

Calculer la réponse théorique pour une configuration optimale



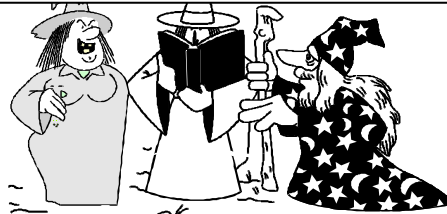
## 2 - Synthèse du "Savoir-faire"

Identifier les réponses et les processus de mesures

Recenser les paramètres pouvant influencer la réponse

Identifier les interactions susceptibles d'être recherchées

Fixer le domaine d'étude pour chacun des facteurs



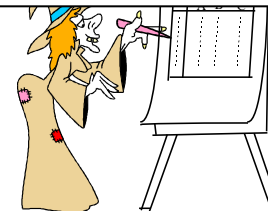
## 3 - Construction du plan

Détermination du choix de la table

Détermination des alias

Détermination du nombre de répétitions

Préparer les essais, une fiche par essai



## 4 - Conduite des essais

Répéter le 1<sup>er</sup> essai pour valider le nombre de répétitions.

Assister aux essais, au moins aux premiers.

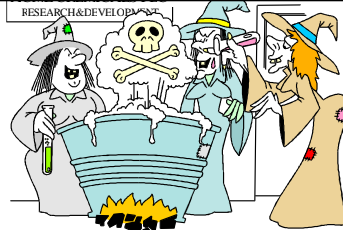
Tenir un cahier d'essais en notant toutes les conditions.



## 6 - Validation des résultats obtenus

Faire un essai de confirmation en dehors des points testés dans le plan d'expériences

En cas d'écart entre la prédiction et les résultats, analyser les causes



## 7 - Mise en oeuvre et suivi

Intégrer les résultats dans le savoir faire de l'entreprise.

Diffuser les résultats pour augmenter le savoir faire, et la compréhension des phénomènes.

Faciliter la connaissance de la méthode des PE pour de nouvelles applications.



© Maurice PILLET - Annecy

## Utilisation des tables à 2 niveaux - Résumé

Nb de facteurs	Table L <sub>4</sub>	Table L <sub>8</sub>	Table L <sub>16</sub>	Table L <sub>12</sub>	Table L <sub>20</sub>
2	**** • Plan complet • Aucun risque				
3	*** • Fractionnaire, résolution III • Facile à désaliasser en passant au plan complet L <sub>8</sub>	**** • Plan complet • Aucun risque			
4		*** Fractionnaire, résolution IV • Utiliser les colonnes 1, 2, 4, 7 ou 1, 3, 5, 7 • Facile à désaliasser en passant au plan complet L <sub>16</sub>	**** • Plan complet • Aucun risque		
5		** • Fractionnaire résolution III	**** • Fractionnaire, résolution V • Utiliser les colonnes 1, 2, 4, 8, 15	*** • Plan fractionnaire • Ne permet pas d'étudier des interactions	
6		• Facile à désaliasser en continuant les colonnes impaires de la table L <sub>16</sub>	*** • Fractionnaire, résolution IV • Utiliser les colonnes impaires	• Choix des colonnes en fonction de la difficulté des modifications des facteurs • idéal pour débroussailler	
7					
8					
9 à 11					
11 à 15			* • Fractionnaire, résolution III	• Les interactions sont diluées	
15 à 19					*** • Plan de même type que la table L <sub>12</sub>

La notation utilisée de quatre étoiles à une étoile est attribué en fonction :

- du risque de confondre un effet avec une interaction de second ordre ;
- de la possibilité de désaliasser tout en restant dans des plans à moins de vingt essais ;
- de l'efficacité du plan (nombre de ddl/nombre d'essais).