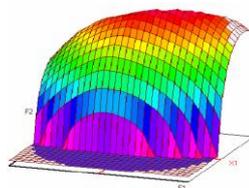




Année Universitaire : 2015-2016



Master Sciences et Techniques CAC Agiq

**Chimiométrie et Analyse Chimique : Application à la gestion
industrielle de la qualité**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

***Amélioration de la crème de fourrage de mille-feuille
par des outils de la qualité et des statistiques***

Présenté par:

KHAROUFI Zakariae

Encadré par:

- Ingénieur. G. MESGGUID (AL HANINI)
- Pr. E. H. EL GHADRAOUI (FST Fès)

Soutenu Le 14 Juin 2016 devant le jury composé de:

- Pr. A. KANDRI RODI (FST Fès)
- Pr. H. CHTIOUI (FST Fès)
- Ingénieur. G. MESGGUID (AL HANINI)
- Pr. E. H. EL GHADRAOUI (FST Fès)

Stage effectué à : La société AL HANINI Fès



Dédicace

Ce mémoire est dédié en premier lieu à mes parents, à mes proches et à
tous mes amis

Ce travail est dédié aussi à mes professeurs et à mon encadrant à AL
HANINI, ainsi qu'à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin

J'espère que ce mémoire donnera satisfaction à toutes ces personnes et
à tous ceux qui auront l'occasion de le lire



Remerciement

Ce travail est réalisé au sein de la société AL HANINI. Mes remerciements vont à toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et à la réalisation de mon rapport dans les conditions adéquates.

Tout d'abord, j'adresse mes sincères remerciements à mon encadrant Pr. E. H. EL GHADRAOUI Enseignant chercheur à la FST de Fès qui m'a beaucoup aidé à la recherche du stage. J'ai pu apprécier ses compétences scientifiques et sa rigueur mais aussi ses qualités humaines ; je tiens également à le remercier pour m'avoir orienté, conseillé et de m'encourager tout au long de la période de mon stage.

De même degré de respect je tiens à remercier vivement mon encadrant de stage, Mlle G. **MESGGUID** Ingénieur à la société AL HANINI, pour ses précieux conseils et son aide, mais aussi pour le partage de son expertise au quotidien. Grâce à sa confiance j'ai pu passer mon stage dans les très bonnes conditions.

Je tiens à remercier très sincèrement les Professeurs, **A. KANDRI RODI** et **H. CHTIOUI** professeurs à la faculté des sciences et technique de Fès, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'examiner ce travail et participer à ce jury.

Aussi Je tiens à remercier tous les professeurs qui m'ont formé depuis mon entrée à la Faculté des sciences et Techniques de Fès et plus particulièrement le **Pr. M. EL ASRI**, et le **Pr. El MESTAPHA El Hadrami** responsable de la filière CAC : Agiq

J'adresse mes vifs remerciements à toute l'équipe du centre pour leurs services et leurs gentillesse.



Liste des abréviations

- % : pourcentage
- °C : degré Celsius
- ANOVA : analyse de la variance
- SARL : Société à responsabilité limitée
- Pa.s : pascal-seconde

LISTE DES TABLEAUX

• Tableau 1 : Diversification des produits	12
• Tableau 2 : la solution proposant pour chaque cause.....	23
• Tableau 3: résultats des essais pour savoir l'effet du jour, de la cuisson et du cuiseur sur l'humidité	28
• Tableau 4 : résultats des essais pour savoir l'effet du jour, de la cuisson et du cuiseur sur la viscosité.....	29
• Tableau 5 : données de l'humidité des trois cuissons	32
• Tableau 6: données de la viscosité des trois cuissons	33
• Tableau 7 : données de l'humidité pendant quatre jours	34
• Tableau 8 : données de la viscosité pendant quatre jours	35
• Tableau 9 : résultats des essais pour voir l'effet du jour, de la cuisson et du cuiseur sur l'humidité	36
• Tableau 10 : résultats des essais pour voir l'effet du jour, de la cuisson et du cuiseur sur la viscosité	37
• Tableau 11 : Essais de l'humidité des trois cuissons	40
• Tableau 12 : Essais de la viscosité des trois cuissons	40
• Tableau 13 : Essais de l'humidité pendant quatre jours.....	41
• Tableau 14 : Essais de la viscosité pendant quatre jours.....	42
• Tableau 15 : matrice d'expériences.....	45
• Tableau 16 : Domaine expérimentale du Plan de criblage.....	45
• Tableau 17 : plans d'expériences et résultats des essais du plan de criblage.....	45



LISTE DES FIGURES

• Figure 1 : organigramme de la société AL HANINI	11
• Figure 2 : Diagramme de fabrication de la crème de fourrage de Mille-feuille	13
• Figure 3 : Diagramme cause-effet	15
• Figure 4 : système type de boîte noire	18
• Figure 5 : Diagramme d'Ishikawa	24
• Figure 6 : la normalité de la distribution de l'humidité	28
• Figure 7 : la normalité de la distribution de la viscosité	29
• Figure 8 : ANOVA à 3 facteurs de l'humidité.....	30
• Figure 9 : ANOVA à 3 facteurs de la viscosité	31
• Figure 10: test des étendus Multiples de l'humidité des trois cuissons	32
• Figure 11 : test des étendus Multiples de la viscosité des trois cuissons	33
• Figure 12 : test des étendus Multiples de l'humidité pendant quatre jours	34
• Figure 13 : test des étendus Multiples de la viscosité pendant quatre jours	35
• Figure 14 : la normalité de la distribution de l'humidité	37
• Figure 15 : la normalité de la distribution de la viscosité	38
• Figure 16 : test ANOVA à 3 facteurs de l'humidité	38
• Figure 17 : test ANOVA à 3 facteurs de la viscosité	39
• Figure 18 : test des étendus Multiples de l'humidité des trois cuissons	40
• Figure 19 : test des étendus Multiples de la viscosité des trois cuissons	41
• Figure 20 : test des étendus Multiples de l'humidité pendant quatre jours	41
• Figure 21 : test des étendus Multiples de la viscosité pendant quatre jours	42
• Figure 22 : essais du plan Placket et Burman	44
• Figure 23 : Graphe des effets des facteurs sur Y1	46
• Figure 24 : Graphe des effets des facteurs sur Y2	47
• Figure 25 : Effet de Pareto individuel sur Y1	48
• Figure 26 : Effet Pareto cumulé sur Y1	48
• Figure 27 : Effet Pareto individuel sur Y2	49
• Figure 28 : Effet Pareto cumulé sur Y2	49

LISTE DES IMAGES

• Image 1 : la granulation de la crème au cours de filtration.....	22
• Image 2 : différents types de sucre utilisé	24
• Image 3 : la granulation de la crème, avec type 1 de la farine	25
• Image 4 : la granulation de la crème, avec type 2 de la farine.....	25
• Image 5 : mélangeur électrique de la farine et du sucre	26
• Image 6 : la crème de fourrage sans granulation	27



Sommaire

Introduction	1
I. Présentation de la société	2
1. Généralités.....	2
2. Fiche technique	3
3. Organigramme.....	3
4. Diversification des produits.....	3
5. Présentation du service d'accueil	4
Partie I: Etude bibliographique	5
I. Mille-feuille	5
1. Historique	5
2. Ingrédients de la feuille de mille-feuille	5
II. La crème de fourrage	6
1. Diagramme de fabrication de la crème de fourrage de Mille-feuille	6
2. Ingrédients de la crème de fourrage	6
III. Les Autres types de la crème	7
1. La crème blanche	7
2. La crème chocolat de décoration.....	7
IV. Les Analyses physico-chimiques	7
1. L'humidité.....	7
2. La viscosité.....	7
V. Diagramme d'ISHIKAWA <<diagramme cause-effet>>	7
1. Généralités.....	7
2. Classement les causes potentielles en familles	8
VI. Analyse de la variance (ANOVA)	9
1. Introduction	9
2. Objectif.....	9
3. Hypothèses fondamentales	9
4. Test de la normalité.....	10
VII. Généralités sur les plans d'expériences	10
1. Introduction	10
2. Domaine d'application	10
3. Les objectifs	11



4.	Les étapes de mise en place d'un plan d'expériences	12
5.	Instruction du problème	12
6.	Construire la matrice d'expériences	12
7.	Différents types des plans d'expériences	13
Partie II : partie expérimentale.....		14
I.	Diagramme d'Ishikawa.....	14
1.	Introduction	14
2.	Problématique.....	14
3.	Causes- solutions.....	15
4.	Diagramme d'Ishikawa	16
5.	Conclusion.....	18
II.	Application du test d'ANOVA afin d'améliorer l'humidité et la viscosité	19
A.	Cinq cuiseurs	19
1.	La normalité	19
a.	L'humidité.....	19
b.	La viscosité.....	20
2.	Test d'ANOVA	22
a.	L'humidité.....	22
b.	La viscosité.....	23
3.	Comparaison des moyennes	23
A.	Comparaison des moyennes des cuissons.	24
a.	L'humidité.....	24
b.	La viscosité.....	24
B.	Comparaison des moyennes des jours.....	26
a.	L'humidité.....	26
b.	La viscosité.....	26
	Conclusion	28
B.	Trois cuiseurs.....	28
1.	La normalité	28
a.	L'humidité.....	28
b.	La viscosité.....	29
2.	Test d'ANOVA	30
a.	L'humidité.....	30
b.	La viscosité.....	31



3.	Comparaison des moyennes	32
A.	Comparaisons des moyennes des cuissons.....	32
a.	L'humidité.....	32
b.	La viscosité.....	33
B.	Comparaison des moyennes de quatre jours	33
a.	L'humidité.....	33
b.	La viscosité.....	34
III.	Le criblage des paramètres influençant la qualité de la crème.....	35
A.	Plan de criblage	35
1.	Introduction	35
2.	Facteurs étudiés	35
3.	Construction de la matrice d'expériences	36
4.	Domaine expérimental	37
5.	Plans d'expériences et résultats des essais	37
B.	Analyse mathématique des résultats des essais	38
1.	Analyse graphique du modèle	38
a.	Diagramme en bâton-tracé des effets des facteurs.....	38
b.	Diagramme de Pareto.....	39
	Conclusion.....	42
	Conclusion générale	43



Introduction

La société ‘AL HANINI’ met en œuvre des programmes de réduction de coûts pour tenir leurs rentabilité et aussi pour améliorer les méthodes de travail, des processus industriels et la qualité des services.

La société ‘AL HANINI’ comme toutes les autres, ambitionne toujours de se développer en matière de production variée (madeleines, biscuits, gaufrettes, Amiral, mille-feuille...) avec un souci de qualité à travers des analyses physico-chimiques (humidité, viscosité et pH). Ces trois paramètres sont très importants pour un suivi de la qualité relatif à chaque produit ayant chacun une norme à respecter, soit organoleptiques et sanitaires.

Dans le cadre de ce projet de fin d’études, nous avons été appelé à améliorer la crème de fourrage de mille-feuille par des outils de la qualité et des statistiques. Cette amélioration vise à trouver les conditions favorables à la production d’une crème de fourrage de mille-feuille.

Notre projet de fin d’études est composé de deux parties. Une partie bibliographique qui définit les propriétés de mille-feuille et ses crèmes ; les analyses physico-chimiques effectuées, l’outil de la qualité diagramme d’Ishikawa, le test analyse de la variance et les généralités sur les plans d’expériences.

Une partie expérimentale basée sur l’utilisation du diagramme d’Ishikawa, Outil qui permet d’identifier les causes possibles d’un effet constaté et donc de déterminer les moyens pour y remédier. Aussi on a appliqué le test d’ANOVA afin d’améliorer l’humidité et la viscosité et le criblage des paramètres influençant la qualité de la crème de fourrage de mille-feuille.



I. Présentation de la société

1. Généralités

AL HANINI est une S.A.R.L fondée en 1997 par Abdelmoula Attmounia. En tant qu'entreprise familiale, elle débuta à rue de la cimetièrre à Bhalil avec une usine de mille-feuille & madeleines et un petit établissement de vente. En 2003, elle transféra ses installations au 335 hay enammae, où elle occupe à peu près 1200 m. [1]

Elle est encore en bonne continuation. Ce qui lui donne plus de 11 ans de productivité et de développement positifs que lui assurent :

- Sa stratégie d'innovation et d'encouragement pour les nouvelles idées soit au niveau produit ou techniques facilitant le travail.
- La qualité à la fois marchande et sanitaire des produits.
- Au niveau qualité le service de laboratoire fait de son mieux et tout ce qu'il faut pour garder son niveau croissant des techniques de contrôles continues et suivies qui assurent la persistance au marché de l'entreprise.

La marque AL HANINI est actuellement très répandue dans le Maroc vue la diversité des produits mis sur le marché. Cette diversification a pu atteindre même le produit « mille-feuille » qui présente aujourd'hui de nouveaux arômes en état d'essai et de progression. Ainsi la société montre son perfectionnement au niveau de la production de madeleine de plusieurs goûts et formes et surtout à la portée de tout le monde, En plus la biscuiterie prend une large place dans la production.

L'établissement de l'unité nouvelle de la société pas loin de celle ancienne a permis de garder un développement exponentiel mais aussi une qualité parfaite du fait que le transport de matière première et de produit fini d'une unité à l'autre n'est pas menaçant pour l'innocuité des produits.

Cela apparent claire même au niveau production car la société essaie de son mieux de faire importer de nouveaux matériaux surtout au niveau de la production de mille-feuille, de madeleines et de biscuits qui dans la plupart du temps sépare le contact direct avec personnel. Ce qui diminue le risque de contamination.

2. Fiche technique

Nom	AL HANINI
Statut juridique	SARL (Société à responsabilité limitée)
Capital social	2.200.000 DH
Date de création	2003
Activité principale	Production et commercialisation des produits de pâtisserie et de biscuiterie
Marque	« AL HANINI »
Effectif du personnel	520
Marchés	Fès, Marrakech, Agadir, Tetouan, Oujda, Laâyoune...
Adresse	Hay Ennamae Lot, 335 Quartier industriel Bensouda-FES
Tél	+212556553
Fax	+21255655328

3. Organigramme

La société AL HANINI se caractérise par une organisation interne bien spécifique comme le montre l'organigramme suivant :

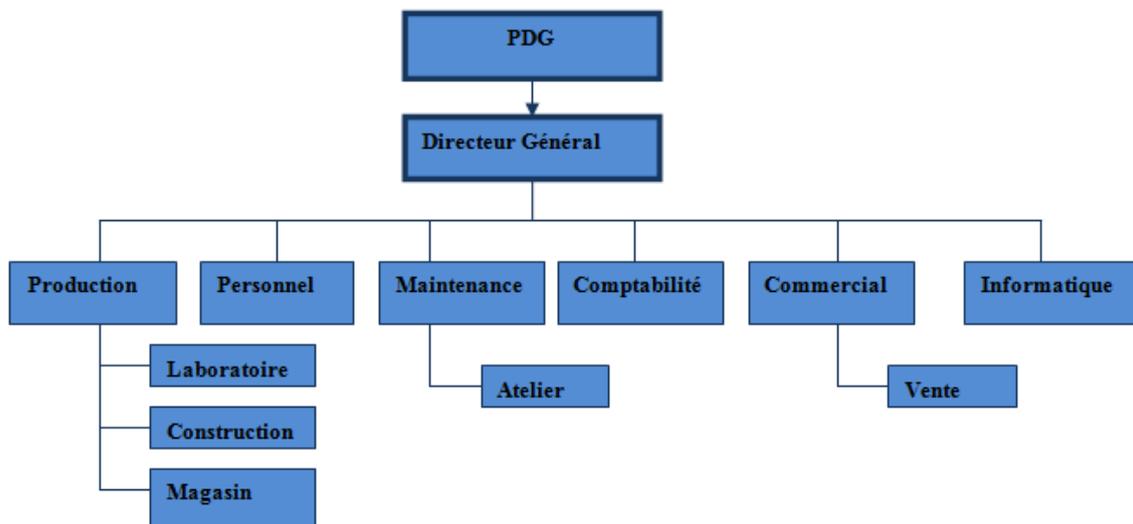


Figure 1 : organigramme de la société AL HANINI

4. Diversification des produits

Le tableau suivant présente quelques exemples parmi d'autres des différents produits de l'industrie AL HANINI de pâtisserie et de boulangerie :

Madeleines				
Pâtisseries				
Mille-feuille				
Biscuits				
Gaufrettes				
Cigares				

Tableau 1 : Diversification des produits

5. Présentation du service d'accueil

Le laboratoire au sein d'AL HANINI ainsi que les analyses réalisées en dehors de ses murs se collaborent pour contrôler le plus possible les qualités sanitaires mais aussi marchandes dans un certain niveau où les consommateurs commencent à avoir conscience de l'importance de « Bonne qualité ».

Ce laboratoire a pour fonction de :

- Déterminer l'humidité
- mesurer le pH
- Calculer la viscosité
- Stocker chaque jour les échantillons des produits et les observer après 6 mois de leur production
- Enregistrer les observations



Partie I: Etude bibliographique

I. Mille-feuille

1. Historique

Un **mille-feuille** (**millefeuille**) est une pièce de pâtisserie faite de trois couches de pâte feuilletée et deux couches de crème pâtissière. Le dessus est glacé avec du sucre glace ou du fondant. On peut y ajouter de la confiture ou des fruits.

Il aurait été créé par François Pierre de La Varenne qui le décrit dans son *Cuisinier françois* en 1651. Il aurait ensuite été perfectionné par Marie-Antoine Carême, cuisinier de Charles-Maurice de Talleyrand-Périgord. [2]

Cependant, beaucoup de pâtissiers professionnels ne le font remonter qu'en 1867, où il fut proposé comme spécialité du célèbre pâtissier Adolphe Seugnot, alors installé 28, rue du Bac à Paris.

2. Ingrédients de la feuille de mille-feuille

Les pâtes feuilletées sont les pâtes les plus simples en ce qui concerne la composition. Les matières premières utilisées sont : la farine, l'eau, la matière grasse, la lécithine de soja comme additif alimentaire (E322) et du sel.

II. La crème de fourrage

1. Diagramme de fabrication de la crème de fourrage de Mille-feuille

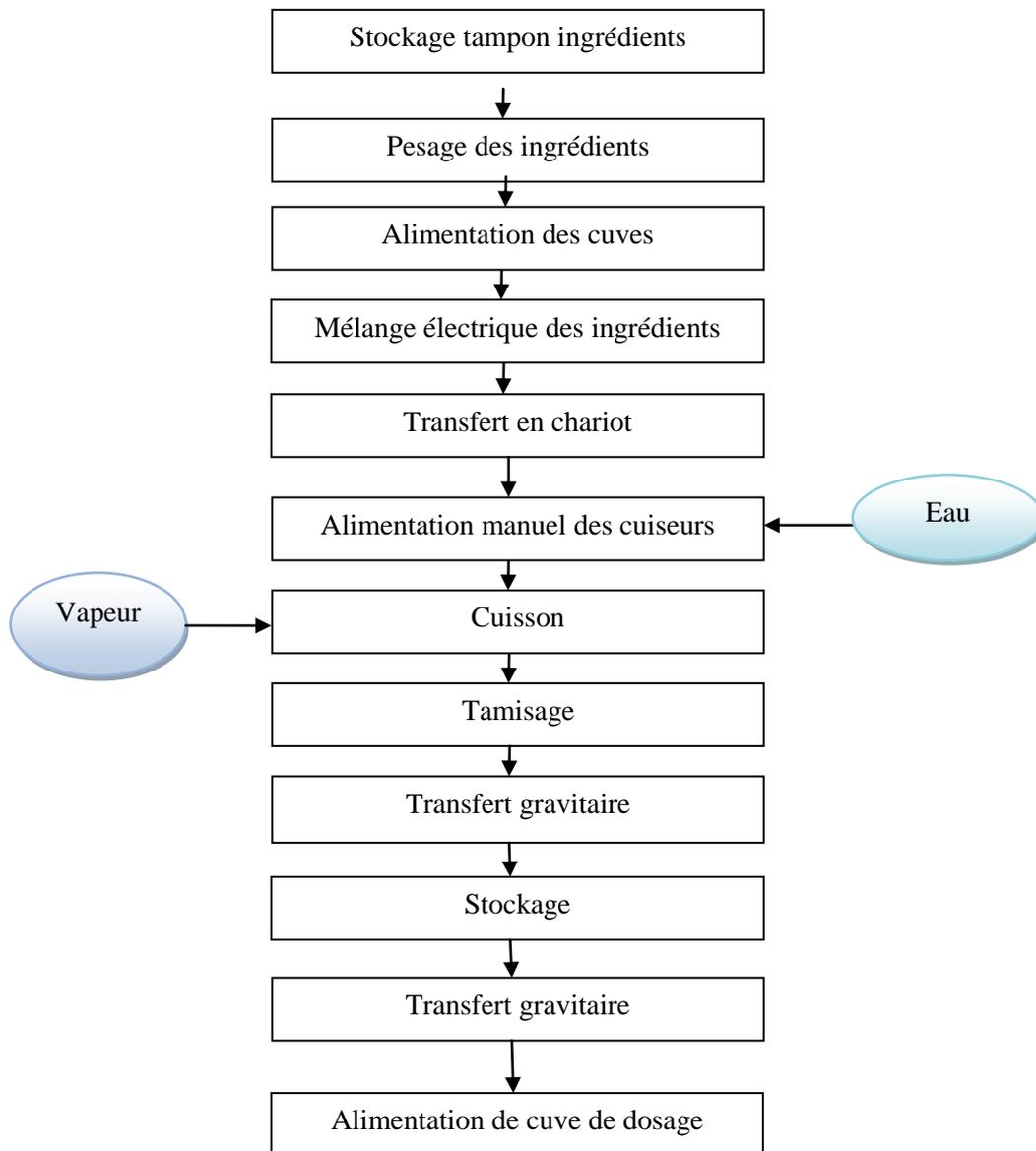


Figure 2 : Diagramme de fabrication de la crème de fourrage de Mille-feuille

2. Ingrédients de la crème de fourrage

La crème de fourrage qui donne au mille-feuille le gout sucré en raison que la quantité du sucre utilisée est élevée.

La crème de fourrage a comme composition les ingrédients suivants : l'eau, la farine, le sucre, le sorbate de potassium (E202), l'arôme vanille, le sel et chocolat.



III. Les Autres types de la crème

1. La crème blanche

C'est une crème blanche déposée à la surface de mille-feuille avant la décoration pour cacher les irrégularités du produit et sublimer son goût.

La crème de nappage est composée principalement de : beurre, huile de palme, huile et vanille.

2. La crème chocolat de décoration

Cette crème est utilisée pour la décoration de mille-feuille. Les ingrédients nécessaires pour la fabrication de la crème chocolat sont : l'eau, poudre chocolat, chocolat sucre, acide citrique (E330), sorbate de potassium (E202), poudre cacao, huile de palme, arôme vanille.

IV. Les Analyses physico-chimiques

1. L'humidité

L'humidité d'un aliment est la quantité d'eau perdue par la substance.

Cette teneur en eau est exprimée en % de la masse rapportée à la masse de la matière sèche contenue dans l'échantillon, [3].

2. La viscosité

La **viscosité** peut être définie comme la résistance à l'écoulement uniforme et sans turbulence se produisant dans la masse d'une matière.

Lorsque la viscosité augmente, la capacité du fluide à s'écouler diminue. Pour un liquide (au contraire d'un gaz), la viscosité tend généralement à diminuer lorsque la température augmente.

La viscosité se mesure en pascal-seconde (Pa.s). Cette unité ayant remplacé le poiseuille (Pl) qui a la même valeur : $1 \text{ Pa.s} = 1 \text{ Pl}$. [4]

V. Diagramme d'ISHIKAWA <<diagramme cause-effet>>

1. Généralités

Pour bien illustrer la relation entre la cause et l'effet, il faut bien les définir de façon concrète :

Effet = caractéristique de la qualité

Cause = facteur

La figure suivante est appelée 'diagramme cause-effet', les facteurs doivent être décrits de façon plus détaillée pour rendre le diagramme plus utile et pratique

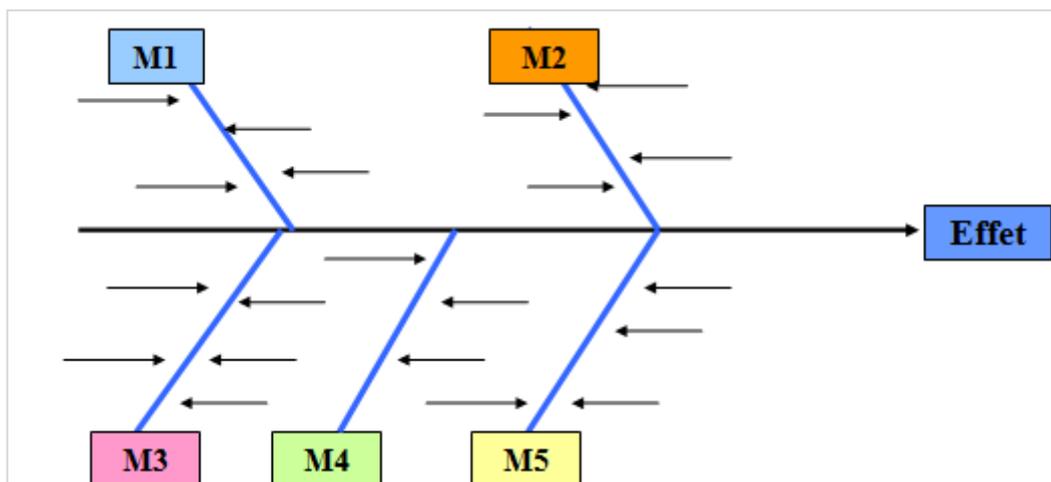


Figure 3 : Diagramme cause-effet

La méthode cause-effet est une représentation graphique faite par :

- des flèches
- classement par famille de toutes les causes possibles

C'est un travail du cercle de la qualité. Les différentes étapes sont :

Etape 1 : déterminer toutes les causes possibles. On veillera surtout à :

- favoriser les différentes opinions sans discrimination
- noter au fur et à mesure sur un tableau
- ne pas sauter des solutions évidentes

Etape 2 : classer par ordre de priorité les différentes causes

Etape 3 : construire du diagramme

Etape 4 : déterminer les causes essentielles

Etape 5 : vérifier par des séries des essais expérimentaux

Etape 6 : évaluer les résultats des tests en les comparant avec les situations antérieures [5]

2. Classement les causes potentielles en familles

Les causes potentielles en familles, appelées communément les cinq M sont les suivantes :

- ✚ **La Matière : M1.** Recense les causes ayant pour origine les supports techniques et les produits utilisés.
- ✚ **La Main d'œuvre : M2.** Problème de compétence, d'organisation, de Management.
- ✚ **Le Matériel : M3.** Causes relatives aux Machines, aux équipements et Moyens concernés.
- ✚ **La Méthode : M4.** Procédures ou modes opératoires utilisés.
- ✚ **Le Milieu : M5.** Environnement physique : lumière, bruit, poussière, localisation, signalétique etc.



VI. Analyse de la variance (ANOVA)

1. Introduction

Les techniques dites d'analyse de variance sont des outils entrant dans le cadre général du modèle linéaire et où une variable quantitative est expliquée par une ou plusieurs variables qualitatives. L'objectif essentiel est alors de comparer les moyennes empiriques de la variable quantitative observées pour différentes catégories d'unités statistiques. Ces catégories sont définies par l'observation des variables qualitatives ou facteurs prenant différentes modalités ou encore de variables quantitatives découpées en classes ou niveaux.

2. Objectif

Il s'agit donc de savoir si un facteur ou une combinaison de facteurs (interaction) a un effet sur la variable quantitative en vue, par exemple, de déterminer les conditions optimales de production ou de fabrication, une dose optimale de médicaments. . . Ces techniques apparaissent aussi comme des cas particuliers de la régression linéaire multiple en associant à chaque modalité une variable indicatrice et en cherchant à expliquer une variable quantitative par ces variables indicatrices. L'appellation "analyse de variance" vient de ce que les tests statistiques sont bâtis sur des comparaisons de sommes de carrés de variations.

3. Hypothèses fondamentales

La forme générale de l'analyse de variance repose sur le test de Fisher et donc sur la normalité des distributions et l'indépendance des échantillons.

- Normalité de la distribution : on suppose, sous l'hypothèse nulle, que les échantillons sont issus d'une même population et suivent une loi normale. Il est donc nécessaire de vérifier la normalité des distributions
- Indépendance des échantillons : on suppose que chaque échantillon analysé est indépendant des autres échantillons. En pratique, c'est la problématique qui permet de supposer que les échantillons sont indépendants
- **Hypothèse à tester**
 - L'hypothèse nulle correspond au cas où les facteurs ont même ordre de grandeur.
$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i = \dots = \mu_k$$
 - L'hypothèse alternative : il existe au moins un facteur qui n'est pas de même ordre de grandeur ; H_1 : Il existe (i,j) $(1 < i < k, 1 < j < k)$ tel que $\mu_i \neq \mu_j$



4. Test de la normalité

La **loi normale** est l'une des lois de probabilité les plus adaptées pour modéliser des phénomènes naturels issus de plusieurs événements aléatoires. Elle est en lien avec de nombreux objets mathématiques dont le mouvement brownien, le bruit blanc gaussien ou d'autres lois de probabilité. Elle est également appelée **loi gaussienne** (ou **loi de Gauss**).

Les tests de normalité permettent de vérifier si des données réelles suivent une loi normale ou non. On peut utiliser le test de la Droite d'Henry parce qu'il est plus simple et claire.

✚ La Droite d'Henry

Si les données sont compatibles avec la loi normale, elles forment une droite, dite droite d'Henry.

VII. Généralités sur les plans d'expériences

1. Introduction

Selon la [Norme ISO 3534-3] ; les plans d'expériences constituent essentiellement une planification d'expériences afin d'obtenir des conclusions solides et adéquates de manière efficace et économique.

Les plans d'expériences permettent d'organiser au mieux les essais qui accompagnent une recherche scientifique ou des études industrielles. Ils sont applicables à de nombreuses disciplines et à toutes les industries à partir du moment où l'on recherche le lien qui existe entre une grandeur d'intérêt, y , et des variables, x_i . Il faut penser aux plans d'expériences si l'on s'intéresse à une fonction du type $y=f(x_i)$.

2. Domaine d'application

Le scientifique est souvent amené à comprendre comment réagit un système en fonction des facteurs susceptibles de le modifier (ce système connu sous le nom de boîte noire (figure 4)). Pour visualiser cette évolution, il mesure une réponse et va ensuite essayer d'établir des relations de cause à effet entre les réponses et les facteurs.

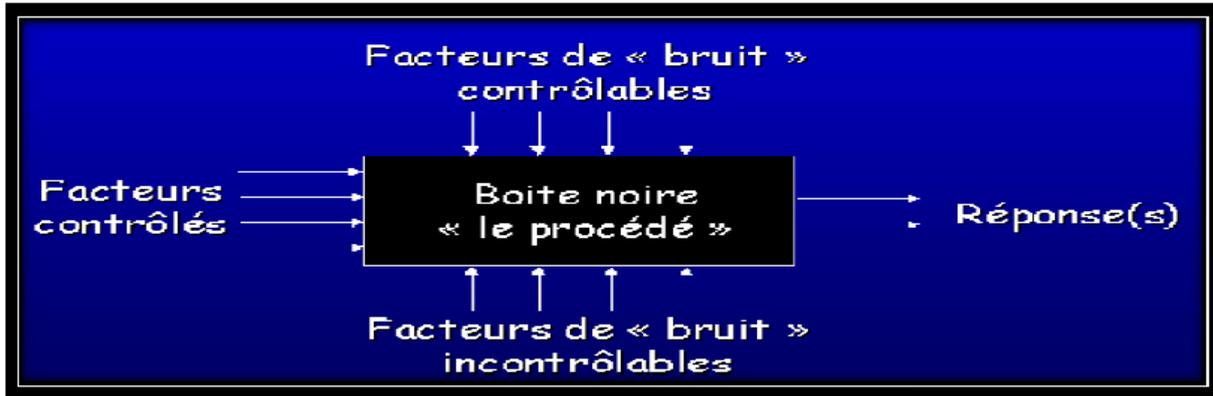


Figure 4 : système type de boîte noire

Un facteur est une grandeur le plus souvent mesurable, mais il peut s'agir d'une grandeur qualitative comme les différents lots d'une matière première.

➤ Parmi les facteurs on distingue:

- les facteurs contrôlables qui dépendent directement du choix du technicien (pression, température, quantité ...).
- les facteurs non contrôlables qui varient indépendamment du choix du technicien (conditions climatiques, environnement d'utilisation...).
- les facteurs d'entrée dont on cherche à analyser une influence (matière première, vitesse d'agitation, température, rendement ...). Les facteurs étudiés dans un plan d'expériences sont bien entendu les facteurs d'entrée.

La réponse est la grandeur mesurée à chaque essai; le plan vise à déterminer quels facteurs l'influencent ou quelle est son évolution en fonction de ceux-ci. Cette grandeur est le plus souvent mesurable, mais elle peut également être qualitative.

3. Les objectifs

Le succès de la démarche originale des plans d'expériences réside dans la possibilité d'interprétation de résultats expérimentaux avec un effort minimal sur le plan expérimental : la minimisation du nombre nécessaire d'expériences permet un gain en temps et en coût financier. Pour ce faire, la méthode vise à optimiser la démarche expérimentale. Les points centraux de la méthode consistent à :

- ✓ Choisir le nombre n d'essais.
- ✓ Définir et mettre au point la matrice d'expériences qui indique dans quelles conditions chacun des n essais doit être réalisé.
- ✓ Choisir le modèle de régression qui dirigera la méthode d'interprétation.



4. Les étapes de mise en place d'un plan d'expériences

L'originalité de la méthode des plans d'expériences est sa globalité dans le sens où elle commence au niveau 0 de l'expérimentation, c'est-à-dire la position du problème. On peut, pour mettre en place un plan d'expériences, considérer les étapes suivantes :

1. Instruction du problème.
2. Construction de la matrice d'expérience.
3. Préparation et réalisation des essais.
4. Analyse des résultats.
5. Conclusion.
6. Validation éventuelle de la conclusion

5. Instruction du problème

La phase d'instruction du problème est fondamentale et radicalement différente des techniques statistiques usuelles. En effet, il s'agit de réfléchir avant d'agir. Elle vise à définir et à donner des informations afin de choisir la matrice et le nombre d'essais (n). Cette étape est l'occasion de rassembler tout le personnel intervenant sur le système. On peut caractériser les étapes suivantes :

1. Définir le problème.
2. Définir l'objectif.
3. Recenser les contraintes.
4. Définir la (ou les) réponse(s).
5. Définir les facteurs.
6. Définir les modalités ou niveaux des facteurs.
7. Pressentir les interactions.

6. Construire la matrice d'expériences

Dans cette étape, il s'agit de bâtir la matrice d'expériences, c'est-à-dire définir chacune des expériences à mener. Cette construction se présente sous forme d'un tableau appelé matrice d'expériences.

La matrice d'expériences est le tableau qui indique le nombre d'expériences à réaliser avec la façon de faire varier les facteurs et l'ordre dans lequel il faut réaliser les expériences.



7. Différents types des plans d'expériences

Il existe actuellement un nombre important de plans différents. Chacun, par ses propriétés, permet de résoudre certains problèmes particuliers. On peut cependant diviser les plans d'expériences en deux grandes catégories :

- ❖ Les plans pour étudier (estimer et comparer) les effets des paramètres.
- ❖ Les plans pour régler les paramètres afin d'atteindre un optimum.

Parmi ces plans :

➤ Plans de criblage

Ces plans sont conçus pour déterminer les facteurs les plus importants affectant une variable de réponse. La plupart de ces plans utilisent des facteurs à deux niveaux uniquement. Ces facteurs peuvent être quantitatifs ou qualitatifs.

➤ Plans en surface de réponse

Le problème consiste à connaître en n'importe quel point du domaine expérimental la valeur d'une ou plusieurs propriétés. L'objectif est de trouver les conditions expérimentales optimales pour une propriété étudiée ou de déterminer une zone de compromis acceptable.

Cette recherche passe par l'utilisation d'un modèle mathématique empirique pour représenter chaque réponse dans le domaine expérimental. Le modèle polynomial retenu est soit du premier degré soit du second degré.

Ces plans utilisent au minimum 3 niveaux pour les facteurs expérimentaux.

Parmi les plans proposés : *plans centrés composites*, *plans de Box- Behnken*, *plans factoriels à 3 niveaux ...*

➤ Plans factoriels complets

Plans factoriels complets : toutes les combinaisons des niveaux de facteurs sont présentes. [6]

Partie II : partie expérimentale

I. Diagramme d'Ishikawa

1. Introduction

Le diagramme d'ISHIKAWA ou (diagramme de causes-effets) est un outil qui permet d'identifier, dans une situation donnée, les causes possibles d'un effet constaté et donc de déterminer les moyens d'y remédier.

Cet outil se présente sous la forme d'arêtes de poisson classant les catégories de causes inventoriées selon la loi des **5 M** (**M**ilieu, **M**atière, **M**ain d'œuvre, **M**atériel et **M**éthode.)

2. Problématique

Nous avons appliqué la méthode des 5 M afin de trouver les causes de la granulation de la crème de fourrage de mille-feuille, la quantité de granulation à peu près de 600 g à 1kg pour chaque cuiseur.



Image 1 : la granulation de la crème au cours de filtration

3. Causes- solutions

Pour chaque cause, on a essayé de trouver une solution adéquate. Le tableau suivant regroupe les causes et les solutions proposées pour chaque catégorie :

Catégorie	Causes	hypothèses proposées
Milieu	Température	La température du stockage et du milieu du travail inconvenable
	Humidité	L'humidité de stockage et du milieu de travail faible
Méthode	Méthode de mélange	Mélangé par un mélangeur efficace
	La température d'eau	Eau chaude
	Vitesse de rotation	Vitesse de rotation faible
Main d'œuvre	Niveau de formation	Manque de la formation avant de commencer le travail
	Personnel non qualifié	Des responsables et des ouvriers sans diplômes spécial
Matière première	Type de sucre	non adéquat
	Type de farine	non adéquat
Matériel	Matériel traditionnel	Un peu ancien
	Qualité du cuiseur	Ne fonctionne pas bien

Tableau 2 : la solution proposée pour chaque cause

4. Diagramme d'Ishikawa

Grace au logiciel STATGRAPHICS, on construit le diagramme d'Ishikawa qui met en évidence les principales causes qui peuvent influencer.

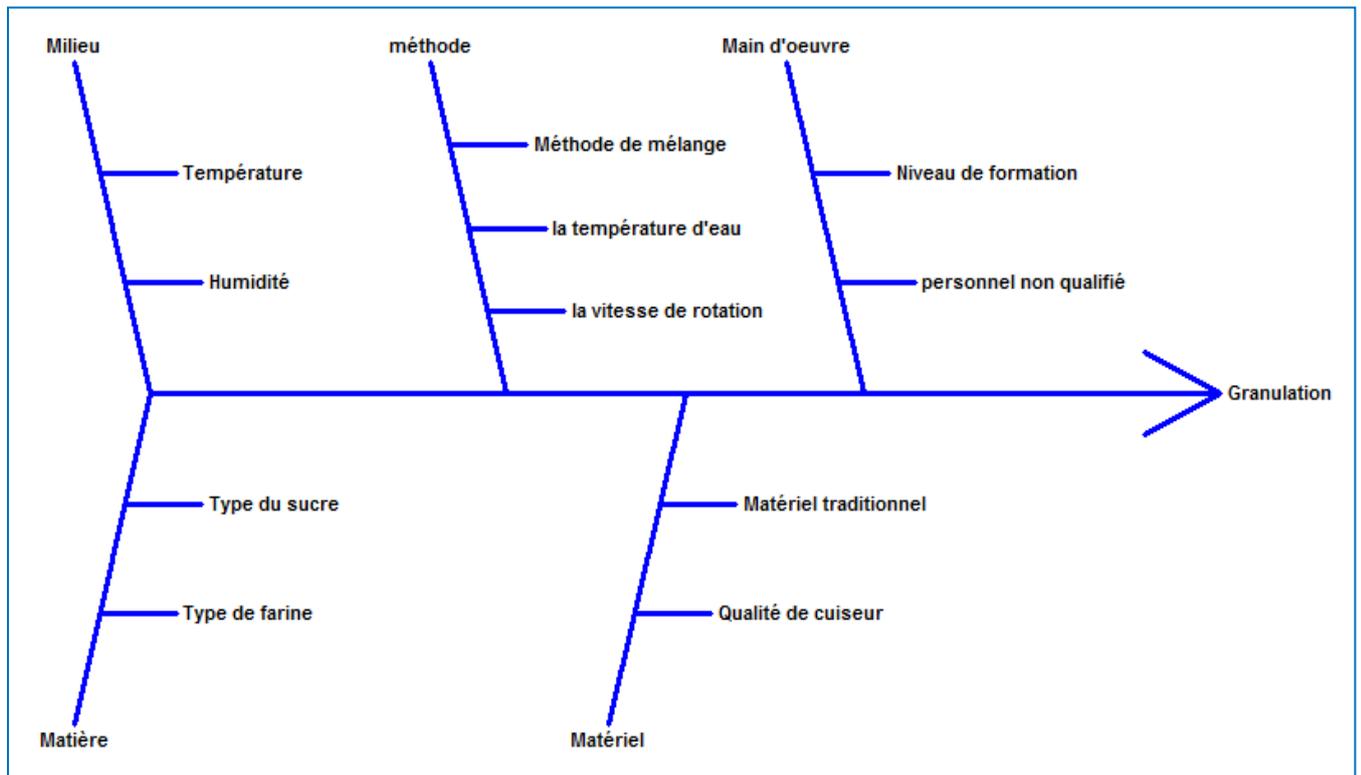


Figure 5 : Diagramme d'Ishikawa

✚ Au niveau de Milieu

La température et l'humidité du milieu de travail et de stockage sont adéquates, on n'arrive pas à trouver un problème au niveau du milieu.

✚ Au niveau de la Matière

- Le sucre : on utilise trois types de sucre; malgré le changement de la marque, de temps en temps, le résultat est le même.



Image 2 : différents types de sucre utilisé

- La farine : on utilise deux marques de farine : type 1 et type 2

- ❖ Type 1 : si on utilise cette marque de farine, on obtient un mauvais résultat.



Image 3 : la granulation de la crème, avec type 1 de la farine

- ❖ Type 2 : si on utilise ce type de farine, on obtient un bon résultat, pourtant il n'est pas parfait. Il reste à peu près de 100 g à 300 g de granulation dans chaque cuiseur.

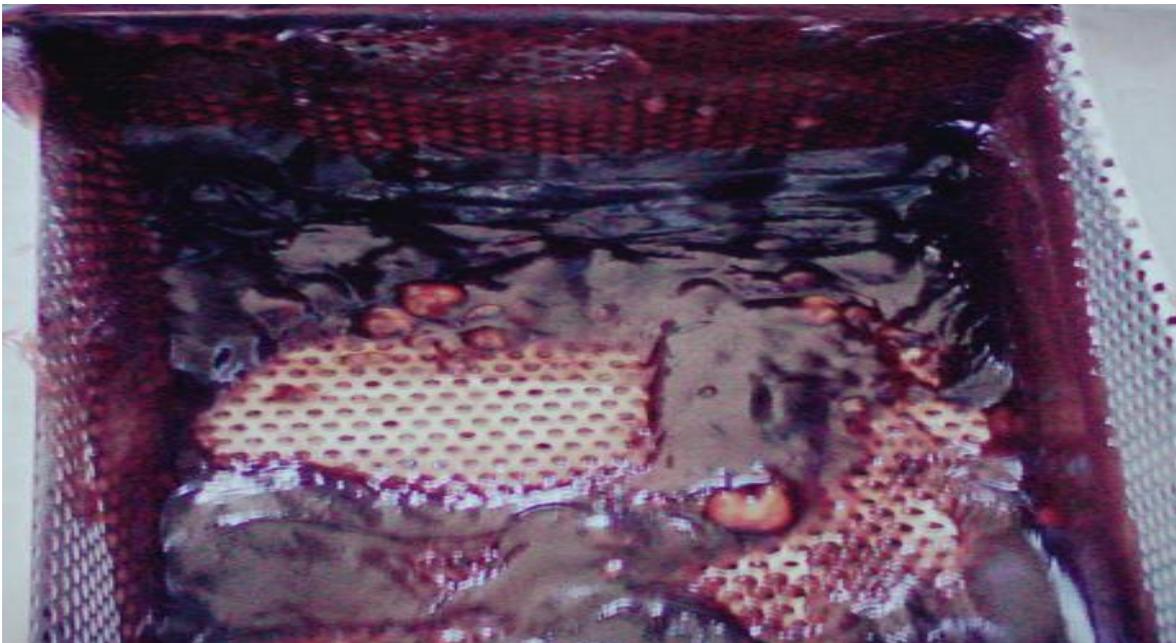


Image 4 : la granulation de la crème, avec type 2 de la farine

✚ Au niveau de la Méthode

- La vitesse de rotation du cuiseur n'affecte pas la granulation de la crème.
- La température de l'eau n'a pas d'effet.

- La méthode de mélange de la farine et du sucre, au lieu de mélanger de la farine avec du sucre manuellement, on a préféré un mélangeur électrique vu son efficacité.



Image 5 : mélangeur électrique de la farine et du sucre

- ❖ Si on utilise ce mélangeur avec le type 1 de la farine, on n'aura pas un bon résultat, et encore pire manuellement.
- ❖ Si on utilise ce mélangeur avec le type 2 de la farine, on aura à un bon résultat.

✚ Au niveau de la Main d'œuvre

Les ouvriers et chef d'équipe ont une bonne expérience, alors ils sont capables de faire ce travail.

✚ Au niveau du Matériel

- Le matériel de travail est assez correct pour avoir plus ou moins un bon résultat.

5. Conclusion

La granulation de la crème est un grand problème pour la société parce que malgré l'existence de filtres, les petites granules passent et cela donne une mauvaise qualité à la crème. Afin de résoudre ce problème, on a procédé au diagramme d'Ishikawa qui détecte le type de la farine et la méthode de mélange ayant affecté la granulation.

Après l'utilisation du type 2 de la farine avec le mélangeur électrique, on arrive à avoir une meilleure qualité de la crème (sans granulation) comme le montre l'image suivante.



Image 6 : la crème de fourrage sans granulation

II. Application du test d'ANOVA afin d'améliorer l'humidité et la viscosité

A. Cinq cuiseurs

Afin de déterminer la signification des variables étudiées ‘jour, cuisson, cuiseur’ sur la qualité de la crème de fourrage de mille-feuille, nous avons procédé à une analyse de variance (ANOVA) à 3 facteurs. Le test est effectué par logiciel MATLAB. Avant de faire ce test, il faut d'abord savoir la normalité de chaque distribution. On va utiliser le test la droite d'Henry par logiciel Minitab.

1. La normalité

a. L'humidité

Dans le souhait d'avoir une valeur d'humidité comprise entre 35% et 40%, pour assurer le manque de la moisissure si elle est supérieure à 40%, et de la dureté si elle est inférieure à 35%.

On a fait 60 essais, pendant quatre jours, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Jour	cuisson	cuiseur1	cuiseur2	cuiseur3	cuiseur4	cuiseur5
1	1	44,2	44,6	45,5	44,1	43,8
	2	40,0	41,2	39,7	38,5	41,6
	3	39,2	38,6	39,1	37,4	38,1
2	1	42,6	41,8	42,9	41,7	42,6
	2	36,8	42,2	41,9	37,9	37,3
	3	37,5	36,1	36,3	35,0	38,6
3	1	40,5	42,2	39,9	42,2	41,0
	2	38,3	37,4	36,1	36,3	37,5
	3	37,5	40,1	36,8	35,9	35,8
4	1	40,9	41,8	42,6	41,0	40,9
	2	35,2	35,0	35,6	35,9	39,7
	3	36,1	35,8	35,1	36,6	35,2

Tableau 3: résultats des essais pour savoir l'effet du jour, de la cuisson et du cuisEUR sur l'humidité

❖ Vérification de la normalité des données, selon la droite d'Henry.

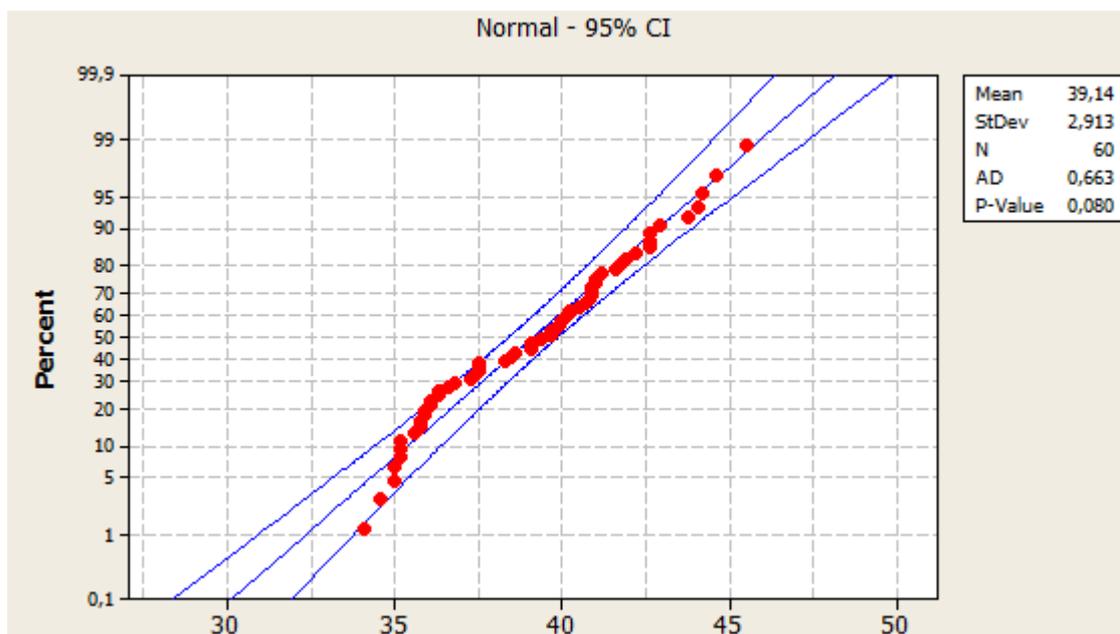


Figure 6 : la normalité de la distribution de l'humidité

➤ Selon la droite d'Henry ($P\text{-value} = 0,08 > 0,05$), la distribution de l'humidité suit la loi normale à seuil de 5%

b. La viscosité

Pour avoir une bonne qualité de la crème, ni dure ni légère, la viscosité doit être comprise entre 10 pa.s et 11.5 pa.s.

On a fait 60 essais, pendant quatre jours, les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant :

Jour	Cuisson	cuiseur1	cuiseur2	cuiseur3	cuiseur4	cuiseur5
1	1	8,56	8,16	7,68	7,39	8,68
	2	8,61	8,79	9,32	9,82	8,12
	3	10,81	11,74	11,37	10,89	11,87
2	1	9,5	9,69	9,66	9,46	9,19
	2	11,04	9,93	10,06	10,71	10,52
	3	10,47	10,97	11,33	11,61	10,41
3	1	9,56	9,62	10,06	9,01	9,9
	2	10,2	10,42	11,31	11,5	10,79
	3	10,08	10,15	11,53	11,7	11,41
4	1	9,21	9,09	8,92	9,19	9,51
	2	11,94	11,72	10,48	10,13	10,5
	3	10,56	11,79	11,22	10,06	11,27

Tableau 4 : résultats des essais pour savoir l'effet du jour, de la cuisson et du cuisEUR sur la viscosité

❖ Vérification de la normalité des données, selon la droite d'Henry.

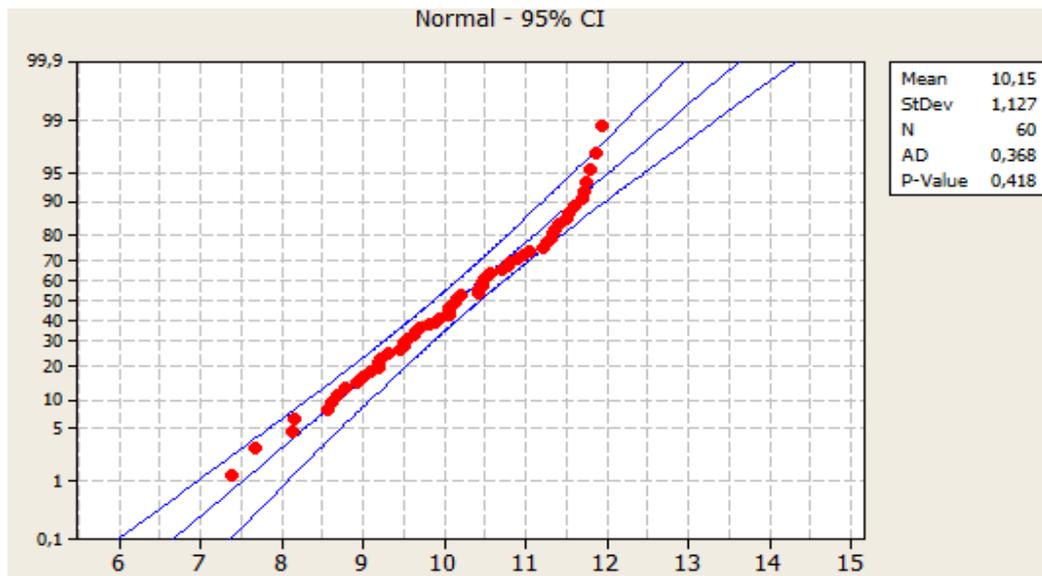


Figure 7 : la normalité de la distribution de la viscosité

➤ Selon la droite d'Henry (P-value = 0.418), la distribution de la viscosité suit la loi normale au niveau de risque 5%

2. Test d'ANOVA

L'analyse de la variance à trois facteurs teste l'effet des facteurs sur les moyennes d'une variable quantitative Y. Les hypothèses du test analyse de la variance (ANOVA) se présente comme suit :

- ❖ Hypothèse H_0 : les moyennes sont du même ordre de grandeur (le test statistique n'est pas significatif) à seuil de 5%
- ❖ Hypothèse H_1 : les moyennes ne sont pas du même ordre de grandeur (le test statistique est significatif)

a. L'humidité

On fait le test ANOVA à 3 facteurs. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Analysis of Variance					
Source	Sum Sq.	d. f.	Mean Sq.	F	Prob>F
X1	87.655	3	29.218	16.07	0
X2	311.166	2	155.583	85.59	0
X3	9.132	4	2.283	1.26	0.2998
Error	90.893	50	1.818		
Total	498.846	59			

Figure 8: ANOVA à 3 facteurs de l'humidité

Interprétation :

- ✓ jour (X1) : on a quatre jours et P-value = 0.00, alors on accepte l'hypothèse H_1 , c'est-à-dire que les quatre jours ne sont pas du même ordre de grandeur, il y a un effet de jour.
- ✓ Cuisson (X2) : on a trois cuissons et P-value = 0.00, on accepte l'hypothèse H_1 , c'est-à-dire, les trois cuissons ne sont pas du même ordre de grandeur, il y a un effet de cuisson.
- ✓ Cuiseur (X3) : on a cinq cuiseurs et P-value = 0.2998, on accepte l'hypothèse H_0 c'est-à-dire que les cinq cuiseurs sont du même ordre de grandeur, alors il n'y a pas un effet de cuiseur.

b. La viscosité

On fait le test ANOVA à 3 facteurs. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Analysis of Variance					
Source	Sum Sq.	d.f.	Mean Sq.	F	Prob>F
X1	9.5682	3	3.1894	6.19	0.0012
X2	43.3759	2	21.6879	42.12	0
X3	0.3867	4	0.0967	0.19	0.9437
Error	25.7474	50	0.5149		
Total	79.0781	59			

Figure 9 : ANOVA à 3 facteurs de la viscosité

Interprétation :

- ✓ jour (X1) : on a quatre jours et P-value = 0.0012, alors on accepte l'hypothèse H1, c'est-à-dire les quatre jours ne sont pas du même ordre de grandeur, il y a un effet de jour.
- ✓ Cuisson (X2) : on a trois cuissons et P-value = 0.00, on accepte hypothèse H1, c'est-à-dire que les trois cuissons ne sont pas du même ordre de grandeur, il y a un effet de cuisson.
- ✓ Cuiseur (X3) : on a cinq cuiseurs et P-value = 0.9437, on accepte l'hypothèse H0, c'est-à-dire les cinq cuiseurs sont du même ordre de grandeur, alors il n'y a pas un effet de cuiseur.

Conclusion

Ayant trois facteurs, les cinq cuiseurs n'ont pas d'effet, que ce soit sur l'humidité ou sur la viscosité pendant quatre jours, les trois cuissons ont un effet significatif, les quatre jours ne sont pas du même ordre de grandeur.

3. Comparaison des moyennes

Pour déterminer quelles moyennes (cuissons, jours) sont significativement différentes des autres, on va utiliser le test des étendues multiples à l'aide de logiciel STATGRAPHICS.

A. Comparaison des moyennes des cuissons.

a. L'humidité

Pendant quatre jours, on a fait trois cuissons par jour. Les résultats obtenus pour l'humidité de la crème de fourrage de mille-feuille sont donnés dans le tableau ci-dessous.

cuisson1	cuisson2	cuisson3
44,2	40	39,2
44,6	41,2	38,6
45,5	39,7	39,1
44,1	38,5	37,4
43,8	41,6	38,1
42,6	36,8	37,5
41,8	42,2	36,1
42,9	41,9	36,3
41,7	37,9	35
42,6	37,3	38,6
40,5	38,3	37,5
42,2	37,4	40,1
39,9	36,1	36,8
42,2	36,3	35,9
41	37,5	35,8
40,9	35,2	36,1
41,8	35	35,8
42,6	35,6	35,1
41	35,9	36,6
40,9	39,7	35,2

Tableau 5 : données de l'humidité des trois cuissons

❖ Test des étendues Multiples :

Méthode: 95,0 % LSD			
	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
cuisson3	20	37,04	X
cuisson2	20	38,205	X
cuisson1	20	42,34	X

Figure 10: test des étendues Multiples de l'humidité des trois cuissons

- Trois cuissons ne sont pas homogènes, il y a une différence significative entre les trois cuissons.

b. La viscosité

Pendant quatre jours, on a fait trois cuissons par jour. Les résultats obtenus pour la viscosité de la crème de fourrage de mille-feuille sont donnés dans le tableau ci-dessous.

cuisson1	cuisson2	cuisson3
8,56	8,61	10,81
8,16	8,79	11,74
7,68	9,32	11,37
7,39	9,82	10,89
8,68	8,12	11,87
9,5	11,04	10,47
9,69	9,93	10,97
9,66	10,06	11,33
9,46	10,71	11,61
9,19	10,52	10,41
9,56	10,2	10,08
9,62	10,42	10,15
10,06	11,31	11,53
9,01	11,5	11,7
9,9	10,79	11,41
9,21	11,94	10,56
9,09	11,72	11,79
8,92	10,48	11,22
9,19	10,13	10,06
9,51	10,5	11,27

Tableau 6: données de la viscosité des trois cuissons

❖ Test des étendues Multiples :

	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
cuisson1	20	9,102	X
cuisson2	20	10,2955	X
cuisson3	20	11,062	X

Figure 11 : test des étendues Multiples de la viscosité des trois cuissons

- Trois cuissons ne sont pas homogènes, il y a une différence significative entre les trois cuissons.

Interprétation :

Les trois moyennes sont statistiquement différentes (ne sont pas homogènes). La moyenne de l'humidité concernant la première cuisson est plus élevée. La moyenne concernant la viscosité est plus basse à l'encontre des deux autres (moyennes deuxième et troisième cuisson), tout cela à cause de la vapeur insuffisante pour les cinq cuiseurs pendant la première cuisson.

B. Comparaison des moyennes des jours

On a effectué ce test afin de connaître la différence entre les jours, grâce au test des étendues multiples par le logiciel STATGRAPHICS.

a. L'humidité

Pendant quatre jours, on a fait 60 essais pour l'humidité, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant.

jour1	jour2	jour3	jour4
44,2	42,6	40,5	40,9
44,6	41,8	42,2	41,8
45,5	42,9	39,9	42,6
44,1	41,7	42,2	41
43,8	42,6	41	40,9
40	36,8	38,3	35,2
41,2	42,2	37,4	35
39,7	41,9	36,1	35,6
38,5	37,9	36,3	35,9
41,6	37,3	37,5	39,7
39,2	37,5	37,5	36,1
38,6	36,1	40,1	35,8
39,1	36,3	36,8	35,1
37,4	35	35,9	36,6
38,1	38,6	35,8	35,2

Tableau 7 : données de l'humidité pendant quatre jours

❖ Test des étendues Multiples :

Méthode: 95,0 % LSD			
	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
jour4	15	37,8267	X
jour3	15	38,5	X
jour2	15	39,4133	XX
jour1	15	41,04	X

Figure 12 : test des étendues Multiples de l'humidité des quatre jours

- Les quatre jours ne sont pas homogènes, il y a un effet du jour sur l'humidité

b. La viscosité

Pendant quatre jours, on a fait 60 essais pour la viscosité, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant.

jour1	jour2	jour3	jour4
8,56	9,5	9,56	9,21
8,16	9,69	9,62	9,09
7,68	9,66	10,06	8,92
7,39	9,46	9,01	9,19
8,68	9,19	9,9	9,51
8,61	11,04	10,2	11,94
8,79	9,93	10,42	11,72
9,32	10,06	11,31	10,48
9,82	10,71	11,5	10,13
8,12	10,52	10,79	10,5
10,81	10,47	10,08	10,56
11,74	10,97	10,15	11,79
11,37	11,33	11,53	11,22
10,89	11,61	11,7	10,06
11,87	10,41	11,41	11,27

Tableau 8 : données de la viscosité pendant quatre jours

❖ Test des étendues Multiples :

	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
jour1	15	9,454	X
jour2	15	10,3033	X
jour4	15	10,3727	X
jour3	15	10,4827	X

Figure 13 : test des étendus Multiples de la viscosité des trois cuissons

- Les quatre jours ne sont pas homogènes, c'est-à-dire il y a un effet du jour sur la viscosité

Interprétation :

- Le jour 2 (Mardi), le jour 3 (Mercredi) et le jour 4 (jeudi) sont statistiquement homogènes, c'est-à-dire sont du même ordre de grandeurs.
- Le jour1 (lundi) est plus différent des autres jours, tout cela à cause de la chaudière, parce que la chaudière ne fonctionne pas la nuit du samedi et le dimanche, cela la rend froide par rapport aux autres jours. La chaudière a besoin de temps pour augmenter la pression de sa vapeur à 6 bars, car la vapeur insuffisante pour cinq cuiseurs. Comme solution proposée, c'est de recommencer les travaux le lundi matin à 8h:30min au lieu de 6h:30min.



Conclusion

La vapeur est insuffisante pour cinq cuiseurs. Afin de résoudre ce problème, on a adopté une solution de réduire le nombre de cuiseur à trois au lieu de cinq.

B. Trois cuiseurs

On va essayer de voir est ce que les solutions qu'on a proposé sont efficaces afin de résoudre nos problèmes, concernant la crème de fourrage de mille-feuille ou pas, donc on va travailler seulement avec trois cuiseurs.

1. La normalité

a. L'humidité

On a fait 36 essais de l'humidité, pendant quatre jours, les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant :

Jour	Cuisson	cuiseur1	cuiseur2	cuiseur3
1	1	40,1	39,4	39,2
	2	38,4	36,5	38,4
	3	38,8	40,2	36,5
2	1	39,3	40	40,1
	2	38,8	36,8	37,8
	3	39	36,1	38,4
3	1	38,3	37,9	38,6
	2	38,9	38,7	38,3
	3	37,3	37,1	38,2
4	1	37	38,1	38,7
	2	38,9	36,3	38,4
	3	37,8	37,6	40,8

Tableau 9 : résultats des essais pour voir l'effet du jour, de la cuisson et du cuiseur sur l'humidité

❖ Vérification de la normalité des données :

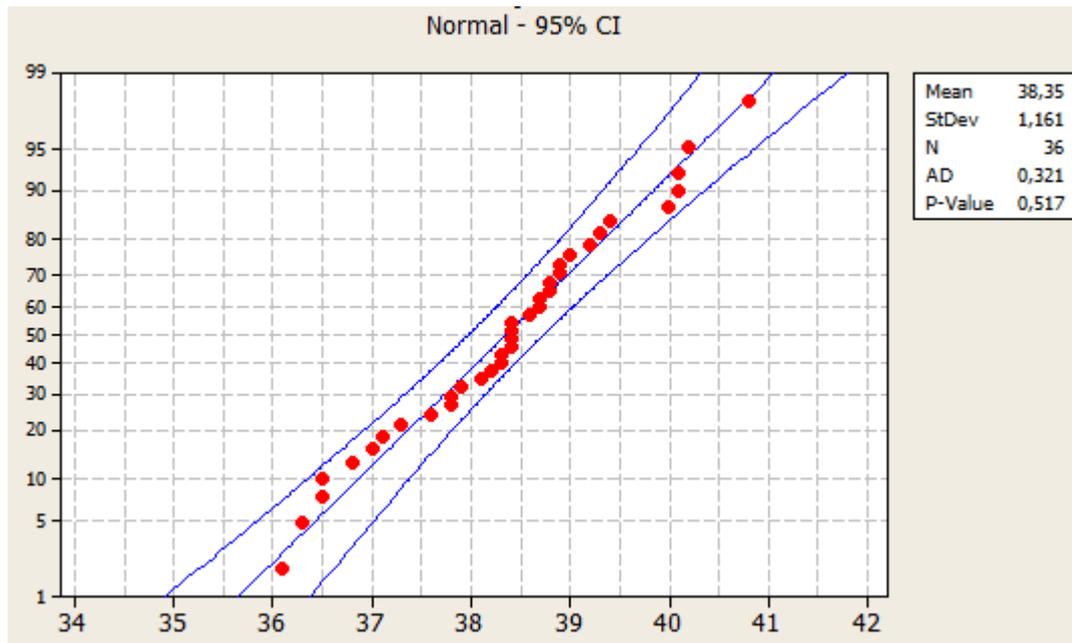


Figure 14 : la normalité de la distribution de l'humidité

- Selon la droite d'Henry P-value = 0.517, la distribution d'humidité suit la loi normale au niveau de risque 5%

b. La viscosité

On a fait 36 essais de la viscosité, pendant quatre jours, les résultats obtenus se présentent dans le tableau suivant :

Jour	Cuisson	cuiseur1	cuiseur2	cuiseur3
1	1	10,07	9,86	9,75
	2	10,64	11,73	11,68
	3	9,51	11,67	11,7
2	1	10,48	11,64	11,9
	2	9,82	11,22	11,23
	3	10,18	11,26	9,69
3	1	9,76	11,85	10,18
	2	10,33	10,35	10,22
	3	9,78	10,49	10,54
4	1	10,54	9,95	9,76
	2	10,46	11,42	10,65
	3	11,08	9,07	9,96

Tableau 10 : résultats d'essais pour voir l'effet du jour, de la cuisson et du cuisEUR sur la viscosité

❖ Vérification de la normalité des données

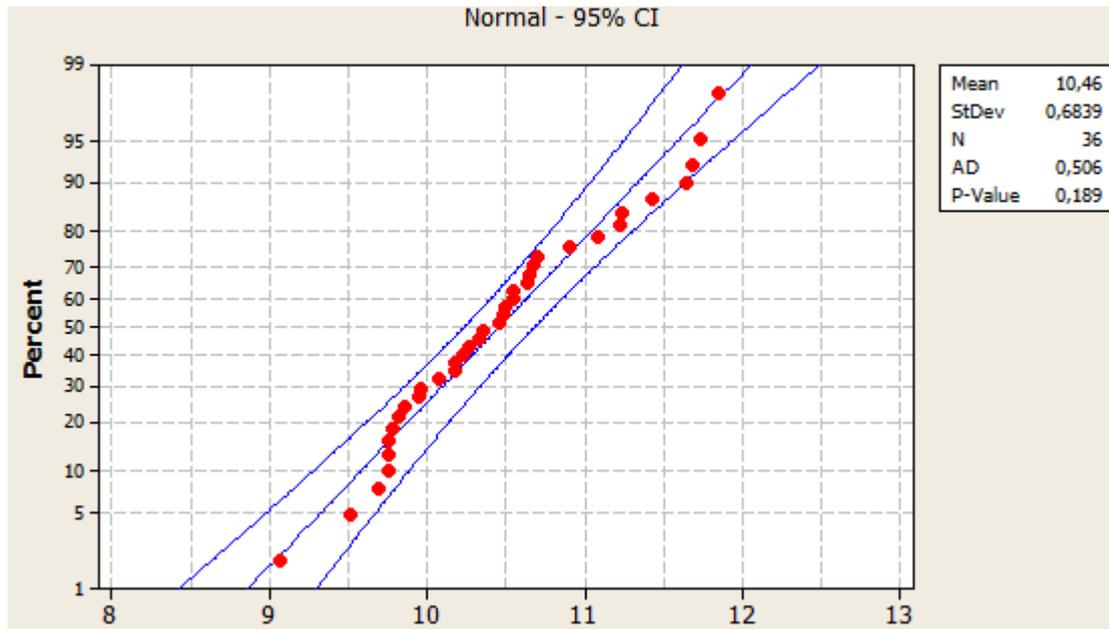


Figure 15 : la normalité de la distribution de la viscosité

- Selon la droite d'henry P-value =0.189, la distribution de la viscosité suit la loi normale au niveau de risque 5%

2. Test d'ANOVA

a. L'humidité

❖ Table d'ANOVA

Analysis of Variance					
Source	Sum Sq.	d. f.	Mean Sq.	F	Prob>F
X1	1.4075	3	0.46917	0.36	0.7832
X2	5.3339	2	2.66694	2.04	0.149
X3	3.8539	2	1.92694	1.47	0.2463
Error	36.6144	28	1.30766		
Total	47.2097	35			

Figure 16 : test ANOVA à 3 facteurs de l'humidité

Interprétation

- ✓ jour (X1) : on a quatre jours et P-value = 0.7832, alors on accepte l'hypothèse H0, c'est-à-dire que les quatre jours sont du même ordre de grandeur, il n'y a pas un effet de jour.



- ✓ Cuisson (X2) : on a trois cuissons et P-value = 0.149, on accepte l'hypothèse H0, c'est-à-dire les trois cuissons sont du même ordre de grandeur, il n'y a pas un effet cuisson.
- ✓ Cuiseur (X3) : on a trois cuiseurs et P-value = 0.2463, on accepte l'hypothèse H0, c'est-à-dire les que cinq cuiseurs sont du même ordre de grandeur, alors il n'a y pas un effet de cuiseur.

b. La viscosité

❖ Table d'ANOVA

Analysis of Variance					
Source	Sum Sq.	d.f.	Mean Sq.	F	Prob>F
X1	1.6785	3	0.5595	0.98	0.4152
X2	1.1102	2	0.55512	0.97	0.3897
X3	2.5998	2	1.29992	2.28	0.1207
Error	15.9469	28	0.56953		
Total	21.3355	35			

Figure 17 : test ANOVA à 3 facteurs de la viscosité

Interprétation :

- ✓ jour (X1) : on a quatre jours et P-value = 0.415, alors on accepte l'hypothèse H0, c'est-à-dire les quatre jours sont du même ordre de grandeur, il n'y a pas un effet de jour.
- ✓ Cuisson (X2) : on a trois cuissons et P-value = 0.389, on accepte l'hypothèse H0, c'est-à-dire que les trois cuissons sont du même ordre de grandeur, il n'y a pas un effet cuisson.
- ✓ Cuiseur (X3) : on a trois cuiseurs et P-value = 0.12, on accepte l'hypothèse H0 c'est-à-dire les cinq cuiseurs sont du même ordre de grandeur, alors il n'a y pas un effet de cuiseur.

3. Comparaison des moyennes

Pour déterminer quelles moyennes significativement différentes des autres, on va utiliser le test des étendues multiples.

A. Comparaisons des moyennes des cuissons

a. L'humidité

cuisson1	cuisson2	cuisson3
40,1	38,4	38,8
39,4	36,5	36,2
39,2	38,4	40,5
39,3	38,8	39
40	36,8	36,1
40,1	37,8	38,4
38,3	38,9	37,3
37,9	38,7	37,1
38,6	38,3	38,2
37	38,9	37,8
38,1	36,3	37,6
38,7	38,4	40,8

Tableau 11 : Essais de l'humidité des trois cuissons

❖ Test des étendues Multiples

	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
cuisson2	12	38,0167	X
cuisson3	12	38,15	X
cuisson1	12	38,8917	X

Figure 18 : test des étendues Multiples de l'humidité des trois cuissons

- Donc selon le test des étendues multiples on conclut que les moyennes des trois cuissons sont homogènes, c'est à dire les trois cuissons sont du même ordre de grandeur.

b. La viscosité

cuisson1	cuisson2	cuisson3
10,07	10,64	9,51
9,86	11,73	11,67
9,75	11,68	11,7
10,48	9,82	10,18
11,64	11,22	11,26
11,9	11,23	9,69
9,76	10,33	9,78
11,85	10,35	10,49
10,18	10,22	10,54
10,54	10,46	11,08
9,95	11,42	9,07
9,76	10,65	9,96

Tableau 12 : Essais de la viscosité des trois cuissons

❖ Test des étendues Multiples

	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
cuisson3	12	10,4108	X
cuisson1	12	10,4783	X
cuisson2	12	10,8125	X

Figure 19 : test des étendues Multiples de la viscosité des trois cuissons

- Donc selon le test des étendues multiples, on conclut que les moyennes des trois cuissons sont homogènes, c'est à dire les trois cuissons sont du même ordre de grandeur.

B. Comparaison des moyennes de quatre jours

a. L'humidité

jour1	jour2	jour3	jour4
40,1	39,3	38,3	37
39,4	40	37,9	38,1
39,2	40,1	38,6	38,7
38,4	38,8	38,9	38,9
40,5	36,8	38,7	36,3
38,4	37,8	38,3	38,4
38,8	39	37,3	37,8
36,2	36,1	37,1	37,6
36,5	38,4	38,2	40,8

Tableau 13 : Essais de l'humidité pendant quatre jours

- Test des étendues Multiples

	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
Jour3	9	38,1444	X
Jour1	9	38,1667	X
Jour4	9	38,1778	X
Jour2	9	38,4778	X

Figure 20 : test des étendues Multiples de l'humidité pendant quatre jours

- Selon le test des étendues multiples, on conclut que les moyennes des quatre jours sont homogènes.

b. La viscosité

jour1	jour2	jour3	jour4
11,79	11,93	10,42	11,72
10,32	10,06	11,31	10,48
10,82	10,71	11,5	10,13
11,12	10,52	10,79	10,5
10,81	10,47	10,08	10,56
11,74	10,97	10,15	11,79
11,37	11,33	11,53	11,22
10,89	11,61	11,7	10,06
11,87	10,41	11,41	11,27

Tableau 14 : Essais de la viscosité pendant quatre jours

- ❖ Test des étendues Multiples

	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
jour4	9	10,3211	X
jour3	9	10,3889	X
jour1	9	10,7344	X
jour2	9	10,8244	X

Figure 21 : test des étendues Multiples de la viscosité pendant quatre jours

- Selon le test des étendus multiples, on conclut que les moyennes de quatre jours sont homogènes, c'est à dire les quatre jours sont du même ordre de grandeur.



Conclusion

- L'équipe du matin fait trois cuissons avec cinq cuiseurs chaque jour. Malgré tout on n'arrive pas à améliorer la qualité de la crème quand on travaille par cinq cuiseurs, car cinq cuiseurs demandent plus de vapeur. Malheureusement la chaudière ne peut pas satisfaire tout les cinq cuiseurs surtout à la première cuisson. Alors comme solution proposé c'est de réduire le nombre des cuiseurs à trois au lieu de cinq. Cette solution donne une bonne efficacité.
- Les équipes produisant la crème sont au nombre de deux (équipe du matin et équipe du soir). Elles travaillent presque 20 heures pendant chaque jour sauf le samedi et le dimanche. On a proposé une solution pour le lundi : celle de commencer la production à 8h:30min au lieu de 6h:30min. Et comme cela, on peut assurer une vapeur suffisante pour trois cuiseurs afin d'avoir une bonne qualité de la crème de fourrage de mille-feuille et le produit en générale.

III. Le criblage des paramètres influençant la qualité de la crème

A. Plan de criblage

1. Introduction

Le plan de criblage offre la possibilité d'estimation des effets moyens des facteurs étudiés et de sélectionner les facteurs les plus influents. En raison du grand nombre des facteurs à étudier, on a choisi un Plan de Plackett et Burman ou matrice d'HADAMARD.

On a quatre facteurs, donc au total il y a 5 inconnus à déterminer : la constante (a_0) et les 4 effets principaux des facteurs X_i . Le nombre N d'essais expérimentaux distincts à réaliser est égal un multiple de 4 immédiatement supérieur ou égal au nombre K d'inconnus à estimer. (Nombre d'essais = multiple de $4 \geq k+1$).

Dans notre cas, on aura 8 essais. R.L. plackett et J.P. Burman ont généralisé la méthode de construction de tels plans d'expériences.

2. Facteurs étudiés

Le choix des facteurs entrants dans le plan d'expériences et leurs bornes respectives nécessitent néanmoins une bonne connaissance du procédé de la crème de fourrage de mille-feuille et une large discussion avec l'équipe de pilotage.

Etape 2 :

Pour le dernier essai, il faut mettre tous les facteurs au niveau -1.

Donc la matrice d'expériences est la suivante :

N°Exp	X1	X2	X3	X4
1	1	1	1	-1
2	-1	1	1	1
3	-1	-1	1	1
4	1	-1	-1	1
5	-1	1	-1	-1
6	1	-1	1	-1
7	1	1	-1	1
8	-1	-1	-1	-1

Tableau 15 : matrice d'expériences

4. Domaine expérimental

Le domaine expérimental du plan de criblage est illustré dans le tableau ci-dessous :

Facteur	Sucre (X ₁)	Farine (X ₂)	Temps (X ₃)	Eau (X ₄)
Unité	Kg	Kg	min	Kg
niveau bas (-1)	195	36	50	220
niveau haut (1)	210	50	65	240

Tableau 16 : Domaine expérimentale du Plan de criblage

5. Plans d'expériences et résultats des essais

N° Exp	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2
	Kg	Kg	Min	Kg	%	Pa.s
1	210	50	65	220	34.10	12.05
2	195	50	65	240	39.80	9.60
3	195	36	65	240	44.70	7.11
4	210	36	50	240	45.60	6.91
5	195	50	50	220	35.30	11.74
6	210	36	65	220	36.60	11.01
7	210	50	50	240	40.90	8.73
8	195	36	50	220	43.10	6.32

Tableau 17 : plans d'expériences et résultats des essais du plan de criblage



Avec

$$\left\{ \begin{array}{l} Y1 : \text{humidité de la crème de fourrage} \\ Y2 : \text{viscosité de la crème de fourrage} \end{array} \right.$$

B. Analyse mathématique des résultats des essais

Le modèle mathématique postulé est un modèle polynomial ne faisant intervenir que les termes du premier degré :

$$Y = b_0 + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + b_3 * X_3 + b_4 * X_4$$

Y est la réponse, b_0 est la moyenne, et b_i les effets des facteurs

Pour faciliter les calculs, on a utilisé le logiciel NEMRODW. L'équation de chaque réponse est donnée ci-après.

$$Y_1 = 40.013 - 0.712 * X_1 - 2.488 * X_2 - 1.212 * X_3 + 2.737 * X_4$$

$$Y_2 = 9.184 + 0.491 * X_1 + 1.346 * X_2 + 0.759 * X_3 - 1.096 * X_4$$

1. Analyse graphique du modèle

Une communication des résultats sous forme de graphiques favorise les échanges entre les différents participants d'une réunion de travail et facilite souvent l'interprétation des informations obtenues.

Pour illustrer les effets moyens des facteurs, on utilise le diagramme en bâtons et le diagramme de Pareto.

a. Diagramme en bâton-tracé des effets des facteurs

La construction du tracé des effets moyens utilise les valeurs des coefficients b_i calculés par le modèle. La surface de chaque bâton est proportionnelle à la valeur de l'effet de ce facteur sur la variation de la réponse.

❖ Graphe des effets des facteurs sur la réponse Y1 (humidité)

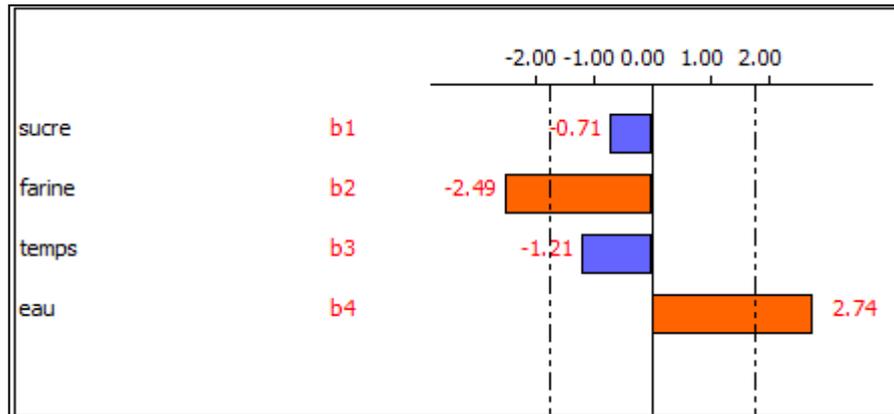


Figure 23 : Graphe des effets des facteurs sur Y1

Après l'étude graphique présentée, on montre que la quantité d'eau a un effet positif et plus influant ($b_4 = 2.74$). La quantité de la farine a un effet négatif ($b_2 = -2.49$). Ensuite le temps de cuisson ($b_3 = -1.21$) et la quantité de sucre ($b = -0.71$) ont aussi un effet négatif.

❖ Graphe des effets des facteurs sur la réponse Y2 (viscosité)

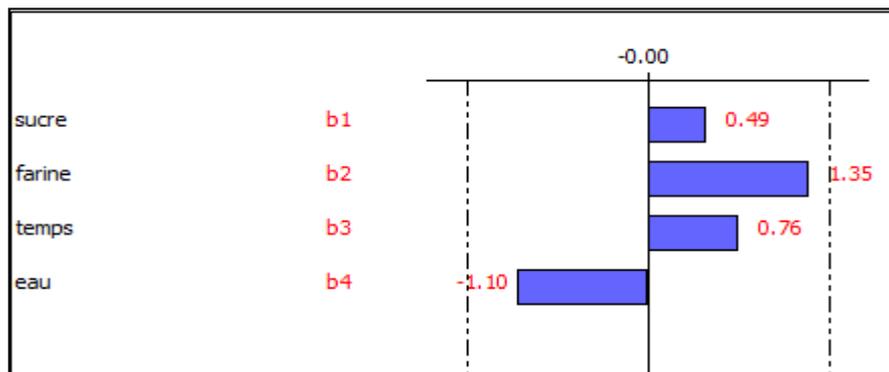


Figure 24 : Graphe des effets des facteurs sur Y2

Après l'étude graphique présentée, on montre que la quantité de farine a un grand effet positif sur la viscosité ($b_2 = 1.35$). La quantité d'eau a un effet négatif ($b = -1.10$). Ensuite le temps de cuisson ($b_3 = 0.51$) et la quantité du sucre ($b_1 = 0.24$) ont un effet positif.

b. Diagramme de Pareto

Il est possible de décomposer la variation d'une réponse à partir des contributions apportées par chacun des facteurs dans un modèle.

Les contributions des facteurs sont alors ordonnées par ordre décroissant puis représentées sous forme de diagramme en bâtons. Le diagramme de Pareto est complémentaire au tracé des effets des facteurs. Il permet de déterminer les facteurs influents par ordre de contribution

décroissante. Il est également possible de tracer la fonction cumulée de ces contributions : les valeurs sont alors additionnées au fur et à mesure.

❖ **Graphes de Pareto et de cumulé de la réponse Y1 (humidité)**

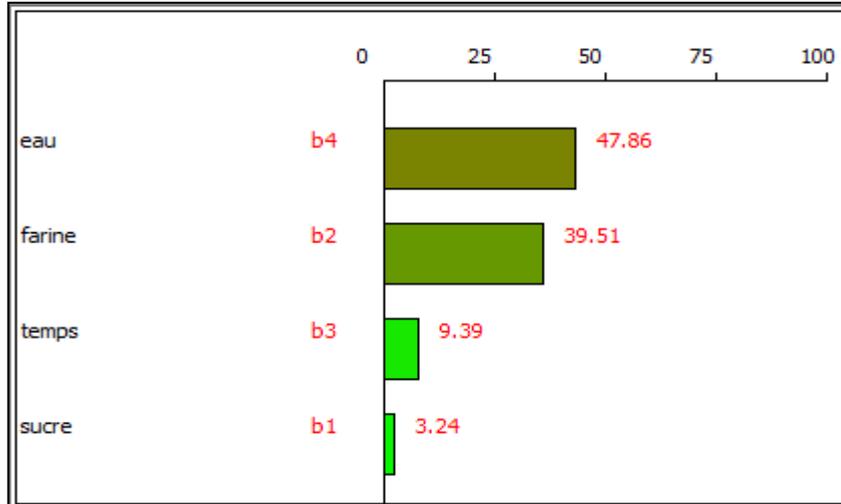


Figure 25 : Effet de Pareto individuel sur Y1

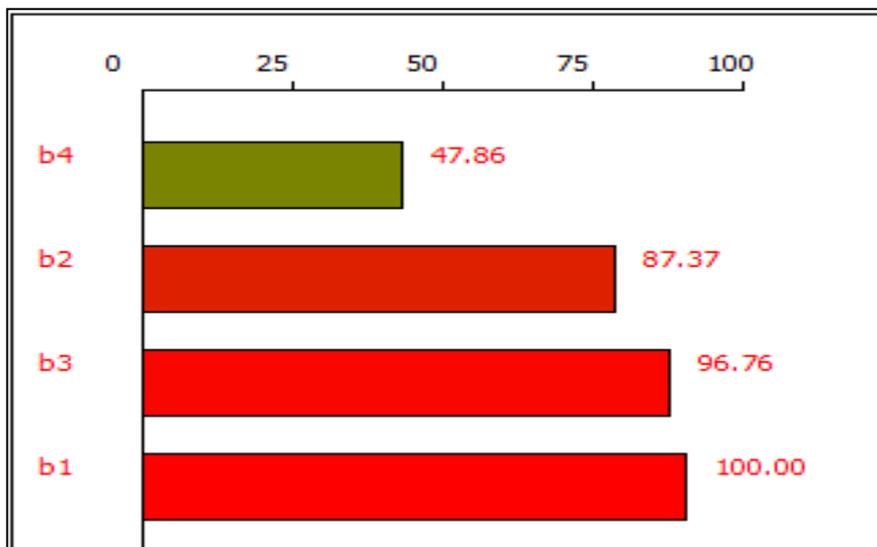


Figure 26 : Effet Pareto cumulé sur Y1

L'eau est considérée comme facteur le plus influent avec un taux de 47.86%, suivi de la farine (39.51%). Ces deux facteurs expliquent 87.37% d'information sur la réponse. Alors on peut négliger l'effet des deux facteurs restant.

❖ Graphe de Pareto et de cumulé de la réponse Y2 (viscosité)

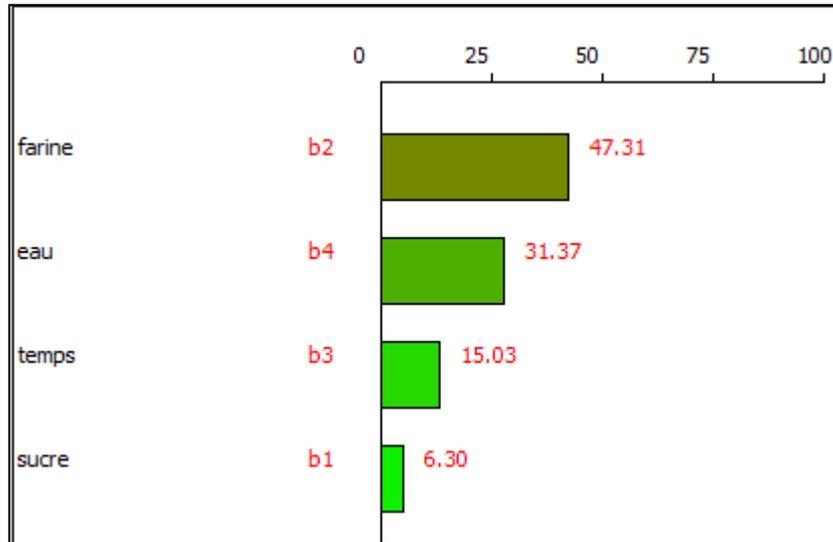


Figure 27 : Effet Pareto individuel sur Y2

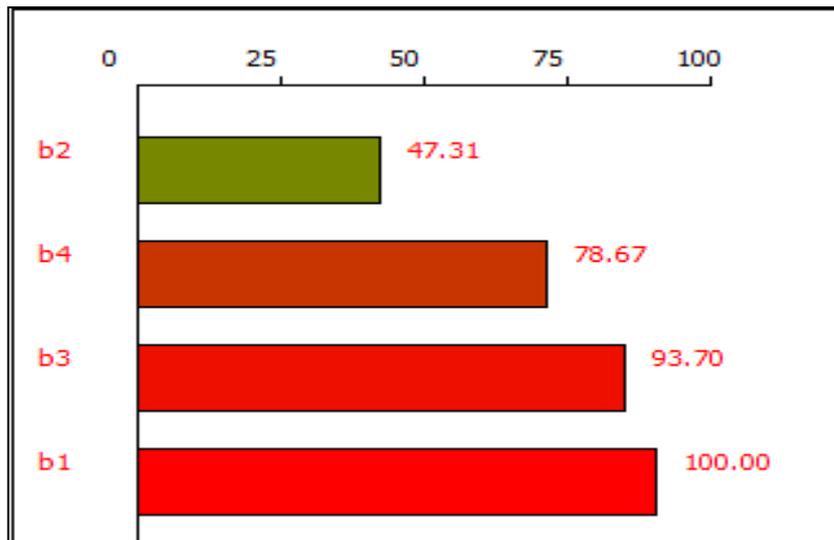


Figure 28 : Effet Pareto cumulé sur Y2

La farine est considérée le facteur plus influent par 47.31%, ainsi l'eau par 31.37%, ces deux facteurs expliquent 78.67% d'information sur la réponse, alors on peut aussi négliger l'effet des deux facteurs restant.



Conclusion

Afin d'améliorer la qualité de la crème de fourrage de mille-feuille, on a étudié quatre facteurs qui sont ; le sucre, la farine, l'eau et le temps de cuisson.

Après l'analyse des Graphes des effets des facteurs, on révèle que l'eau a un effet négatif sur la viscosité et un effet positif sur l'humidité. La farine, le sucre et le temps de cuisson ont un effet négatif sur l'humidité et un effet positif sur la viscosité.

Selon les graphes des Pareto et Pareto cumulé, on conclue qu'il y a deux facteurs plus influents sur les deux réponses : la farine et l'eau. Alors afin d'avoir une bonne qualité de la crème de fourrage de mille-feuille, il faut vérifier la quantité des ces deux facteurs.



Conclusion générale

Notre objectif au sein de la société AL HANINI est l'amélioration de la qualité de la crème de fourrage de mille-feuille, ce qui demande de faire une étude générale sur le processus de production.

Dans le premier chapitre, grâce au diagramme d'Ishikawa, on a montré que la qualité de la farine et la méthode de mélange de la farine avec le sucre sont responsables sur la granulation de la crème, autrement dit le type 2 de la farine est adéquat, le mélangeur électrique est efficace et le résultat est positif.

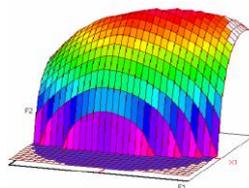
Espérant avoir une humidité dans un intervalle de 35% à 40% et une viscosité de 10 pa.s à 11.5 pa.s, alors pour cela on fait le test d'ANOVA à 3 facteurs, à partir de ce test on conclut qu'il y a une différence entre les jours et aussi entre les cuissons, parce que la vapeur n'est pas stable dans tous les jours et même pendant les trois cuissons. A la première cuisson et le premier jour La chaudière ne peut pas produire une vapeur suffisante pour les cinq cuiseurs, donc on réduit le nombre de cuiseurs à 3 afin de détenir une humidité et une viscosité dans un intervalle désirable

Afin de savoir quel ingrédient a un poids important, faisant le plan de criblage qui nous permet de savoir quels facteurs influant sur l'humidité et la viscosité, à partir de ce plan, on a constaté que la quantité de la farine et de l'eau sont plus influents sur la viscosité et l'humidité de la crème de fourrage de mille-feuille.



Références bibliographiques

- + [1] : <http://alhanini.com/acceuil.htm>
- + [2] : [Mille-feuille%20—%20Wikipédia.html](#)
- + [3] : [Humidité%20—%20Wikipédia.html](#)
- + [4] : [Viscosité%20—%20Wikipédia.html](#)
- + [5] : cours « MANAGEMENT ET OUTILS DE LA QUALITE » professeur Youssef
KANDRI RODI 2015-2016
- + [6] : cours « plans d'expériences » professeur M. EL ASRI 2015-2016



Master ST CAC Agiq

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom: **KHAROUFI Zakariae**

Année Universitaire : 2015/2016

Titre: amélioration de la crème de fourrage de mille-feuille par des outils de la qualité et des statistiques

Résumé

Le produit mille-feuille est le plus vendu parmi les produits de la société AL HANINI, pour en avoir une bonne qualité il faut optimiser tout les paramètres pendant les stades de la production.

Dans le cadre de ce stage, on a constaté que la cause de la granulation est la qualité de la farine et la méthode de mélange des ingrédients. On contrôle la qualité de la crème de fourrage de mille-feuille par des analyses physico-chimique qui sont la viscosité et l'humidité, devant être dans en norme. Afin d'avoir l'humidité et la viscosité optimal il faut vérifier la vapeur de chaque cuiseur (il faut être presque 6 bar) ainsi la quantité des ingrédients surtout la farine et l'eau qui ont un grand poids.

Mots clés: diagramme d'Ishikawa, analyse de la variance, plan de criblage. Test des étendues Multiples