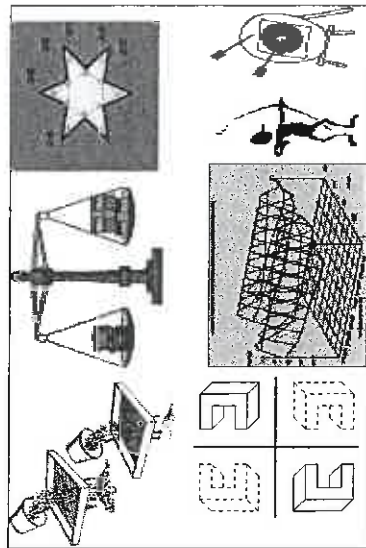


Alexia MONSAVOIR  
06 23 42 24 30

METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE EXPERIMENTALE  
APPLIQUEE A L'AGROALIMENTAIRE

Les questions et les « Entraînez-vous ! »

Et .....en dernière page un guide Excel!!!



MODULE 1 : Plan de criblage H<sub>N</sub>

Construire une matrice expérimentale

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Construire un plan expérimental

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Autres questions :

Quelles dimensions de plans expérimentaux utiliseriez-vous pour tester les effets de :

1. 5 facteurs ? Comment organiseriez-vous les expériences si le facteur X3 ne pouvait être fixé qu'une fois sur le niveau bas puis une fois sur le niveau haut ?
2. 8 facteurs ? Dans quel ordre réaliseriez-vous les expériences si aucune contrainte n'existait ? Combien auriez-vous fait d'expériences si vous ignoriez les plans optimaux ?
3. 9 facteurs ? Quel serait le modèle associé ?

Construire une matrice des effets

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Analyse statistique et interprétation

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Autres questions :

1°) Calculez les valeurs des coefficients si les réponses ci-dessous avaient été obtenues à l'aide d'un plan expérimental construit à partir d'une matrice pour cribler 3 facteurs, inversée avec décalage à gauche.

$$\begin{bmatrix} y1 \\ y2 \\ y3 \\ y4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 25 \\ 31 \\ 34 \\ 28 \end{bmatrix}$$

2°) Quel aurait été l'ordre d'importance des facteurs dans le cas où vous auriez calculé les valeurs des coefficients à partir du plan expérimental construit à l'aide d'une matrice pour cribler 3 facteurs, inversée avec décalage à gauche.

Y1

MODULE 1 : Plan de criblage H <sub>N</sub> .....	2
MODULE 2 : Plan complet 2 <sup>k</sup> .....	4
MODULE 3 : Demi plan complet 2 <sup>k-1</sup> .....	5
MODULE 7 : Plan composite centré .....	8
MODULE 8 : Modélisation .....	11
MODULE 9 : Etude des courbes isoréponse .....	12
MODULE 10 : Méthode du simplexe .....	13
Guide de travail sur Excel .....	15

NOM : .....  
PRENOM : .....

**Entraînez-vous !**

*Penicillium camemberti* joue un rôle important dans la fabrication des fromages à pâte molle et à croûte fleurie. Le but de cette étude est de hiérarchiser dans un premier temps une liste de facteurs pouvant influencer sur son développement pour optimiser ultérieurement les conditions de culture. On sait par ailleurs que l'activité de certaines enzymes de ce mycélium, dont la carboxypeptidase, a un impact sur les qualités organoleptiques des pâtes affinées.

Les conditions de cultures de *Penicillium camemberti* sont :

- un milieu de base de pH initial égal à 4,
- un ensemencement par ajout d'une suspension de spores de  $10^5$  / ml de milieu,
- une supplémentation éventuelle en source d'azote sous forme de tryptocase (10g/l),
- une supplémentation éventuelle en source d'azote sous forme d'extrait de viande (10g/l),
- une supplémentation éventuelle en facteurs de croissance sous forme d'extrait de malt (2g/l),
- une supplémentation éventuelle en oligo-éléments (10ml),
- une supplémentation éventuelle en fer + magnésium (0,01 + 0,5 g/l),
- une source de carbone, le lactose, ayant subi ou non une hydrolyse partielle,
- incubation à 20°C pendant 10 jours à 120 tours / min en agitation normale ou brisée.

1°) Dans cette étude définissez le domaine expérimental en définissant la liste des facteurs étudiés et de leurs niveaux selon l'ordre logique de la présentation (niveau -1 si  $U_j = 0$  ou 1ère modalité fixée à -1).

2°) Définissez la réponse de l'étude et établissez le modèle mathématique associée à cette étude.

3°) Construisez la matrice expérimentale dans le cas normale avec décalage à gauche

4°) Construisez le plan expérimental.

5°) Construisez la matrice des effets. Quel est son rôle ?

6°) Construisez les matrices d'information (X'X) et de dispersion (X'X)<sup>-1</sup>. Que remarquez-vous?

7°) Calculez les estimations des coefficients du modèle en variables codées si les réponses yi obtenues dans l'ordre standard de la matrice expérimentale sont :

N° essai	1	2	3	4	5	6	7	8
Y	19,6	19,68	16,5	12,66	24,86	8,56	20,9	9,08

Quelle est l'interprétation de la valeur numérique de l'effet du facteur X1 ?

Quelle est l'interprétation de la valeur numérique de l'effet du facteur X7 ?

8°) Graphiquement, hiérarchisez les effets des facteurs.

Quel protocole expérimental du domaine étudié proposeriez-vous pour maximiser la réponse ?

**MODULE 2 : Plan complet 2<sup>k</sup>**

**Construire une matrice expérimentale**

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Autre question :

Combien y a-t-il d'effets principaux, d'interactions du 1<sup>er</sup> ordre, du 2<sup>ème</sup> ordre...etc. dans un modèle associé à la mise en place d'un plan complet à 4 facteurs ?

**Construire un plan expérimental**

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Autres questions :

Quel serait l'ordre des essais du plan expérimental associé à un modèle synergique d'une étude à 4 facteurs dont :

	Facteurs	Niveau bas (-1)	Niveau haut (+1)
U1	Température °C	50	100
U2	Concentration d'une substance en g/l	30	40
U3	pH de la substance	1	3
U4	Additif en µg/l	0	10

Si :

a) aucune contrainte sur les facteurs n'existait ?

b) si le facteur température, difficile à stabiliser, devait être d'abord fixé sur le niveau bas puis sur le niveau haut ?

**Construire une matrice des effets**

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Autres questions :

1°) Donnez le modèle synergique d'une étude à 3 facteurs.

2°) Détaillez la nature des coefficients d'un modèle complet à 5 facteurs.

**Analyse statistique et interprétation**

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Autres questions :

Soit un plan complet doublé (pour calculer une estimation de la variance aléatoire) facteurs, les réponses obtenues dans l'ordre logique sont :

1°) calculer les coefficients du modèle.

2°) analyser et interpréter les résultats pour minimiser la réponse.

essai	y1	y2
1	10,00	10,50
2	8,00	8,30
3	0,00	0,00
4	12,90	14,40
5	14,50	13,00
6	11,10	12,60
7	0,00	0,00
8	17,90	18,80

à 3

**Entraînez-vous !**

On va étudier l'influence de 3 facteurs U1 (température), U2 (composition d'un des réactifs), U3 (pression) sur le rendement d'une réaction (Y en %). Il s'agit donc d'une étude à 3 facteurs à laquelle on associe un modèle synergique.  
 Pour disposer d'une estimation de la variance aléatoire, l'essai N°1 sera réalisé 3 fois.

Variable	Nom	niveau bas (-)	niveau haut (+)
U1	température (°C)	50	100
U2	concentration (g/l)	20	30
U3	pression (bar)	1.5	1

- 1°) Ecrivez l'équation du modèle synergique
- 2°) Construisez la matrice expérimentale
- 3°) Construisez le plan expérimental
- 4°) Construisez la matrice des effets, calculez (X'X)<sup>-1</sup>.
- 5°) Calculez les coefficients du modèle si la matrice des réponses est selon l'ordre logique des expériences :

Y	8	5	11	11	7	19	10	26
---	---	---	----	----	---	----	----	----

en sachant que les 2 autres résultats de l'essai N° 1 furent : 10 et 9

- 6°) Analyse statistique.
- 7°) Représentez et interprétez les croix d'interactions si elles existent

**MODULE 3 : Demi plan complet 2 k-1**

**Construire une matrice expérimentale**

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Autres questions:

- 1°) Soit une étude à 5 facteurs :
- 1°) quelle serait la dimension de la matrice expérimentale associée à un demi plan complet de l'étude de 5 facteurs?
- 2°) proposer une matrice expérimentale associée à un demi plan complet de l'étude de 5 facteurs;
- 3°) n'y a-t-il qu'une solution dans le 2°)?

**Construire un plan expérimental**

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Autres questions:

- 1°) Quelle serait la dimension d'un plan expérimental type demi plan complet associé à l'étude de 2 facteurs ?
- 2°) Quelle serait la dimension d'un plan expérimental type demi plan complet associé à l'étude de 3 facteurs ?
- 3°) Quelle serait la dimension d'un plan expérimental type demi plan complet associé à l'étude de 4 facteurs ?
- 4°) Quelle serait la dimension d'un plan expérimental type demi plan complet associé à l'étude de 5 facteurs ?
- 5°) Quelle serait la dimension d'un plan expérimental type demi plan complet associé à l'étude de 6 facteurs ?

**Construire une matrice des effets**

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Autres questions:

- 1°) Soit une étude à 4 facteurs dans laquelle nous sommes intéressés par l'étude des effets principaux et de 3 interactions plausibles selon le modèle :

$$\hat{y} = \beta_0 + \sum \beta_j X_j + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{34} X_3 X_4 + \beta_{24} X_2 X_4$$

Quelle matrice des effets proposeriez-vous ?

- 2°) Soit une étude à 5 facteurs dont on cherche les 16 coefficients du modèle :

$$\hat{y} = \beta_0 + \sum \beta_j X_j + \sum \beta_{ij} X_i X_j$$

Dresser le tableau des alias en ne conservant que les effets principaux et les interactions de 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> ordre.

**Analyse statistique et interprétation**

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Autre question

On veut étudier les effets des facteurs température (U1 = T en °C), vitesse d'agitation (U2 = V en tours/min), concentration d'une enzyme (U3 = E en µg/ml) et concentration d'un substrat (U4 = S en g/l) sur le rendement d'une réaction enzymatique (Y) en ne retenant que les effets principaux et l'interaction du premier ordre 1.4 :

	U1	U2	U3	U4
Niveau bas (-)	18	50	15	1
Niveau haut (+)	40	100	30	5

Pour cela on utilise la matrice expérimentale suivante et les résultats ont été :

N°	X1	X2	X3	X4	Y
1	-1	-1	-1	-1	48
2	+1	-1	-1	+1	95
3	-1	+1	-1	+1	16
4	+1	+1	-1	-1	6
5	-1	-1	+1	+1	80
6	+1	-1	+1	-1	74
7	-1	+1	+1	-1	40
8	+1	+1	+1	+1	71

Interpréter et analyser statistiquement les résultats. On supposera pour cela que le modèle structurel et prévisionnel est valide, c'est à dire que l'on peut utiliser les colonnes non attribuées pour estimer CMe.

**Entraînez-vous !**

La commission interprofessionnelle des vins d'une région constate que leurs vins sont de mieux en mieux vinifiés mais aussi que la conservation en vrac provoque fréquemment une dégradation anormale du produit en ce qui concerne leur caractère aromatique.

Un groupe de travail décide de mettre en place une étude ayant pour objectif de tester l'influence de différents facteurs sur la qualité de ce vin pendant sa période de conservation.

L'étude devra porter sur 2 dates de mise en bouteilles correspondant à 2 durées de conservation (2 mois ou 6 mois).

- Les autres facteurs étudiés étant :
- la température de conservation (10°C ou 20°C),
  - la dose d'anhydride sulfureux ajoutée en fin de FML (1 g/hl ou 3 g/hl),
  - la teneur en dioxyde de carbone ajoutée en fin de FML (500 mg/l ou 1500 mg/l),
  - le type de clarification du vin en fin de fermentation malolactique (FML) (soutirage simple (-1) ou filtration sur terre (+1)).
- Les essais seront réalisés sur un vin vinifié en grande masse et qui, après FML, serait réparti dans des bonbonnes de verre de 30 litres, donc fragiles aux nombreuses manipulations, pour simuler une conservation en vrac. Le nombre total d'expériences devant être inférieur à 35 du fait du nombre limité de bonbonnes disponibles. Les réponses traitées doivent permettre d'apprécier la qualité du vin et donc 2 catégories sont retenues : des résultats d'analyses physico-chimiques et des résultats d'analyse sensorielle.

- 1°) Etablissez la liste des facteurs étudiés en variables codées et naturelles.
- 2°) Proposer la matrice expérimentale la plus adaptée aux contraintes de l'étude.

Les auteurs ont réalisé le plan expérimental doublé suivant :

N°	U1	U2	U3	U4	U5
1	2 mois	10°C	1g/hl	500 mg/l	filtration
2	6 mois	10°C	1g/hl	500 mg/l	soutirage
3	2 mois	20°C	1g/hl	500 mg/l	soutirage
4	6 mois	20°C	1g/hl	500 mg/l	filtration
5	2 mois	10°C	2g/hl	500 mg/l	soutirage
6	6 mois	10°C	2g/hl	500 mg/l	filtration
7	2 mois	20°C	2g/hl	500 mg/l	filtration
8	6 mois	20°C	2g/hl	500 mg/l	soutirage
9	2 mois	10°C	1g/hl	1500 mg/l	soutirage
10	6 mois	10°C	1g/hl	1500 mg/l	filtration
11	2 mois	20°C	1g/hl	1500 mg/l	filtration
12	6 mois	20°C	1g/hl	1500 mg/l	soutirage
13	2 mois	10°C	2g/hl	1500 mg/l	filtration
14	6 mois	10°C	2g/hl	1500 mg/l	soutirage
15	2 mois	20°C	2g/hl	1500 mg/l	soutirage
16	6 mois	20°C	2g/hl	1500 mg/l	filtration

- 3°) A quelle matrice expérimentale ce plan correspond-t-il ?
- 4°) Donner le(s) générateur(s) d'alias et le tableau des alias.
- 5°) Quel modèle mathématique les auteurs ont-ils retenu ?
- 6°) Construisez la matrice des effets.
- 7°) Calculer les coefficients du modèle si les résultats obtenus ont été :

N°	Y1	Y2
1	2.87	2.6
2	2.80	2.3
3	2.75	2.5
4	2.93	1.6
5	2.70	2.7
6	2.80	2.7
7	2.80	2.8
8	2.95	2
9	2.78	2.7
10	2.79	3.1
11	2.80	2.1
12	3.05	1.9
13	2.81	2.8
14	2.75	2.6
15	2.70	2.6
16	2.92	2.1

Y1 représente l'acidité totale, note que l'on cherche à minimiser  
 Y2 représente la qualité d'ensemble en bouche, note que l'on cherche à maximiser.

8°) Analyser statistiquement les résultats\*(analyse de la variance et tests t), on supposera que CMe est estimé à partir du plan doublé suivant la méthode exposée dans le § 17 du photocopié des connaissances théoriques.  
 9°) Conclusions de l'étude.

(\*réalisez l'analyse d'une seule des 2 réponses, vous pourrez utiliser directement les résultats corrigés de l'autre réponse pour réaliser les conclusions de l'étude).

**MODULE 7 : Plan composite centré**

**Construire une matrice expérimentale**

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Autre question

Complétez le tableau suivant :

k	2	3	3	4	4	5	5	5
N <sub>k</sub>	4	8	4	16	8	32	16	8
N <sub>0</sub>								
N <sub>0</sub>	4	4	4	4	4	4	4	4
α								
N								

### Construire un plan expérimental

Question

Soit une étude utilisant un plan composite centré avec  $N_f = 8$ , complétez le tableau suivant (utilisez alpha au 1/1000<sup>ème</sup>)

niveau	U1 (°C)	U2 (mn)	U3 (vitesse)
-α		5	1
-1	220		
0	200		3
+1			
+α		15	

### Construire une matrice des effets

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Autres questions:

1°) Quelle serait la dimension de la matrice des effets associée au modèle :

$$\hat{y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 \text{ avec } N_0 = 4$$

2°) Quelle serait la dimension de la matrice des effets associée au modèle :

$$\hat{y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3$$

Avec  $N_0 = 3$

### Analyse statistique et interprétation

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Autre question

A partir de la matrice des effets associée au modèle :

$$\hat{y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3$$

Calculez les coefficients et analysez-les statistiquement si les réponses sont :

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Y	62	78	71	70	64	81	70	80	69	80	81	95	50	53	50	51	52	

Vous utiliserez la même méthode que dans l'exemple, à savoir que le CMe = fluctuations liées aux répétitions des points au centre.

### Entraînez-vous !

Exemple tiré de l'article : « Optimisation des conditions de confisage - friture de tranches d'ananas par la méthodologie des plans d'expériences » Biraïm AW et coll., Sciences des aliments, 18 (1998) 313 - 322.

Devant le succès des chips de fruits (surtout la banane) une étude a été lancée afin de mettre au point un produit déshydraté de grignotage à partir de tranches d'ananas. Les facteurs susceptibles d'avoir une influence sur la qualité du produit sont nombreux : température et durée de friture, épaisseur des tranches d'ananas, rapport masse fruit/masse huile, rapport puissance de chauffe / masse huile, nature de l'huile, variété d'ananas, stade de maturité, pré traitement avant friture....Etc.

Finalement, après quelques essais préliminaires de sélection, seulement 2 facteurs furent retenus :

- U1 : la température de friture (TF).

- U2 : la durée de friture (DF).

Les critères de qualité des chips retenus furent leur teneur en matière sèche (MS), leur teneur en matière grasse (MG) à maximiser. Les auteurs postulent pour le modèle :

$$\hat{y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2$$

Les auteurs présentent les résultats suivants :

Plan d'expérimentation et réponses

N°	température		durée	s	MG	MS
	°C	°C				
1	143.00	143.00	129.00	129.00	64.10	947.80
2	157.00	143.00	129.00	129.00	128.30	952.50
3	143.00	143.00	171.00	171.00	112.10	959.80
4	157.00	143.00	171.00	171.00	129.00	980.00
5	140.10	140.10	150.00	150.00	70.80	942.90
6	159.90	159.90	150.00	150.00	128.50	983.50
7	150.00	150.00	120.30	120.30	69.80	948.70
8	150.00	150.00	179.70	179.70	113.30	960.50
9	150.00	150.00	150.00	150.00	80.40	956.00
10	150.00	150.00	150.00	150.00	79.40	957.00
11	150.00	150.00	150.00	150.00	78.90	958.30
12	150.00	150.00	150.00	150.00	81.10	953.90
13	150.00	150.00	150.00	150.00	79.70	956.20

On donne :

Matrice de dispersion

0.2000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.1000	-0.1000	0.0000
0.0000	0.1250	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.1250	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
-0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1438	0.0187	0.0000
-0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0187	0.1438	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2500

Analyser cette étude (vous pouvez ne traiter qu'une réponse sur les 2 si vous avez compris la méthode de calcul). Vous utiliserez la même méthode que dans l'exemple, à savoir que le CMe = fluctuations liées aux répétitions.

## MODULE 8 : Modélisation

### Modèle de degré 1

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Autres questions:

On donne :

X1	X2	Y
-1	-1	42
+1	-1	60
-1	+1	70
+1	+1	90
0	0	67
0	0	66

- 1°) Validez ce modèle :  $\hat{y} = 65.83 + 9.5X_1 + 14.5X_2$
- 2°) A l'aide d'Excel représentez les courbes iso réponses.

### Modèle de degré 2

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

Autre question

Réaliser les analyses de variances et les courbes iso réponses des réponses Y3 (TX : texture à maximiser) et Y4 (CO : couleur à minimiser). Cette étude est la même que l'exercice "entraînez-vous" du module 7 sur les plans composites centrés (plans en étoile). Interprétez les résultats et graphes.

Plan d'expérimentation et réponses

N°	température		durée	TX	CO
	°C	s			
1	143.00	129.00	0.88	92.20	
2	157.00	129.00	1.11	91.60	
3	143.00	171.00	1.18	91.30	
4	157.00	171.00	3.17	84.70	
5	140.10	150.00	0.96	91.60	
6	159.90	150.00	3.40	84.40	
7	150.00	120.30	0.94	91.80	
8	150.00	179.70	1.72	90.30	
9	150.00	150.00	1.12	91.80	
10	150.00	150.00	1.14	90.50	
11	150.00	150.00	1.86	90.70	
12	150.00	150.00	1.18	90.50	
13	150.00	150.00	1.20	91.00	

## MODULE 9 : Etude des courbes isoréponse

### Principe de la méthode

Question

Soit le modèle quadratique:  $\hat{y} = 73 - 8.2X_1 + 7.8X_2 - 3.8X_1X_2 + 4.9X_1^2 + 4.4X_2^2$

Déterminer à l'aide du tracé des iso réponses des valeurs de X1 et X2 pour obtenir une réponse telle que :  $100 < Y < 110$ .

### Les calculs de la direction

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

### Entraînez-vous !

Des auteurs sont en présence d'une étude à 2 facteurs U1 (température en °C) et U2 (temps en seconde) et ils cherchent à optimiser 2 réponses Y1 (rendement d'une réaction) et Y2 (économies réalisées sur le protocole technique).

L'étude d'un plan complet doublé a donné les résultats suivants :

Coefficients des variables codées	b0	b1	b2	b12
Y1	50	2	5	0.1
significativité		**	***	NS
Y2	50	-2	5	-0.05
significativité		**	***	NS

Les auteurs ne sont pas satisfaits des optimum atteint et ils veulent poursuivre leur étude. Leur choix du domaine était :

pas ΔU1	4
pas ΔU2	80
centre pour U1	180
centre pour U2	240

Une contrainte existe sur U1, le réglage de la température n'est réaliste que s'il porte sur des variations de 2°C.

- 1°) Déterminer à l'aide des courbes iso réponses les conditions expérimentales sur U1 et U2 qui maximisent les 2 réponses à la fois. Ces conditions serviront de point de départ pour les questions suivantes :
- 2°) quelle expérience proposeriez-vous pour maximiser Y1 seulement ?
- 3°) quelle expérience proposeriez-vous pour maximiser Y2 seulement ?
- 4°) quelle expérience proposeriez-vous pour maximiser Y1 et Y2 conjointement ?

## MODULE 10 : Méthode du simplexe

### Simplexe de départ

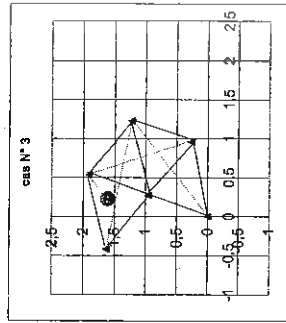
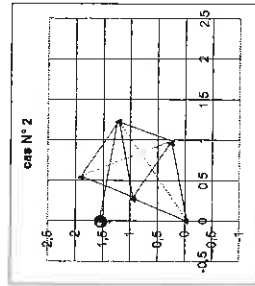
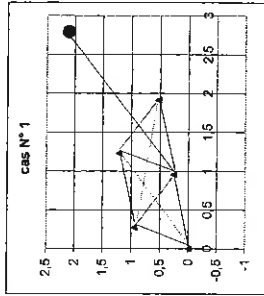
Rendez-vous à l'auto évaluation !!

### Calcul des coordonnées de l'image d'un point

Rendez-vous à l'auto évaluation !!

### Autre question

Dans chacun des cas dessinés ci-dessous donnez les conditions expérimentales en variables codées de la dernière expérience représentée par un rond. L'étude comporte 2 facteurs.



### Entraînez-vous !

Imaginez une étude ayant pour objectif d'optimiser l'apparence de tranches lyophilisées de champignons de Paris. On décide d'évaluer l'apparence visuellement par comparaison à des champignons frais selon 4 niveaux :

- Note 0 : lyophilisation insuffisante
- Note 1 : apparence correcte (objectif à atteindre)
- Note 2 : apparence un peu flétrie
- Note 3 : apparence flétrie (effondrement)

L'optimisation de la lyophilisation des champignons est réalisée selon un simplexe à réflexion normale de type 1.

Deux facteurs quantitatifs sont retenus :

U1 : la pression totale

U2 : la température de chauffage

Le domaine s'étend respectivement de 10 à 300 Pa et de 20 à 90°C pour tenir compte de la réalité de la pratique industrielle. De plus, le pas de variation de chaque facteur est respectivement de 50 Pa et de 10°C. Le temps de lyophilisation est fixé à 30 heures pour des tranches de 3mm d'épaisseur.

La réponse Y correspondra à la moyenne de la note mise par 15 membres du jury.

Vous devez :

- compléter la matrice expérimentale ci-après,
- représenter graphiquement la méthode d'optimisation jusqu'à l'essai N°9.

Nom du simplexe	N° essai	X1	X2	Y
	1			2
	2			2,6
	3			2,25
123	2* = 4			1,65
.....	... = 5			1,39
.....	... = 6			1,04
.....	... = 7			0,79
.....	... = 8			0,44
.....	... = 9			

- donner les conditions expérimentales en variables naturelles qui permettent d'approcher l'objectif fixé :

## Guide de travail sur Excel

- A - Comment nommer une cellule ou une plage de cellules ?
- B - Comment réaliser les calculs algébriques des coefficients  $b_j$  ?
- C - Comment réaliser les calculs matriciels pour la détermination de  $B = (X'X)^{-1} X'Y$  ?
- D - Comment déterminer la liste des Y estimés ?
- E - Comment calculer une SCE ?
- F - Comment calculer la matrice VarB ?
- G - Comment calculer une p-value ?
- H - Découvrez un traitement complet en quelques clics !

**A - Comment nommer une cellule ou une plage de cellules ?**  
Sélectionner la (les) cellule(s) à nommer sans leur libellé.

Formule	Définir un nom	Définir	Tapez le nom	OK
---------	----------------	---------	--------------	----

**B - Comment réaliser les calculs algébriques des coefficients  $b_j$  ?**

Nommer la matrice des réponses : maty (sans le libellé).

Placez-vous dans la cellule au bas de la colonne  $X_j$ .

Formule	Insérer une fonction	Math & Trigo	SOMMEPROD	OK
---------	----------------------	--------------	-----------	----

Matrice 1: maty

Matrice 2 : sélectionnez la colonne des  $X_j$

OK

Dans la barre de formule ajoutez « / N » (N devant être une donnée numérique).  
Validez.

Étendez cette formule à toutes les colonnes  $X_j$ .

**C - Comment réaliser les calculs matriciels pour la détermination de  $B = (X'X)^{-1} X'Y$  ?**

Matrice X à saisir (avec sa colonne de +1) et la nommer : matx.

Matrice Y à saisir et la nommer : maty.

1°) Préparer la plage d'accueil de la matrice  $X'$  transposée de X, les dimensions doivent être exactes.

Formule	Insérer une fonction	Recherche et Matrice	Transpose	OK
---------	----------------------	----------------------	-----------	----

Tableau : matx	CTRL - Shift - ENTRÉE
----------------	-----------------------

Nommer  $X'$  : tmatx

2°) Préparer la plage d'accueil du produit  $X'X$  à la dimension exacte.

Formule	Insérer une fonction	Math & Trigo	Produitmat	OK
---------	----------------------	--------------	------------	----

Mat 1 = tmatx Mat 2 = matx	CTRL - Shift - ENTRÉE
-------------------------------	-----------------------

Nommer  $X'X$  : prod

3°) Préparer la plage d'accueil de l'inverse du produit  $X'X$  à la dimension exacte.

Formule	Insérer une fonction	Math & Trigo	Inversemat	OK
Matrice = prod		CTRL - Shift - ENTRÉE		

Nommer  $(X'X)^{-1}$  : inv

4°) Réaliser le produit matriciel  $X'Y$  et le nommer : tmatxy

5°) Réaliser le produit matriciel  $(X'X)^{-1} X'Y$  et le nommer : matB

**D - Comment déterminer la liste des Y estimés ?**

Préparer la plage d'accueil de la liste des Y estimés à la dimension exacte de préférence à côté de la matrice des Y.

Formule	Insérer une fonction	Statistique	Tendance	OK
---------	----------------------	-------------	----------	----

Y connus = maty

X connus = matx

X nouveaux = (ne rien mettre s'il n'y en a pas)

Constante = faux

CTRL - Shift - ENTRÉE

Remarque ! La constante est précisée « faux » car dans la matrice X vous avez déjà inséré une colonne de +1 pour son calcul.

Nommer la matrice des Y estimés : Yest

Vous pouvez établir la matrice des résidus à côté de celle des Y estimés en réalisant simplement la soustraction  $(Y_i - Y_i \text{ estimé})$  pour 1 ligne puis étirer sur les N lignes.



### E - Comment calculer une SCE ?

Sélectionner une cellule vide sous la liste des valeurs dont vous voulez la SCE.

Formule	Inserer une fonction	statistiques	somme carrés écarts	OK
---------	----------------------	--------------	---------------------	----

Nombre 1 :	sélectionner la plage des valeurs	OK
------------	-----------------------------------	----

### F - Comment calculer la matrice VarB ?

Nommer la cellule contenant la valeur de CMe (variance résiduelle)  
Placez-vous dans une cellule vide et effectuez le produit de CMe par la première valeur de la matrice  $(XX)^{-1}$ . Etirez le calcul à la dimension de la matrice  $(XX)^{-1}$ . Dans la diagonale se trouvent les variances des coefficients. Prenez-en les racines pour avoir les écarts-type.

### G - Comment calculer une p-value ?

Sélectionner une cellule vide voisine de la statistique calculée dont vous voulez la p-value.

Formule	Inserer une fonction	statistiques	loi Student	OK
---------	----------------------	--------------	-------------	----

X : sélectionner le critère calculé	OK
Degré de liberté : sélectionner le ddl	
Uni/bilatéral : 2	

Formule	Inserer une fonction	statistiques	loi F	OK
---------	----------------------	--------------	-------	----

X : sélectionner le critère calculé	OK
Degré de liberté 1 : sélectionner le ddl	
Degré de liberté 2 : sélectionner le ddl	

### H - Découvrez un traitement complet en quelques clics !

Données	utilitaire d'analyse	régression linéaire	OK
---------	----------------------	---------------------	----

Plage pour Y = sélectionner la colonne des Y + libellé	OK
Plage pour X = sélectionner les colonnes de X avec les libellés sans la colonne de +1	
Cochez : intitulé présent	
Cochez : plage de sortie et sélectionnez une cellule vide	
Cochez : résidus	
Cochez : résidus normalisés	

