

II. PRESENTATION DE L' : :

1. Origine et taxonomie de la fève

La plupart des formes primitives de la fève ont été trouvées dans la région d'Afghanistan et au Nord De l'Inde, ce qui suggère que cette espèce a pris naissance dans le sub-continent indien. Selon Shultze Motel (1972), la fève était déjà cultivée pendant la période Néolithique.

La fève (*Vicia faba* L), est une espèce diploïde ($2n=12$) qui appartient à la famille des fabaceae, sous famille des Faboideae, tribu des Fabeae, (figure 4)

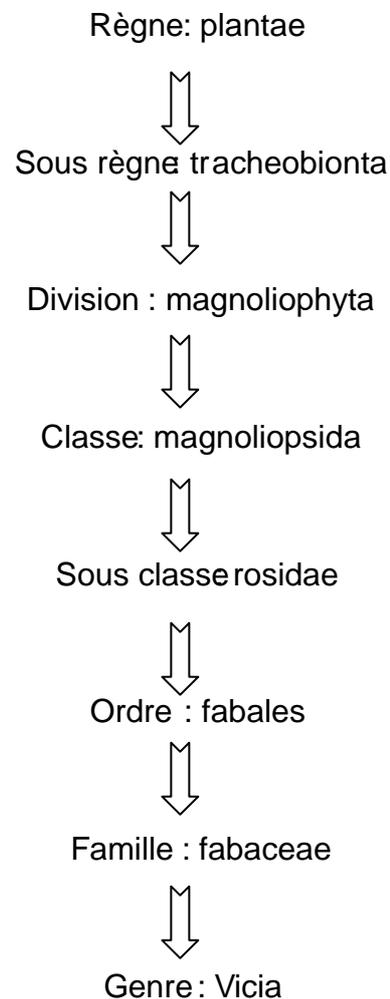


Figure 4 : Classification classique de *Vicia faba* L.

produisent des gousses: 10 % selon Bond et Poulsen (1983) et 15 à 25% d'après Girard (1983), les autres avortent. Généralement, la carène et l'étendard sont colorés. L'absence de coloration est un indicateur de la présence des tannins dans les téguments de la graine chez cette espèce (Singh et Tomer, 1988). En effet, l'absence de la pigmentation des fleurs signifie que les graines ne contiennent pas de tannins.

La gousse de la fève est charnue de longueur variable (4,5 à 16 cm). Elle est érigée pour la féverole et pendante ou horizontale pour la fève, avec deux à huit graines par gousse. La croissance de la plante est naturellement indéterminée. Toutefois, des types de fève à croissance déterminée ont été obtenus par mutagenèse provoquée (Sjodin, 1971). Le système racinaire est pivotant à racines très nombreuses, il porte d'abondantes nodosités blanchâtres (Girard, 1983, Mesquida et al, 1990).

3. Système de reproduction :

La fève (*Vicia faba* L.) est une espèce possédant un système de reproduction partiellement allogame. En d'autres termes, le mode de reproduction de la fève est intermédiaire entre l'autogamie et l'allogamie.

L'allogamie est réalisée par les insectes pollinisateurs à savoir les abeilles et les bourdons. Ces insectes interviennent principalement comme vecteurs de pollen entre fleurs de la même plante ou entre fleurs de plantes différentes, En fonction du génotype, la structure de la fleur peut varier légèrement, déterminant une séparation plus ou moins importante entre le stigmate et les étamines. Dans certains cas, cette séparation constitue une barrière à l'auto-fertilité. Dans d'autres cas, elle est infime ou inexistante. Dans ce cas, la fleur est alors auto-fertile et peut être pollinisée sans déclenchement entomophile (Bond et Poulsen, 1983, Mesquida et al, 1990).

L'intervalle de variation du taux d'allogamie varie de 4 à 84 %, selon les auteurs. La valeur moyenne de l'allogamie a été estimée entre 30 à 60 % (Bond et Poulsen, 1983; Link et al, 1994a; Link et al, 1994b). Récemment, ce taux d'allogamie a été évalué autour d'une moyenne de 50 % (Suso et al, 1996; Suso et Moreno, 1999). Plusieurs facteurs affectent l'allogamie chez *V faba* L.: le génotype, l'environnement, la température, l'humidité, etc. (Link et al, 1994; Link et al, 1994a). Le taux d'allogamie dépend en grande partie de l'interaction

Khemissat et Rommani où la destruction totale de champs infestés a été observée (Janati, 1976). Devant cette situation, les agriculteurs se trouvent contraints à utiliser des produits phytosanitaires (Hadaoui, 1988).

2.2. Lutte contre l'infestation

Le seul moyen de lutte disponible actuellement pour limiter les dégâts dus à l'infestation est l'utilisation de produits phytosanitaires (Schmith et al, 1978). Sur la base des travaux de Schmith et al (1978), il a été constaté que l'application d'un produit phytosanitaire 14 jours plus tard.

3. Propagation des ravageurs, maladies et insectes :

3.1. Les maladies cryptogamiques

Les principales maladies présentes au Maroc sont :

9 Les tâches chocolat (*Botrytis fabae*) : cette maladie cause des tâches de couleur rouge-brun sur les feuilles, les tiges et les gousses. Ces tâches peuvent provoquer une défoliation de la plante et même sa mort. De plus, les effets sur le rendement sont importants (Gaunt, 1983). Des traitements chimiques sont nécessaires à la floraison si des symptômes apparaissent sur les fleurs ou sur la partie supérieure de la plante. Ces traitements doivent être appliqués également durant la phase de remplissage du grain, si plusieurs jours pluvieux surviennent peu avant la maturité des graines (Sadiki et Lazrak, 1998)

9 La rouille (*Uromyces spp*) : cette maladie est caractérisée par l'apparition de tâches brunes à rougeâtres sur les feuilles causant un dessèchement et la chute des feuilles. Elle est répendue dans toutes les zones

II. OBJECTIF

Ce travail a pour objectif de caractériser la diversité génétique de féverole par le biais de quelques paramètres morphologiques. Les données, ainsi collectées au cours de ce travail, serviront de base pour la sélection du matériel génétique qui pourra être utilisé dans le programme de sélection comme parent ou matériel ségrégant.

III. MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal est constitué de deux lignées de féverole (OLWH et VVDL) issues du programme de sélection internationale de Recherche Agricole dans les Zones Sèches).

Le nombre de lignées testées est de 14 pour OLWH et de 14 pour VVDL. La liste est représentée en annexe 5 et 6 respectivement.

IV. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

1. Itinéraire technique

Le précédent cultural de cette parcelle est les céréales.

Le tableau 4 résume l'itinéraire technique appliqué.

Tableau 4 : Itinéraire technique appliqué.

Opération	Date
Labour à 3 disques	28/07/2010
Cover Crop croisé	19/10/2010
Enfouissement engrais (N : 14, P : 28, K : 14) : 2qx/ha	24/10/2010
Semis	9/12/2010
Binage mulet	19/01/2011
Désherbage	20/01/2011
Traitement Bavistin fongicide	02/03/2011
Binage mulet	03/03/2011
Traitement insecticide	18/04/2011
1 ^{er} traitement F R Q Wrubland Def	24/03/2011
2 ^{eme} traitement F R Q Wrubland Def	11/05/2011



- Les facteurs doivent être bien aux niveaux préconisés.
- La réponse (résultat) doit être donnée avec la plus grande précision.
- les mesures doivent être réalisées de préférence par le même expérimentateur en cas de répétition.
- Le choix du logiciel ainsi que sa maîtrise sont très déterminant pour la précision et l'interprétation des résultats statistiques.

a.2.1.4 Matrice d'expérimentation

Après établissement du plan d'expérience (Annex1), on commence la réalisation des essais dans l'ordre et on note la valeur de la réponse obtenue pour chaque expérience.

Voici au-dessous la matrice qui regroupe tous les essais effectués ainsi que les réponses de chaque essai :

Tableau 7 : Matrice d'expérimentation pour les non pareilles

N°Exp	X1	X2	X3	Y1
1	-1	-1	-1	63.88
2	1	-1	-1	64.10
3	-1	1	-1	48.28
4	1	1	-1	59.66
5	-1	-1	1	56.15
6	1	-1	1	49.58
7	-1	1	1	63.93
8	1	1	1	58.97
9	-1	0	0	61.53
10	1	0	0	61.06
11	0	-1	0	49.22
12	0	1	0	56.52
13	0	0	-1	61.46
14	0	0	1	60.80
15	0	0	0	54.16
16	0	0	0	57.62
17	0	0	0	55.85

D'après le tableau, on remarque une variation de la réponse en fonction des essais (Annexe 2).

a.2.2 Validation du modèle mathématique postulé

Le traitement statistique des données de ce plan passe par une procédure de validation avant tout application du modèle postulé. Pour que le modèle soit validé il faut que :

- L'ANOVA 1 soit validé (p inférieur à 5%)



- L'ANOVA 2 soit validé (p supérieur à 5%)
- Les coefficients de détermination : R^2 soit supérieur à 0.8 et R^2 -Ajusté soit supérieur à 0.7
- Le résidu soit normalement distribué.

a.2.2.1 Analyse de la variance

Tableau 8 : Analyse de la variance pour les non pareilles

Source de variation	Probabilité observée (%)
Régression	1.96 *
Validité	25.5

D'après les résultats du logiciel on trouve :

- L'ANOVA 1 est validé car on a la probabilité $p = 1.96 \% < 5\%$
- l'ANOVA 2 est validé car on a la probabilité $p = 25.5\% > 5\%$

a.2.2.2 Estimation et statistique des coefficients

Tableau 9 : Estimation et statistique des coefficients pour les non pareilles

Ecart Type de la réponse	2.773
R^2	0.872
R^2 -Aj	0.706

Le coefficient de détermination (R^2) est égal à 0.872, ce qui signifie que le modèle explique 87.2% du phénomène, donc le modèle est représentatif du phénomène étudié.

Le coefficient de détermination ajusté (R^2 -Aj) montre que le modèle postulé est descriptif.

a.2.2.3 Etude des résidus

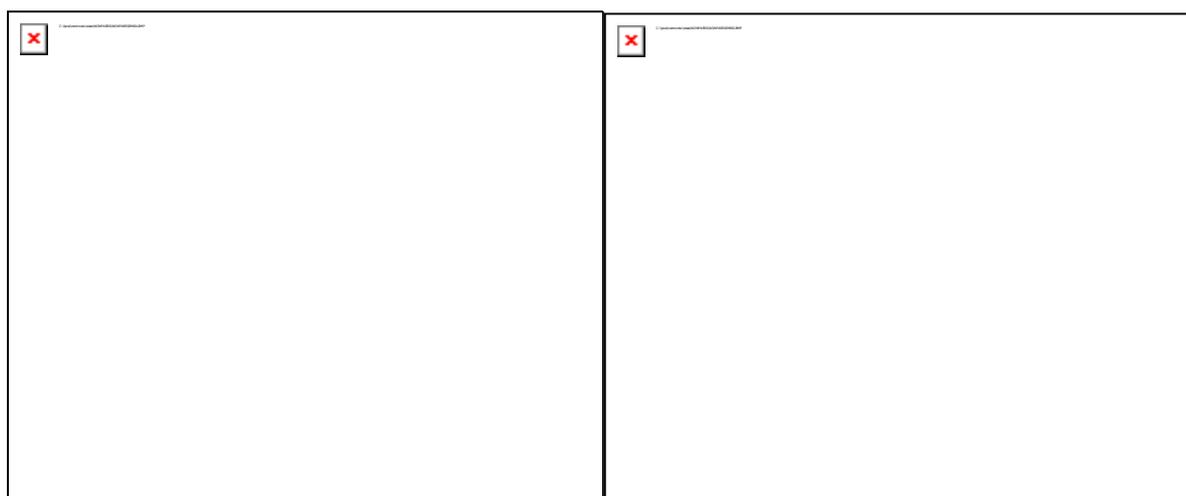


Figure 15 : Distribution des résidus pour les non paires

La figure 15 montre bien que les résidus sont distribués de façon aléatoire autour du zéro et sont distribués normalement sur la droite d'Henry.

Donc, les résidus vérifient les deux conditions qui permettent, en plus des conditions précédemment citées (analyse de la variance et coefficients de détermination) de valider le modèle postulé.

a.2.3 Signification des coefficients du modèle

Tableau 10 : Estimation des coefficients du modèle pour les non paires

Nom	Coefficient	Probabilité(%)
b0	57.110	< 0.01 ***
b1	-0.040	96.5
b2	0.443	62.9
b3	-0.795	39.5
b1-1	3.260	9.6
b2-2	-5.165	1.86 *
b3-3	3.095	11.1
b1-2	1.596	14.8
b1-3	-2.891	2.15 *
b2-3	4.651	0.210 **

D'après l'analyse de ce tableau, on peut déduire que :



- Les coefficients d'interaction b_{1-2} , b_{1-3} et b_{2-3} présente plus d'influence sur le phénomène du gonflement des câpres.

L'équation du modèle postulé est donc ,

$$y = 57.110 - 5.165 X_2^2 - 2.891 X_1 X_3 + 4.652 X_2 X_3$$

a.2.4 Optimisation

Etude graphique en 2D Etude graphique en 3D

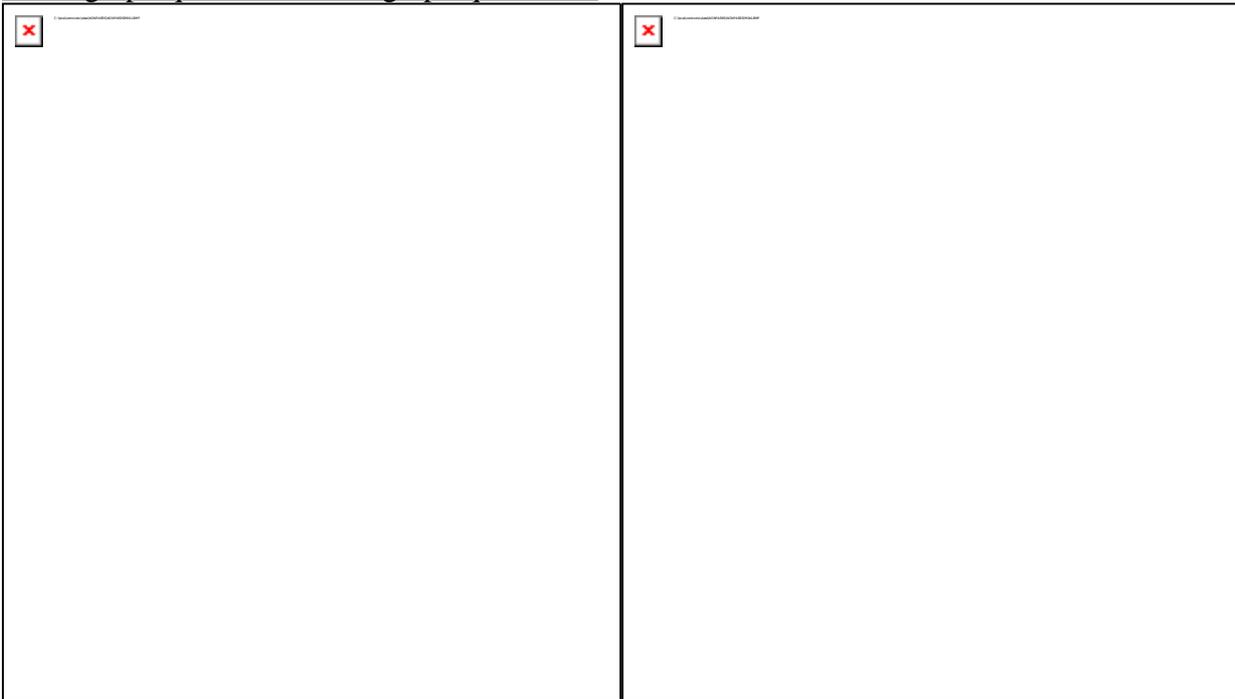


Figure 16 : variation de la réponse en fonction des facteurs : (Température, degré acétique)
Degré baumé = 11 °B

Ce graphe donne les courbes d'isoreponse ainsi que la représentation en espace de la réponse. Les conditions expérimentales optimales, c'est à dire celles permettant de minimiser le phénomène de gonflement des câpres sont obtenues pour les niveaux suivants :

- un degré acétique de 2.5°Ac
- une température de 50°C
- un degré baumé de 11°B

b. Surfines



Les surfines sont des câpres ayant un diamètre compris entre 7mm et 8mm. Nous allons utiliser un plan d'optimisation qui est le plan composite centré.

b.1 Réalisation des essais

b.1.1 Caractéristiques du problème

L'étude porte sur trois facteurs, ce qui nécessite la réalisation de 17 essais (y compris 3 points aux centres) pour la détermination des 10 coefficients.

$$Y = b_0 + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + b_3 * X_3 + b_{1-1} * (X_1 * X_1) + b_{2-2} * (X_2 * X_2) + b_{3-3} * (X_3 * X_3) + b_{1-2} * (X_1 * X_2) + b_{1-3} * (X_1 * X_3) + b_{2-3} * (X_2 * X_3)$$

Tableau 11 : Caractéristiques du problème pour les surfines

Objectif de l'étude	Etude dans un domaine expérimental: Surface de Réponses
Nombre de variables	3
Nombre d'expériences	17
Nombre de coefficients	10
Nombre de réponses	1

b.1.2 Réponse

Elle est mesurée en remplissant des bocaux de 97 mg par 60 mg des câpres puis, après une nuit, on fait passer les câpres sur des tamis de 8 mm et on calcule le pourcentage des câpres qui ont passés à travers ces tamis.

b.1.3 Matrice d'expérimentation

Après établissement du plan d'expérience (Annexe 3), on commence la réalisation des essais dans l'ordre et on note la valeur de la réponse obtenue pour chaque expérience.

La matrice qui regroupe tous les essais effectués ainsi que les réponses de chaque essai est représentée dans le tableau 12.

Tableau 12 : Matrice d'expérience pour les surfines

Nombre d'expérience	X1	X2	X3	Y1



1	-1	-1	-1	38.00
2	1	-1	-1	36.00
3	-1	1	-1	33.00
4	1	1	-1	36.00
5	-1	-1	1	62.00
6	1	-1	1	32.50
7	-1	1	1	59.00
8	1	1	1	28.00
9	-1	0	0	46.00
10	1	0	0	40.00
11	0	-1	0	47.00
12	0	1	0	57.50
13	0	0	-1	64.00
14	0	0	1	60.00
15	0	0	0	75.00
16	0	0	0	60.00
17	0	0	0	63.00

D'après le tableau on remarque une répartition de la réponse en fonction des essais (annexe 4).

b.2 Validation du modèle postulé

b.2.1 Analyse de la variance

Tableau 13 : Analyse de la variance pour les surfines

Source de variation	Probabilité (%)
Régression	1.67 *
Validité	62.2

D'après les résultats du logiciel on trouve :

- L'ANOVA 1 est validé car on a la probabilité $p = 1.67 \% < 5\%$
- L'ANOVA 2 est validé car on a la probabilité $p = 62.2\% > 5\%$

b.2.2 Estimation et statistique des coefficients

Tableau 14 : Estimation et statistiques de coefficients pour les surfines

Ecart Type de la réponse	7.469
R^2	0.878



R2-Aj

0.721

Le coefficient de détermination (R^2) est égal à 0.878, ce qui signifie que 87.8% de la variable Y est attribuable à la variable X.

Le coefficient de détermination ajusté (R2-Aj) est égal à 0.721, donne une idée sur l'ajustement du modèle. Dans notre étude, l'ajustement du modèle est de 72.1% ce qui traduit une bonne qualité de l'ajustement de l'estimation des coefficients de l'équation.

b.2.3 Etude des résidus

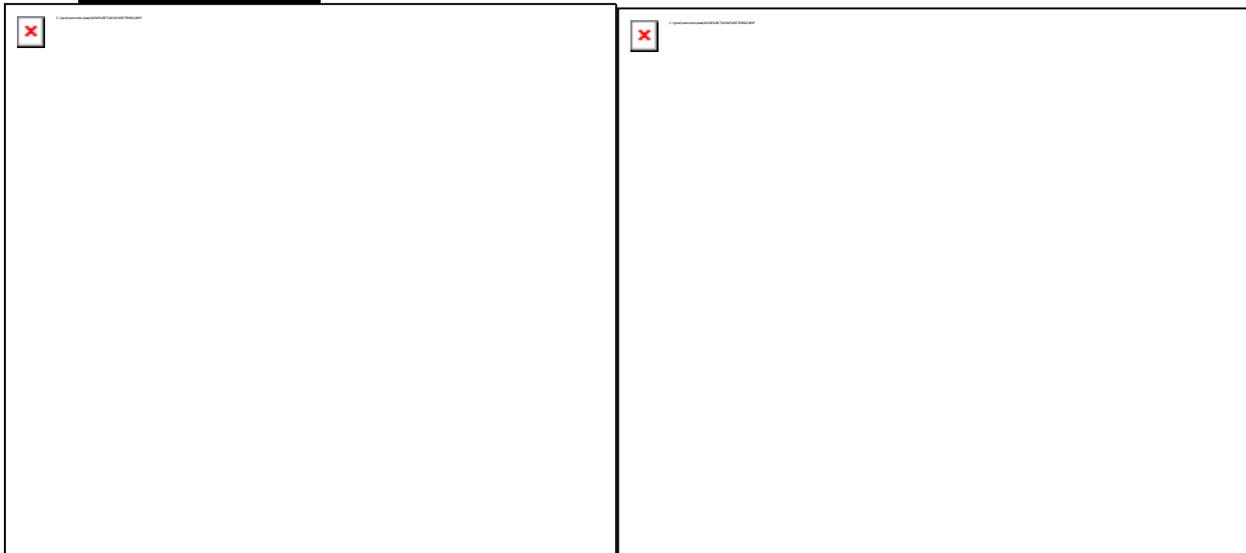


Figure 17 : Distribution des résidus pour les surfines

La figure17 montre bien que les résidus sont distribués de façon aléatoire autour de zéro, et sont distribués normalement sur la droite d'Henry.

Donc, les résidus vérifient les deux conditions qui permettent, en plus des conditions précédemment citées (analyse de la variance et coefficients de détermination) de valider le modèle postulé.

b.3 Signification des coefficients :

Le tableau de signification des coefficients permet de déterminer les coefficients qui sont significativement différents de zéro et qui reflètent les effets des facteurs correspondants.

Tableau 15 : estimation des coefficients du modèles pour les surfines

Nom	Coefficient	Probabilité %
b0	62.549	< 0.01 ***



b1	-6.550	2.76 *
b2	-0.200	93.5
b3	3.450	18.8
b1-1	-16.961	0.749 **
b2-2	-7.711	13.5
b3-3	2.039	66.9
b1-2	0.438	87.3
b1-3	-7.688	2.26 *
b2-3	-0.313	90.9

D'après le tableau, le coefficient b1 est significativement différent de zéro, ce facteur correspond à la concentration du sel, ce qui montre qu'il influe sur le phénomène de gonflement des câpres. On remarque ainsi que le coefficient d'interaction entre la concentration du sel et la température est différent de zéro ce qui montre que leur interaction influe également.

L'équation du modèle postulé est donc :

$$Y = 62.549 - 6.550 X_1 - 19.961 X_1^2 - 7.688 X_1 X_3$$

b.4 Optimisation

Etude graphique en 2D Etude graphique en 3D

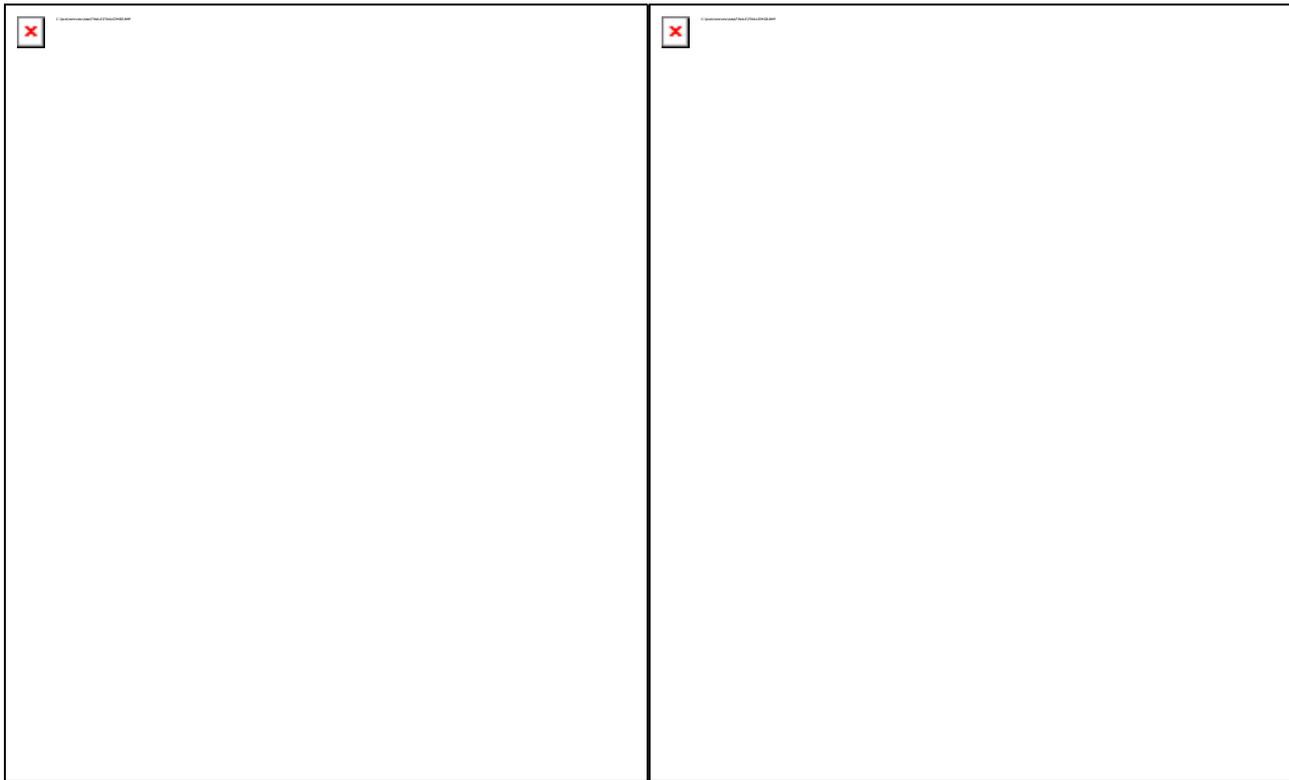


Figure 18 : Variation de la réponse en fonction des facteurs (degré baumé ; Température)

Degré acétique = 3 °ace

La figure 18 montre les courbes d'isoreponses où la réponse est maximale, ainsi que la représentation en espace de la réponse et donc pour atteindre un gonflement minimum des câpres il faut faire le réglage suivant :

- Un degré baumé entre 9°B et 10°B
- Une température entre 70°C et 80°C.
- Un degré acétique de 3°Ac.

Conclusion :

Les paramètres qui influent sur le phénomène de gonflement des câpres, d'après le diagramme d'Ishikawa, sont :

- La concentration du sel,
- La concentration du vinaigre,
- La température du vinaigre
- Le calibre des câpres.



Après validation du modèle, l'utilisation d'un plan de surface de réponse permet de :

- Déterminer la zone de compromis acceptable dans laquelle l'objectif visé est atteint,
- Connaitre la valeur de la réponse en n'importe quel point du domaine expérimental,
- Prévoir, par la suite, la réponse expérimentale sans savoir effectuer l'expérience.

pour avoir un gonflement minimum des câpres, il faut faire le réglage suivant :

- Non pareilles:
 - Un degré baumé de 11°B
 - Un degré acétique de 2.5°Ac
 - Une température de 50°C
- Surfines :
 - Un degré baumé entre 9°B et 10°B
 - Un degré acétique de 3°Ac
 - Une température entre 70°C et 80°C

3. Coût économique

a. Gain en vinaigre

La société Marocâpres reçoit le vinaigre à une concentration initiale de 14°Ac. Puis elle effectue des dilutions jusqu'une concentration de 3.5°Ac. C'est cette dernière qui est utilisée pour remplir les bocal des câpres.

L'optimisation du gonflement des câpres en utilisant la méthode des plans d'expériences, nous a permis de réduire cette concentration à 2.5°Ac pour les non pareilles et 3°Ac pour les surfines. En calculant le coût économique pour chaque concentration on trouve :

- *Pour une concentration de 3.5°Ac*

Un volume de 100 l du vinaigre à une concentration initiale de 14 °Ac donne un volume de 400 l du vinaigre à 3.5°Ac. Chaque bocal de 97 mg est rempli par 60 ml du vinaigre et donc pour 400 l du vinaigre on aura 6666 bocal.

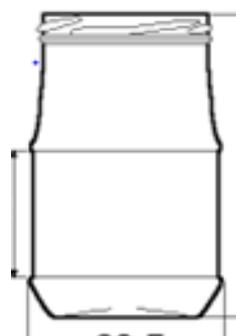


Figure 19 : schéma du bocal de 97 mg

- *Pour une concentration de 3°ace*

Le même volume du vinaigre concentré permet de donner 466.67 l du vinaigre à 3 °Ac ce qui donne 7777 bocaux de 97 mg.

Donc, la société peut économiser 1111 bocaux. Chaque bocal coute 12Dh, correspondant à un gain de 4.026.264Dh par an.

- *Pour une concentration de 2.5°ace*

Ce même volume initial du vinaigre concentré donne 560 l du vinaigre à 2.5°ace, ce qui donne 9333 bocaux de 97 mg. Donc, la société peut économiser 2667 bocaux correspondant à un gain de 9.665.208Dh par an.

Au total, en appliquant cette méthode pour les surfines et les non pareilles, on a gain de 13.691.472 Dh par an. Le tableau 16 récapitule le gain économique en vinaigre.

Tableau 16 : Gain économique en vinaigre

	Non pareilles		surfines	
	Bocal	Gain (Dh)	Bocal	Gain (Dh)
3.5°Ac	6666	24.157.584	6666	24.157.584
3°Ac			7777	28.183.848
2.5°Ac	9333	33.822.792		
Gain (Dh)	2667	9.665.208	1111	4.026.264
Somme totale gagnée (Dh/an)	13.691.472			

b. Gain en énergie



La société Marocâpres chauffe le vinaigre jusqu'à 75 °C pour une durée de 65 minute. En appliquant la méthode des plans d'expériences pour minimiser le gonflement des câpres, on a pu diminuer cette température jusqu'à 50 °C pour une durée de 40 minute à une énergie de 6 kWh.

L'énergie nécessaire pour augmenter la température jusqu'à 75 °C est de :

$$E = 6 \times \frac{65}{40} E = 9,75 \text{ KWh} \longrightarrow$$

Donc on a un gain de $9,75 - 6 = 3,75$ KWh. Sachant qu'un KWh coûte 1 Dh donc un gain de 3,75 Dh par opération. Le montant économisé est de 56,25 Dh par jour donne 16987,5 Dh par an.

Conclusion et perspectives

Durant ce stage, nous nous sommes intéressés à la minimisation du pourcentage de gonflement des câpres par l'application de la méthode des plans d'expériences. A l'issue de ce travail, les principaux résultats auxquels nous avons abouti grâce à l'utilisation de cette méthode se présentent comme suit :

Tout d'abord nous avons déterminé les facteurs influençant le phénomène de gonflement des câpres en utilisant le diagramme d'Ishikawa. Cette étude nous a montré qu'il y a quatre facteurs contrôlables à savoir :



- La concentration du sel, mesurée en degré Baumé
- La concentration en vinaigre, mesurée en degré acétique
- La température du vinaigre
- Le calibre des câpres.

Ensuite, ces paramètres jugés contrôlables ont été étudiés plus finement par les plans d'expériences. C'est grâce au plan de surface de réponse dont on a pu déterminer les conditions opératoires (réglages) donnant le pourcentage minimum de gonflement des câpres.

Les résultats obtenus par l'utilisation de cette méthode permettent de :

- Elaboration d'un diagramme de production qui permet d'avoir une répétabilité de la qualité souhaitée.
- Une augmentation du pourcentage des câpres, gardant leurs diamètres dans les normes exigées, jusqu'à 70 %.
- Un gain en cout de vinaigre qui peut aller jusqu'à 13.691.472Dh par an en utilisant le réglage proposé pour les non pareilles et les surfines.
- Et un gain en cout d'énergie.

Ces résultats doivent être vérifiés à l'échelle du processus.

Références bibliographique

- 1) Archive Marocâpres
- 2) © Revue MODULAD, 2006 Jaques GOUPY « les plans d'expériences »
- 3) @B.Govaerts - Institut de Statistique - Université Catholique de Louvain, ordre 2 « les plans d'expériences pour l'estimation de surface de réponse »



4) www.Marocâpres.com