

Master Sciences et Techniques

Génie des **M**atériaux et des **P**rocédés

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et
Techniques

Titre

**Optimisation du processus de préparation de la
pâte de fraise au sein de la société Fruprep**

Présenté par:

ARMEL KHADIJA

Encadré par :

- Mr HARRACH AHMED :FST Fès

- Mr NABIL SBAI :Fruprep

Soutenu Le 22 Juin 2013 devant le jury composé de :

- Mr. AHMED HARRACH
- Mr. HICHAM ZAITAN
- Mr. HAMMOU SOUHA

Stage effectué à : Fruprep (préparation des fruits).



Remerciement

Au terme de mon stage au sein de la société **Fruprep**, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur le Directeur général **MR NABIL SBAIL** de la société **Fruprep** groupe **Frulact** de m'avoir donné l'opportunité d'effectuer ce stage au sein de son entreprise, pour leurs conseils judicieux, leurs aides précieuses et leurs soutiens à toute épreuve.


J'adresse aussi ma plus grande reconnaissance à chef de laboratoire de recherche et développement **Mme Anna** et chef de production **Mr ZAKARIYA SAYEH**, chef d'équipe **OUTMAN ELBAKALI**, toute l'équipe de laboratoire.

Je tiens à remercier plus sincèrement et avec grand respect mon encadrant et mon professeur **Mr Harrach Ahmed** pour son encadrement et son orientation durant ce stage.

J'adresse aussi mon remerciement à Mr HICHAM ZAITAN qui m'a aidé à trouver le stage au sein de Fruprep

Enfin je remercie tous les membres du jury qui ont accepté d'assister pour juger mon travail

Dédicace



A mes chers parents : ce travail ne saurait exprimer mon amour filial, mon respect et ma profonde reconnaissance.

A mes chers amis : Mr Abdelali EL GAIDOUMI ;Asmae Riad, veuillez trouver dans ce travail l'expression de mes sentiments les plus distingués.

A toute la famille Armel que ce travail soit pour moi l'occasion de vous exprimer mon profond amour et respect.

Table des illustrations

Listes des Figures :

Figure 1 : Organigramme de la société Fruprep.....	4
Figure 2 : Processus de Préparation des fraise	10
Figure 3 : L'allure de la courbe Gaussienne.....	16
Figure 4 : Exemple d'une carte de contrôle.....	17
Figure 5 : Histogramme de la distribution des échantillons	21
En fonction des moyennes de pH	
Figure 6 : Carte de contrôle de la moyennes de pH de la patte de fraise	22
Figure 7 : Carte de contrôle de l'étendue de pH de la patte de fraise.....	22
Figure 8 : Histogramme de la distribution des échantillons	24
En fonction des moyennes de Brix	
Figure 9 : Carte de contrôle de la moyenne de Brix de la patte de fraise.....	24
Figure 10 : Carte de contrôle de l'étendue de Brix de la patte de fraise	25
Figure 11 : Histogramme de la viscosité de la patte de fraise... ..	26
Figure 12 : Carte de contrôle de la moyenne de la viscosité de la patte de fraise	27
Figure 13 : Carte de contrôle de l'étendue de la viscosité de la patte de fraise.....	27
Figure 14 : Histogramme de la matière retenue de la patte de fraise... ..	28
Figure 15 : Exemple explicatif d'un domaine expérimental d'intérêt.....	30
Figure16 : Matrice d'expérience.....	33
Figure 17 : Plan d'expérimentation	34
Figure 18 : Réponses obtenues par les 8 essais	34
Figure 19 : Etude des effets par diagramme de Lenth.....	35
Figure 20 : Etude des effets par diagramme de Pareto.....	36

Liste des Tableaux

Tableau 1 :Fiche technique.....	5
Tableau 2 : Périodes de production	7
Tableau 3 : Valeur nutritive de la fraise	9
Tableau 4 : Temps et Température de pasteurisation des fruits	14
Tableau 5 : Mesures du pH de la patte de fraise	21
Tableau 6 : Mesures du Brix de la patte de fraise	23
Tableau 7 : Mesure de la viscosité de la patte de fraise	26
Tableau 8 : Mesures da la matière retenue de la patte de fraise	28
Tableau 9 : Les niveaux expérimentaux des facteurs influant sur la matière retenue.....	33
Tableau 10 : Les coefficients β_i et leurs valeurs correspondantes.....	36
Tableau 11 : Le réglage proposé.	37

Tableau 12 : Trois essais pour la validation du réglage 37

Sommaire

Introduction1

Chapitre I : Présentation de la Société Fruprep

I- Un aperçu général sur le groupe *Frulact* 2

II- Historique du groupe Frulact 3

III- Organigramme 4

IV- Fiche technique 5

V- Infrastructures 5

VI- Services au sein de la société Fruprep 6

VII- Fonctionnement de l’entreprise dans son environnement 7

Chapitre II : Préparation des Fraise au sein du Fruprep

I- Généralité sur les fraises 8

II- Processus de Préparation des fraises au sein de *Fruprep* 10

Chapitre III. La mise en place des cartes de contrôle au niveau de conditionnement de la patte de fraise

I- Partie théorique 15

II- Introduction 15

La maîtrise statistique des procédés 15

Loi normale 16

Les cartes de contrôle 17

Partie expérimentale 20

1- Carte de contrôle de la patte de fraise 20

a. Etude de pH... 20

b. Etude du Brix 23

c. Etude de la viscosité 26

d. Etude de la matière retenue 28

Chapitre IV : Optimisation de la matière retenue dans la patte de fraise par les plans d’expériences.

I- Généralités sur les plans d’expériences 29

II- Plan de criblage 32

III- Optimisation de la matière retenue par les plans de criblage 33

1- Le choix des facteurs et niveaux expérimentaux 33

2- La matrice d’Hadamard 33

3- Le plan d’expérimentation 34

4- Enregistrement des réponses 34

5- Etude graphique 35

6- Approche de Pareto 35

7- Estimation des coefficients et de modèle postulé.....	36
8- Le réglage possible.....	37
9- La validation de réglage	37
Conclusion	38

Introduction

Pour mettre fin à notre cursus de deux ans d'études en master à la faculté des sciences et techniques de Fès, nous sommes tenues à passer un stage de fin d'études de cinq mois dont le but est de découvrir le monde professionnel, il enrichit nos connaissances théoriques qu'on a reçu durant le processus universitaire par l'affrontement à des problèmes concrets rencontrer régulièrement au sein d'une entreprise.

Le marché des produits laitiers et glaces sont des marchés qui se caractérisent par un grand dynamisme et présentant de grandes innovations. Le marché exige des produits innovateurs, différenciés et avec une valeur ajoutée. Ce sont les paris et les défis de fruprep (préparation des fruits).

Le marché des jus, nectars et sodas est extrêmement dynamique. La fraîcheur, la santé, le plaisir, le divertissement et la fonctionnalité sont définitivement des critères de sélection.

C'est dans cette optique que je me suis attaché à traiter durant mon stage les deux sujets suivants :

- ✓ La mise en place des cartes de contrôle au niveau du procédé de préparation de la pâte de fraise.
- ✓ Optimisation de la matière retenue par la méthodologie des plans d'expériences.

Ce présent rapport est composé de quatre chapitres, les deux premiers sont réservés à la présentation du Fruprep et aux procédés de préparation des fraises. Le troisième chapitre représente la mise en place des cartes de contrôle au niveau de conditionnement de la pâte de fraise. Enfin le dernier chapitre concerne l'optimisation de la matière retenue par les plans d'expériences.

I. Aperçu général sur le groupe *Frulact*

Frulact est né dans le Nord du Portugal, à Maia, en 1987. L'ouverture de cette usine fut le point culminant des années d'expérience de ses mentors dans l'industrie de produits laitiers.

Frulact, un des plus grands groupes Agroalimentaire Portugais s'est installé à Larache en créant sa première usine Fruprep au Maroc pour la préparation des fruits destinés aux entreprises de produits laitiers locales et internationales.

Le Groupe Portugais entend ainsi renforcer sa présence non seulement sur le marché Marocain, mais également sur toute l'Afrique du Nord et le moyen Orient à partir de Larache.

Fruprep, a pour mission d'assurer la première transformation des fruits issus de la région essentiellement des fraises et d'Abricot.

Fruprep est née de la volonté d'un groupe de professionnels désireux d'unir leur expérience acquise dans le secteur agroalimentaire. Actuellement leaders ibériques en préparations à base de fruit pour l'industrie alimentaire.

La gamme des produits comprend :

- ❖ Les Fraises en arôme de biscuit.
- ❖ Les cerises en arôme de céréale.
- ❖ Les céréales.
- ❖ Ananas.
- ❖ Pêche.
- ❖ Coco.
- ❖ Abricot.
- ❖ Kiwi

II. Historique du groupe Frulact :

<u>Année</u>	<u>Activité</u>
1987 Naissance	Frulact a été créé en 1987 à Maia au nord du Portugal. L'ouverture de cette usine fut le point culminant des années d'expérience de ses mentors dans l'industrie produits laitiers.
1998 Croissance.	En 1998 Frulact s'étend à Covilhã, à Ferro, avec une nouvelle usine localisée à proximité de grandes zones de culture de fruits
1999 Internationalisation	L'année 1999 a été marquée par la conquête de nouvelles frontières stratégiques. Frulact est arrivé au Maroc pour servir une filière d'industrie du secteur alimentaire et le marché de la grande consommation.
2000 Expansion	En 2000, Frulact a installé en Tunisie une nouvelle usine qui sert de plate-forme d'approvisionnement des marchés de l'Afrique du Nord et Moyen-Orient.
2006 Développement	C'est l'année qui a renforcé le pari dans le développement du Groupe Frulact avec le début de l'édification de la nouvelle usine à Tortosendo, à Covilhã. Une unité stratégiquement localisée proche des zones de production fruticole élevée.
2007/08 Extension	Frulact a renforcé sa pénétration en Afrique du Nord et au Moyen-Orient avec l'installation d'une unité de production en Algérie et une deuxième au Maroc. Cette période est marquée par l'intégration du Groupe dans le réseau COTEC qui lui a par ailleurs attribué le Prix Innovation 2007.
2009/12 Développement Durable	<p>En 2009/2010, Frulact a continué de miser sur sa présence sur les marchés français et européen, profitant des opportunités pour sa croissance organique et moyennant les conditions du marché et de l'effort de compétitivité qui est actuellement exigé à tous les acteurs.</p> <p>Par conséquent, Frulact a prévu la concrétisation d'un projet qui servira de levier pour optimiser les investissements réalisés au cours de plusieurs années en termes d'Innovation et Technologie pour poursuivre les objectifs qui lui tiennent à cœur : le développement durable et l'amélioration continue du service au client.</p> <p>Frulact a également concrétisé vers mi-2012 le lancement des opérations de deux nouvelles unités industrielles : Innovafruits implantée au Maroc notamment dans la société Fruprep à Larache et Frulact South Africa localisée à Pretoria en Afrique du Sud.</p>

III. Organigramme

La figure si dessus représente l'organigramme de la société Fruprep :

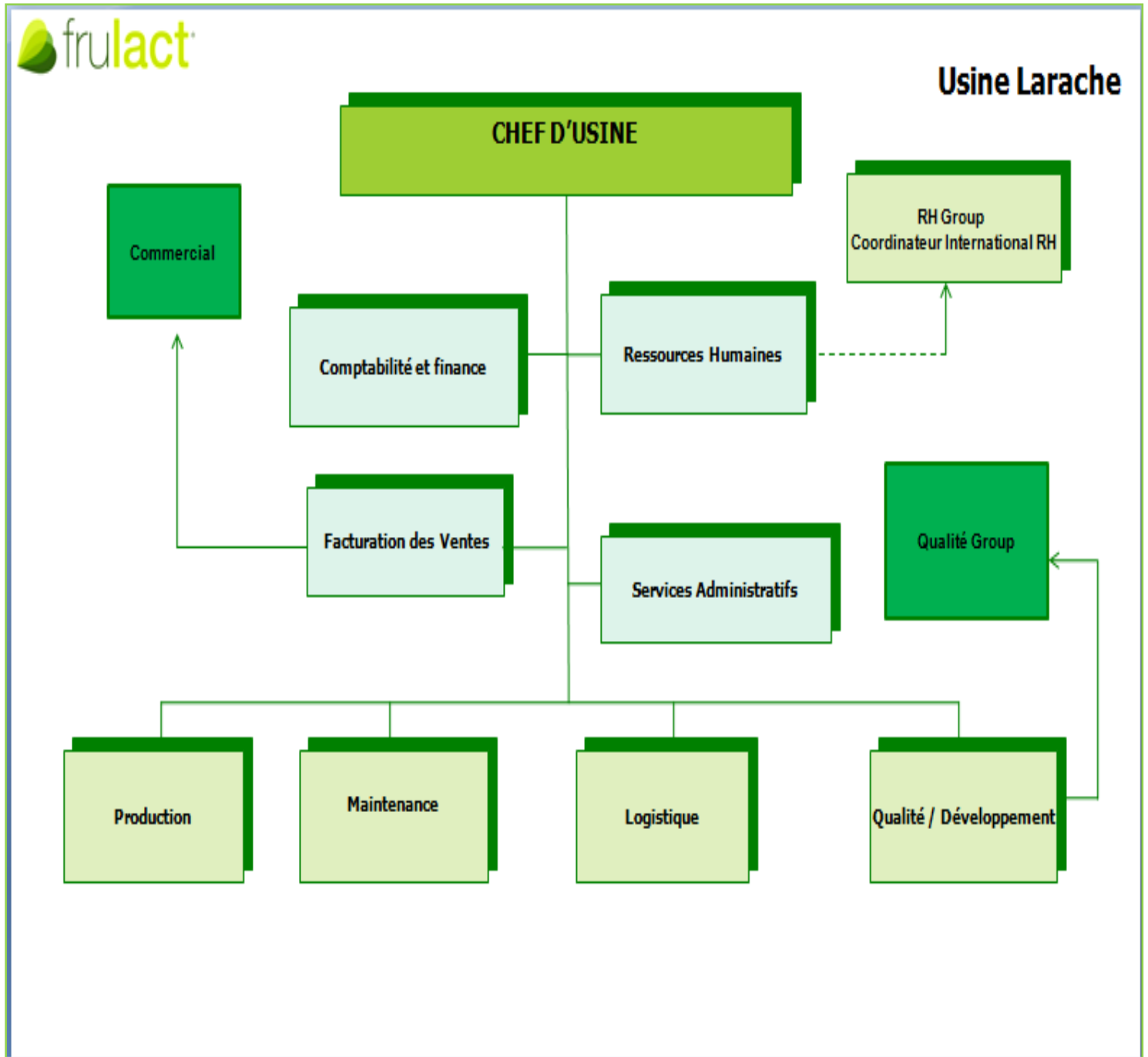


Figure 1 : Organigramme de la Société Fruprep

IV. Fiche technique

Raison social	Fruprep
Forme juridique	S.A.R.L
Date de création	2007
Activité	Préparation des fruits pour les industries des Produits laitiers.
Effectif	152
Cadres	52
Directeur de groupe	Mr Nabil sbaii
Siège social	ZI Hostal Lot n.2 Route de Rabat tanger 92000 larache Maroc
Sites de production	Larache et le portugais
Téléphone	0 5 39 52 30 20
Fax	+212 53 95 23 029
Email	info@frulact.com
Sites de distribution	Algérie, Maroc, Portugais, France, Afrique De Sud ; Lybie.

Tableau 1 : Fiche technique

V. Infrastructures

Une infrastructure est mise à disposition pour assurer la conformité des produits aux exigences des clients, elle se compose comme suit :

- * Un magasin pour le stockage des matières premières : les fruits, arômes, fruits, sucre, cartons, pots en plastique....
- * Une Salle de congélation des fruits.
- * Une salle de stérilisation des containers (voir annexe) de conditionnement de produit fini.
- * Une salle de lavage des fruits et il équipé d'une machine de coupage des fruits.
- * Une salle de pesage de la matière première.

- * Un laboratoire d'analyse et de contrôle qualité.
- * Un laboratoire de recherche et de développement pour l'innovation de nouveau produit.
- * Une salle de conditionnement.
- * Une centrale des utilités : production de la vapeur, air comprimé.
- * Une station de traitement des eaux.
- * Une station des bouteilles d'azote pour la stérilisation.
- * Des chambres froides pour le stockage des produits finis.
- * Des camions de ravitaillements des magasins de réception et d'autres de distribution.
- * Des équipements informatiques.
- * Des équipements de communication (téléphones, fax, radio, Email.....).

VI. Services au sein de la société Fruprep

1) Service production

Suivi et acheminement du produit le long du processus de production depuis la réception de la matière première jusqu'au stockage, sous la responsabilité du chef d'usine on trouve le responsable du département production (chef de production).

2) Service Recherche et développement / Contrôle Qualité

- ✓ Recherche et création de nouvelles gammes de produits
- ✓ Validation des essais industrielles
- ✓ Amélioration des produits existants en se basant sur la demande des clients.
- ✓ Réalisation des contrôles sensoriels, bactériologiques ou physicochimiques sur des échantillons prélevés en production.
- ✓ Validation des produits finis.
- ✓ Contrôle de la conformité des matières-premières et produits finis.
- ✓ Validation des résultats des analyses effectués dans un laboratoire externe.
- ✓ Surveillance du contrôle des nuisibles.
- ✓ Surveillance de l'hygiène de l'Usine.

3) Service qualité

Contrôle de la qualité du produit depuis la réception de la matière première et tout au long du processus de la production jusqu'au produit fini.

VII. Fonctionnement de l'entreprise dans son environnement

20% de sa production est destinée au marché local et 80% est destinée à l'export. La société tente de se convertir totalement à l'export à l'horizon de 2016.

a) Produits

Fruprep est intéressé par la transformation des fruits pour les industries des produit laitier parmi ces produits on trouve : Fraises aux céréales, Blackberry, Pêche ; Fraise au gout du biscuit et d'autre arôme...

b) Périodes de Production

Matière Première	Compagne
Fraise ; Framboise ; Mangue ; Orange ; Kiwi ; Avocat ; Banane	De Janvier au mois juin
Figue ; Pêche ; cerise ; Papaye	Juillet, Août, Septembre
Poire ; Citron	Octobre et Novembre

Tableau 2 : Périodes de production

I. Généralité sur les fraises :

La fraise est le fruit des fraisiers (*Fragaria*), plantes herbacées de la famille des Rosaceae. Ces fruits sont botaniquement parlant des faux-fruits.

L'espèce la plus consommée dans le monde est issue de l'espèce hybride *Fragaria* × *ananassa*.

Parmi les nombreuses variétés existantes (plus de 600), on peut citer 'Alba' ; 'Annapolis' ; 'Bogota' ; 'Candiss' ; 'Capella' ; 'Chambly' ; 'Chandler' ; 'Charlotte'

1. Saison

Selon la variété, la saison de maturation des fraises s'étend de Mai à Septembre dans l'hémisphère Nord. Par des techniques de cultures artificialisées, de types hors-sol, sous tunnel et chauffée, il est possible de produire des fraises en dehors de cette période (Avril à Novembre).

Vitamine	Quantité (µg pour 100g)
vitamine A	12
vitamine K	2,2
vitamine E	0,29
vitamine B9 (M)	60
vitamine B6	47
vitamine C	58,8
vitamine B3 (PP)	386
vitamine B5	125

Tableau 3: Valeur nutritive de la fraise

2. Valeur nutritive

La fraise regorge de vitamine C (antioxydants), de vitamine A (sous forme de précurseur, le β -carotène, mais pas de rétinol qui doit être synthétisé) pour stimuler les défenses immunitaires, de vitamine B9 (acide folique), important pour les femmes enceintes.

Elle est riche en oligo-éléments, sous forme de sels de potassium pour le système nerveux et contre la fixation excessive du sodium, de calcium pour les os et du magnésium contre le stress.

Elle contient également du furanéol (l'alcool aromatique qui lui donne son parfum et son goût)

3. Utilisation des fraises

Pâtisserie comportant des fraises entières, nature, avec de la crème (crème fraîche, crème chantilly,...).

- * Tarte aux fraises, fraisier, fraise Melba.
- * En morceaux dans des yaourts.
- * Glace à la fraise (crème glacée ou sorbet)

La plupart des crèmes glacées et yaourts agro-industriels utilisent des arômes de fraise. Fruprep travaille de tel sorte que ses produits soient une référence sur le marché en stimulant le lancement de produits originaux et de valeur ajoutée avec de nouvelles saveurs et textures.

II. Processus de Préparation des fraises au sein de Fruprep

Fruprep est intéressée par la préparation des fraises selon le processus suivant :

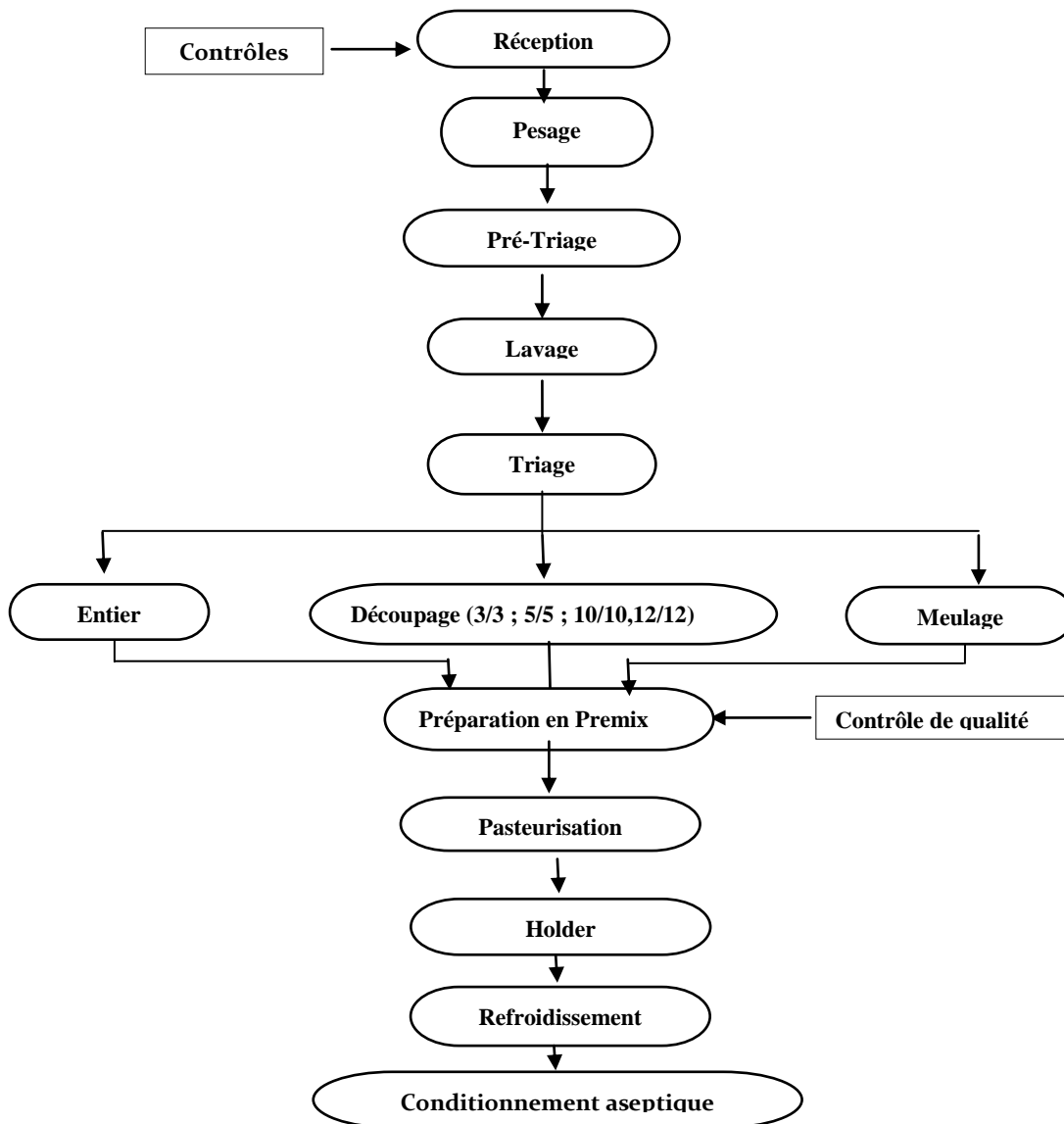


Figure 2 : Processus de Préparation des fraises

1) Réception:

A l'arrivée à l'usine, les lots constituant le chargement doivent être contrôlés pour :

*L'acceptation ou le refus de la livraison .Ce contrôle est basé sur l'évaluation des critères tels que la taille du fruit, sa forme, les fruits endommagés et les corps étrangers.

*La détermination des conditions opératoire des principales opérations d'élaboration à savoir le lavage par l'eau de Javel et la température de pasteurisation.

2. Pesage et Pré-triage

La quantité de Fruit stockée est pesée puis elle passe au pré-triage pour être triée selon les critères suivants : variétés, degrés de maturité, état sanitaire, déformation.

C'est une opération cruciale aussi bien de point de vue technique qu'hygiénique cette opération de triage s'effectue selon les dispositifs prévus par le système HACCP si les produits sont destinés à l'exportation.

3. Lavage et triage

Après l'opération de triage, les fruits passent dans un tapis roulant pour s'immerger dans la solution de l'eau de Javel (0,2%), afin d'éliminer des microorganismes pathogène qui se situent à la surface des fruits.

On réalise un seconde triage pour confirmer le premier et de s'assurer de la qualité du produit final.

4. Découpage et conservation

Selon le type de préparation, le fruit soit :

- ⇒ coupé en plusieurs forme (3*3*3 ; 5*5*5 ; 10*10 *10; 12*12*12).
- ⇒ Gardé Entier.
- ⇒ Broyé le fruit par une machine.

Ensuite les différentes formes se conservent dans la salle de conditionnement de la matière première à une température de -18°C.

5. Préparation en Premix

Il s'agit d'une enceinte en inox inoxydable, à double parois, elle est équipée d'un agitateur pour malaxer les différents constituants pour la préparation du fruit, la température de malaxage est assuré par la circulation de l'eau chaude dans la paroi du Premix.

La préparation du fruit commence d'abords par la préparation de l'eau avec l'amidon et la Sorbat de Potassium, ensuite dans le Premix on ajoute à ce mélange le fruit et le sucre. Après on ajoute un additif alimentaire naturel pour stabiliser le produit.

Après on ajoute le colorant du fruit en préparation, d'autres arômes selon la demande du client et l'acide citrique à 0,14% du mélange.

Lorsque tous les constituants sont additionnés, on règle la température du Premix à 49°C.

a) **Contrôle de qualité**

Avant son pompage au pasteurisateur, un contrôle de paramètres s'effectue sur le produit en mesurant le pH, le Brix, la viscosité et la matière retenue (morceaux).

❖ **Mesure de pH**

A l'aide d'un pH mètre, on mesure la valeur du pH du produit qui doit être entre 3,7 et 4. Une correction du pH ce fait par l'ajout de l'acide Citrique si nécessaire.

❖ **Mesure du Brix**

On pose une goutte de l'échantillon bien mélangé sur la lame de réfractomètre pour mesurer le degré de brix (voir annexe) qui doit être environ 30% si le produit est destinée aux gens normaux, par contre il doit être environ 5% si le produit est destiné aux gens diabétique.

❖ **Viscosité**

La mesure de la viscosité est effectuée à l'aide d'un Consistomètre de Bostwick (Voir annexe), la valeur doit être entre 8 et 12(cm²/s).

❖ **Matière retenue**

✓ **Méthode manuelle**

Cette analyse a pour but déterminé la quantité des morceaux de fruit existant dans le produit fini.

Il consiste à mélanger soigneusement 200 g du produit à analyser avec 2000g d'eau à une température ambiante. Le mélange est versé sur le tamis (9mm) en exécutant un léger mouvement manuel pour vidanger tout le produit qui passe à travers le tamis ensuite on pèse la quantité des morceaux de fruit retenu dans le tamis. Le pourcentage de morceaux de fruit est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Retrouvable \%} = \text{quantité retenu} * 100 / 200$$

✓ Méthode machine

On prend 500g du produit à analyser puis on ajoute 1500g d'eau. La machine permet de peser la matière retenue selon la relation suivante :

$$\text{Retrouvable \%} = \text{quantité retenu} * 100 / 500$$

6. Pasteurisation

C'est une opération de stabilisation du produit et pour augmenter sa durée de conservation. Elle permet la destruction totale de la flore banale et la totalité de la flore pathogène, tout en s'efforçant de garder la structure physique du produit, ses équilibres chimique et ses éléments biochimique.

Cette étape se fait à l'aide d'un échangeur de chaleur de type surface raclée (voir annexe) ou le produit s'échange la chaleur avec la vapeur d'eau.

Le temps et la température de pasteurisation varie d'un fruit à l'autre.

Fruit	Temps	Température
Céréales	5 min	105°C
Fraise ; Cerise ; Pêche ; Ananas ; Coco ; Abricot	3,5min 3min	89°C 93°C

Tableau 4 : Temps et Température de pasteurisation de chaque fruit.

7. Holder

Cette opération consiste à maintenir la pâte de fraise à la température de pasteurisation afin d'assurer une parfaite homogénéité thermique.

8. Refroidissement

Le refroidissement du produit s'effectue à l'aide d'un échangeur de chaleur ou le produit s'échange la chaleur avec de l'eau froide.

9. Conditionnement

Le conditionnement Aseptique consiste à conditionner le produit à une température de refroidissement qui varie entre 35°C et 40°C.

I. Partie théorique

1. Introduction

Deux produits ne sont jamais rigoureusement identiques. Quelles que soient la précision des techniques et des outils utilisés pour fabriquer ces produits, il existe une variabilité dans tout le processus de production. L'objectif de tout industriel est que cette variabilité naturelle demeure dans des bornes acceptables. C'est une préoccupation majeure dans l'amélioration de la qualité industrielle. Un des outils utilisés pour tendre vers cette qualité est la Maîtrise Statistique des Processus (MSP).

Depuis quelques décennies, les entreprises évoluent dans une atmosphère de compétitivité accrue. La Maîtrise Statistique des Procédés (MSP) répond à un passage d'une stratégie de contrôle à une stratégie de prévention.

Le contrôle statistique du processus permet de garantir par des outils statistiques que celui-ci est sous contrôle. Il permet ainsi de garantir à tout moment des conditions de travail satisfaisantes. Il est basé sur une connaissance et un suivi du processus.

2. Maîtrise statistique des procédés

Shewhart a présenté en 1929 sa célèbre « Control Chart (carte de contrôle) » dans l'industrie militaire, ouvrant ainsi la voie à une nouvelle discipline qu'est la MSP. Tout d'abord oubliée, ce n'est que dans les années 60 que Deming a su insuffler un regain d'intérêt à cette technique en l'appliquant dans l'industrie Japonaise. Ensuite dans les années 70 on voit apparaître les calculs de Capabilité dans l'industrie automobile Américaine et c'est seulement dans les années 80 que cette discipline s'est imposée en Europe.

Cependant de nombreuses évolutions dans la Maîtrise Statistique des Procédés sont apparues ces dernières années. Ces évolutions sont de trois ordres : conceptuelles, méthodologiques et normatives.

La MSP, qui s'inscrit dans une stratégie de prévention et dont l'objectif est d'améliorer la qualité d'une production, a donc connu un fort développement dans l'industrie européenne ces vingt dernières années. Cet outil nous permet de diminuer les dérives, d'augmenter la performance du processus, mais aussi de baisser les coûts de non qualité. C'est un outil de

pilotage de machines qui nous assure une meilleure qualité des produits et une fiabilité optimum du fonctionnement du processus.

3. Loi normale

Le fondement théorique de conception des cartes de contrôle est que le caractère numérique étudié est réparti dans la population, dans l'ensemble de la production, suivant une loi normale.

La distribution normale ou distribution de Gauss ou de Laplace-Gauss est une distribution continue qui est défini pour toute valeur réelle de la variable aléatoire par la fonction de densité de probabilité :

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Où μ correspond à la moyenne de la distribution et σ son écart-type.

La distribution normale est symétrique et souvent représentée sous forme d'une courbe en cloche (courbe de Gauss).

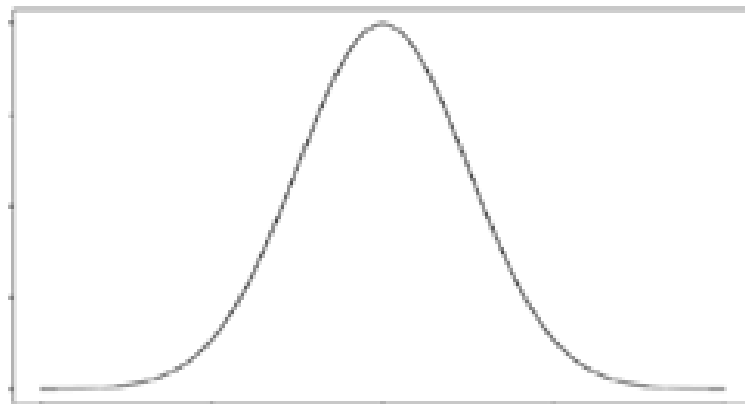


Figure 3 : Allure de la courbe Gaussienne

⇒ Tests de normalité

Supposons qu'on a une série de mesures d'une même grandeur, l'objectif c'est de savoir si l'on peut considérer que ces mesures représentent une population sur laquelle le caractère mesurée est une variable aléatoire qui suit une loi normale. Parmi les tests les plus utilisés sont :

- * Tests graphiques (visuels) de normalité : Histogramme et test basé sur la droite d'Henry.

* Tests statistiques de normalité : test de Shapiro et Wilk, et test de Chi deux (χ^2)...

4. Cartes de contrôle

a- Définition

Une carte de contrôle est l'un des outils statistiques de surveillance des processus de fabrication permettant de déterminer le moment où apparaît la cause assignable de dérèglement du processus de production entraînant la dérive. Ainsi, le processus sera arrêté au bon moment, c'est-à-dire avant qu'il ne produise des pièces non conformes (hors de l'intervalle de tolérance). Elle permet d'effectuer un réglage opportun du procédé de fabrication et de connaître sa capacité.

b- Construction

Toute carte de contrôle se présente comme un graphique dont les points représentent le suivi dans le temps d'une caractéristique du processus dont la valeur centrale est représentée par une ligne horizontale (LC) ainsi que la limite inférieure de Contrôle (LIC) et la limite supérieure de Contrôle (LSC). Ces deux valeurs sont les limites à l'intérieur desquelles le processus est sous contrôle. Les valeurs de la caractéristique contrôlée doivent se trouver à l'intérieur de ces limites, sinon ces valeurs sont « hors contrôle » et doivent être examinées.

Les cartes de contrôle les plus utilisées sont les cartes de contrôle par mesure de la moyenne \bar{X} et de l'étendue R . Ces cartes sont établies et interprétées ensemble. En effet, la distribution des dimensions fabriquées modélisée par une loi normale est caractérisée par la moyenne \bar{X} et les dispersions S (écart type).

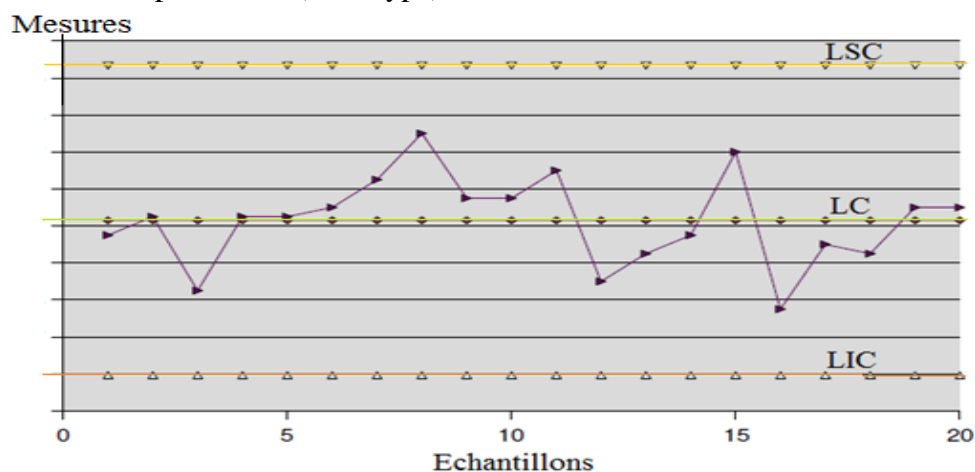


Figure 4 : Exemple d'une carte de contrôle

c- Carte moyenne-étendue ou carte (X,R)

On adopte le point de vue probabiliste des variables aléatoires. Pour m échantillons prélevés, on note X_1, X_2, \dots, X_m les m variables aléatoires qui associent à chaque échantillon la moyenne du caractère étudié. On définit alors la variable aléatoire, moyenne des moyennes des échantillons :

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{X}_i$$

Avec X_i la moyenne pour l'échantillon i de taille n :

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n}$$

Chaque variable aléatoire R_i associée à chaque échantillon, son étendue. On définit alors la variable aléatoire, moyenne des étendues des échantillons :

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i$$

Avec R_i l'étendue de l'échantillon i de taille n :

$$R_i = x_{\max)_i} - x_{\min)_i}$$

⇒ Calcul des limites de contrôle :

Pour la carte X :

$$\boxed{LC = \bar{\bar{X}} \quad LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}}$$

Pour la carte R :

$$\boxed{LC = \bar{R} \quad LSC = D_4 \bar{R} \quad LIC = D_3 \bar{R}}$$

Où A_2, D_3 et D_4 sont des coefficients de Shewhart dépendant de la taille n des échantillons (voir annexe).

⇒ Construction

On prélève (effectivement) m échantillons de taille n . On a alors une réalisation des différentes variables aléatoires présentées ci-dessus.

On calcule, avec les règles indiquées, les différentes valeurs prises par ces variables aléatoires. On trace sur la carte de contrôle la ligne centrale et les deux lignes de contrôle.

On porte sur la carte, pour $i = 1, \dots, m$ les points M_i de coordonnées (i, X_i) ou (i, R_i) , où X_i et R_i désignent la moyenne et l'étendue du caractère étudié dans l'échantillon numéro i .

⇒ Règle de décision :

- * Si tous les points M_i sont situés entre les lignes de contrôle, le processus est déclaré maîtrisé.
- * Si des points M_i sont situés en dehors des limites de contrôle, le processus est déclaré non maîtrisé.

d- Carte moyenne-écart type ou carte (\bar{X}, s)

Pour m échantillons prélevés, on note X_1, X_2, \dots, X_m les m variables aléatoires qui associent à chaque échantillon, la moyenne du caractère étudié. On définit les m variables aléatoires s_1, s_2, \dots, s_m qui associent à chaque échantillon son l'écart type. On a alors la variable aléatoire qui représente la moyenne des écarts types (l'écart type moyen) des m échantillons :

$$\bar{s} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i$$

Avec s_i est l'écart type de l'échantillon i de taille n :

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{X}_i)^2}{n-1}}$$

Ce type de cartes est utilisé pour contrôler des grandeurs mesurables (contrôle quantitatif) qui consiste à mesurer une caractéristique particulière d'un sous groupe d'unités faisant partie d'un échantillon de taille $n \geq 10$.

⇒ Calcul des limites de contrôle

Pour la carte X :

$$LC = \bar{\bar{X}} \quad LSC = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s} \quad LIC = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s}$$

Pour la carte s :

$$LC = \bar{s} \quad LSC = B_4 \bar{s} \quad LIC = B_3 \bar{s}$$

Où A_3 , B_3 et B_4 sont des coefficients de Shewhart dépendant de la taille n des échantillons (voir annexe).

⇒ Remarque : La construction de la carte X et la règle de décision sont identiques à celles de la carte X décrites pour les cartes (X, R) et pour la carte s sa construction est similaire à la construction de la carte R (on reporte les écarts types au lieu de reporter les étendues) et la règle de décision est la même que pour une carte R.

5. Partie expérimentale

L'étude que j'ai effectuée au sein de la société, consiste à mettre en place des cartes de contrôle des produits finis directement après conditionnement et avant stockage finale.

Le produit étudié est la pâte de Fraise en biscuit. Les paramètres à mettre sous contrôle sont le pH, la Brix, la viscosité, et la matière retenue.

a) Carte de contrôle de la pâte de fraise

1. Etude du pH

Les mesures de pH ont été réalisées par l'intermédiaire d'un pH-mètre en prélevant le pH de 10 échantillons. On a effectué 3 mesures pour chaque échantillon (taille 3).

*** Tableau des résultats**

Echantillon	pH			moyennes(X barre)	étendues (R)
	X1	X2	X3		
1	3,79	3,82	3,85	3,82	0,06
2	3,81	3,82	3,89	3,84	0,08
3	3,91	3,88	3,9	4	0,03
4	3,66	3,86	3,87	3,8	0,21
5	3,8	3,81	3,8	3,8	0,01
6	3,74	3,75	3,97	3,82	0,23
7	4,04	4,04	4,01	4,03	0,03
8	3,74	3,79	3,63	3,72	0,16
9	3,79	3,89	3,89	3,85	0,1
10	3,63	3,91	3,9	3,81	0,28

Tableau 5 : Mesures du pH de la pâte de fraise

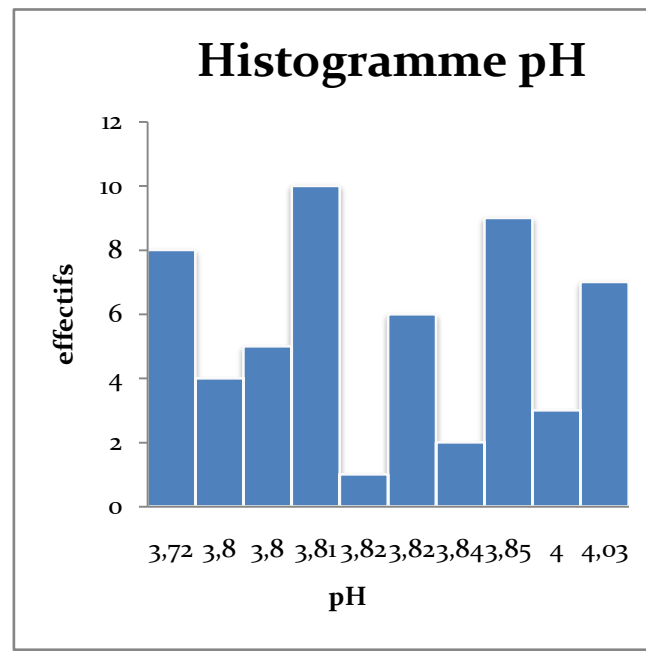


Figure 5 : Histogramme de la distribution des Échantillons en fonction des moyennes de pH

Interprétation : L'histogramme de la figure 5 présente la distribution des échantillons en fonction du moyen du pH. Il a la forme d'une cloche de Gauss donc la série des mesures n'est pas significativement différente d'une loi normale par conséquent on peut effectuer la carte de contrôle.

* **Carte moyenne-étendue (X barre, R)**

Carte moyenne (X barre):

On a calculé les limites de contrôles de la carte moyenne à l'aide des formules suivant :

$$LC = \bar{\bar{X}} \quad LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

❖ $LC = 3,84 \quad LCS = 3,96 \quad LIC = 3,73$

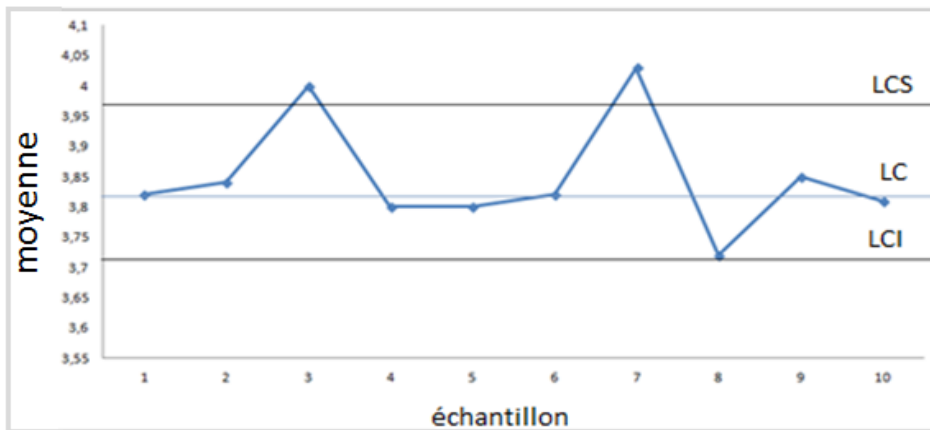


Figure 6 : Carte de contrôle de la moyenne du pH de la pâte de

Carte étendue R :

* $LCS = 0,21 \quad LC = 0,11 \quad LCI = 0,02$

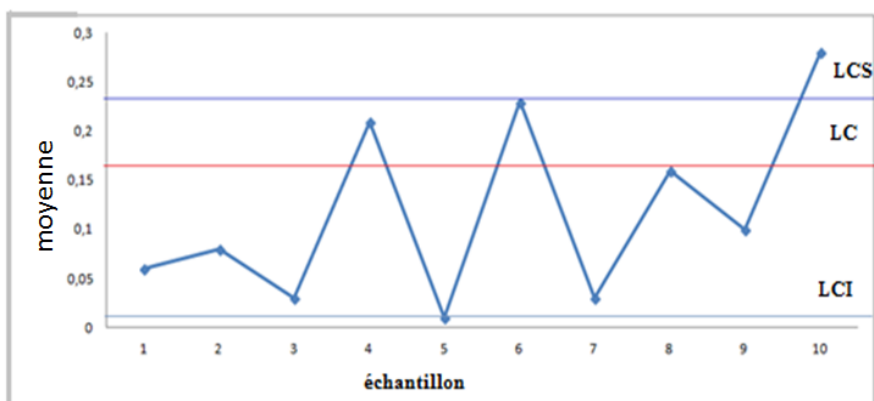


Figure 7 : carte de contrôle de l'étendue de pH de la pâte de

Interprétation : - Il y a 2 point qui sort de la limite supérieur de contrôle, ces deux point peut être des points aberrants (échantillon 7, échantillon 3) dans la carte de la moyenne.

- Il y a une point qui dépasse la limite supérieur de contrôle, il s'agit de l'échantillon 10 ces point indiquant l'absence de contrôle statistique d'où la nécessité d'un test de Dixon.

❖ Test de Dixon

Le test de Dixon (voir le principe dans l'annexe) est l'un des tests des points aberrants réalisable pour des échantillons de taille $n \leq 30$.

Calcul de r_1 et r_2 :

D'après la table des valeurs critiques de Dixon (voir annexe), on lit la valeur critique r_α :

$r_\alpha = 0,534$ pour risque d'erreur $\alpha = 5\%$

$r_\alpha = 0,639$ pour risque d'erreur $\alpha = 1\%$

On calcule la valeur r_1 selon les relations suivantes : $r_1 = \frac{y_2 - y_1}{y_{10} - y_1}$

$r_1 = 0,28$.

On constate que $r_1 < r_\alpha$ (pour les deux risques) donc la valeur n n'est pas aberrante. Cela est dû à un mauvais ajustement.

2. Etude du Brix

On a effectué les mesures de Brix de 10 échantillons par l'intermédiaire d'un réfractomètre en prélevant 3 fois le degré de brix pour chaque échantillon (taille3).

Tableau des résultats :

échantillons	Brix			Moyennes X	Etendues R
	X1	X2	X3		
1	31,2	26,2	26	27,62	5,2
2	32,1	32,6	31,4	30,77	5,6
3	31,9	31,1	32	31,25	2
4	35,5	32,5	31,1	31,77	7,5
5	31,4	30	33,7	31,52	3,7
6	30,3	28,6	30	30,02	2,6
7	26,1	26	28,1	28,4	7,4
8	31,5	31,1	27	30,42	5,1
9	32,4	32,1	31,5	31	4,4
10	31,8	31,3	32	30,65	4,5

Tableau 6: Mesures du Brix de la pâte de fraise

Test de Normalité :

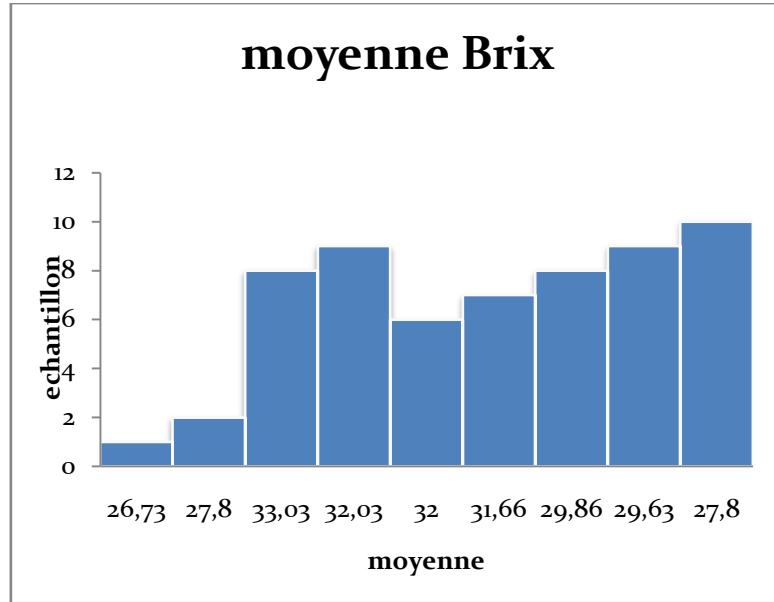


Figure 8 : Histogramme de la distribution des échantillons en fonction des moyennes de brix

Interprétation : L'histogramme (figure 8) a la forme d'une cloche de Gauss donc la distribution des mesures n'est pas significativement différente d'une loi normale, d'où la possibilité d'effectuer la carte de contrôle.

Carte moyenne (X barre):

◆ LCS=34,9 ; LC=30,22 ; LCI=34,9

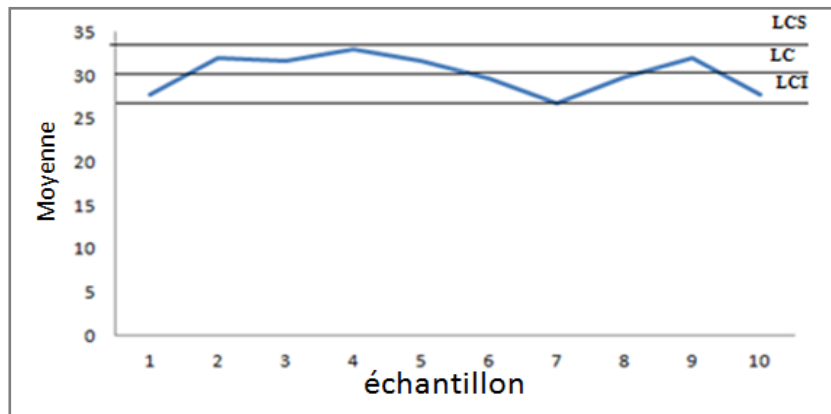


Figure 9 : carte de contrôle de la moyenne de Brix de

Carte étendue :

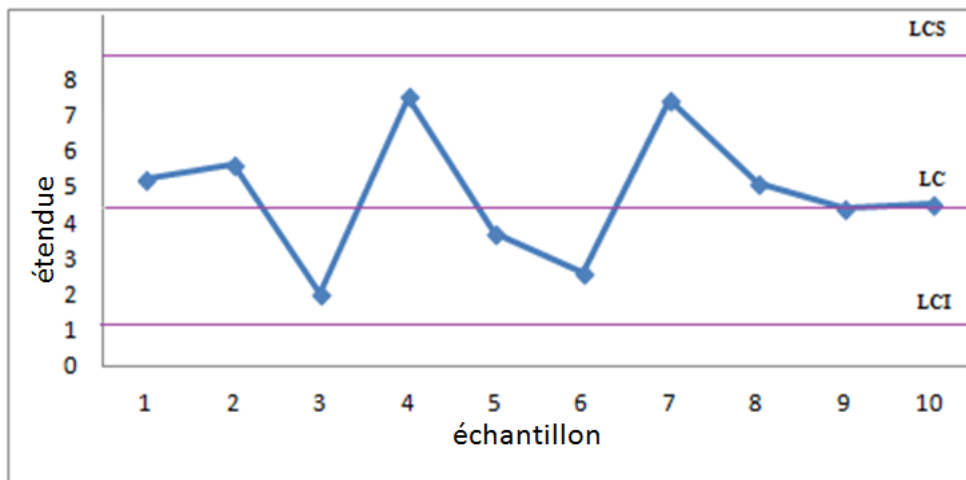


Figure 10 : carte de contrôle de l'étendue de Brix de la pâte de fraise

Interprétation : pour les deux cartes Il y a aucun point qui dépasse des limites de contrôle

3. Etude de la viscosité

De la même façon on que pH et brix, on a effectué les mesures de la viscosité par l'intermédiaire d'un Consistomètre de Bostwick sur 10 échantillons en prélevant 3 fois la valeur de viscosité pour chaque échantillon.

Tableau des résultats :

échantillon	viscosité			Moyenne X	étendue R
	X1	X2	X3		
1	12,5	9	11	10,83	3,5
2	11,5	11	10,5	11	1
3	10	12	9	10,33	3
4	12	12	11	11,66	1
5	12	12	11,5	11,83	0,5
6	8	11,5	9,5	9,66	3,5
7	11,5	9	10	10,16	2,5
8	11	12	14	12,33	3
9	12,5	12	12	12,16	0,5
10	11	11	10	10,66	1

Tableau 7 : Mesures de la viscosité de la pâte de fraise

Test de normalité :

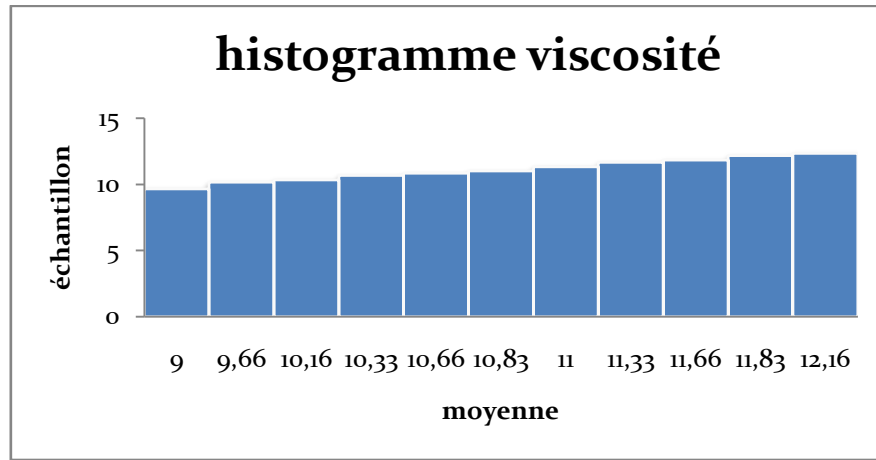


Figure 11 : Histogramme de la viscosité de la pâte de fraise

Interprétation : L'histogramme obtenue a la forme d'une cloche de Gauss donc on peut appliquer la carte de contrôle.

Carte moyenne (X barre):

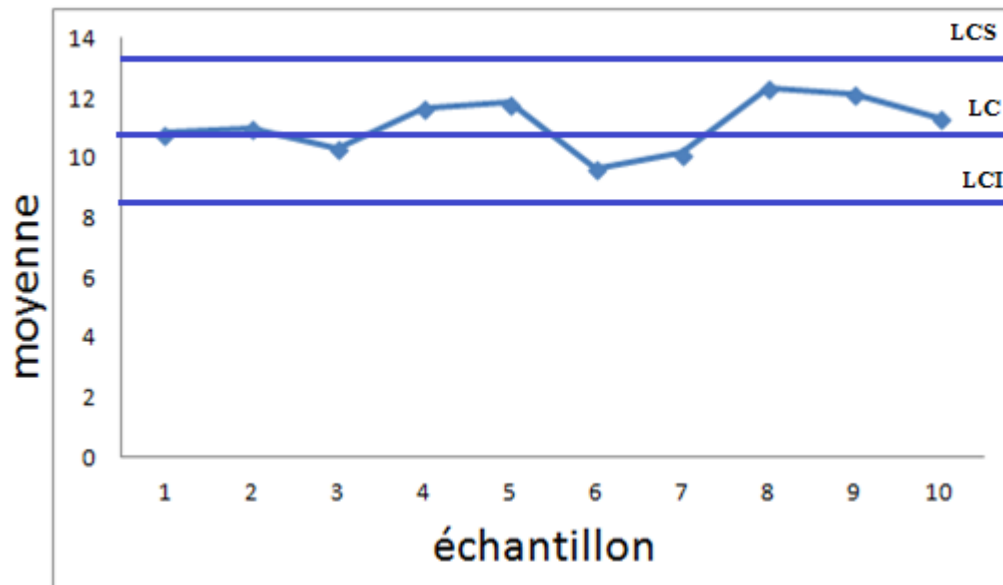


Figure 12: carte de contrôle de la moyenne de la viscosité de la pâte de fraise

Carte étendue R :

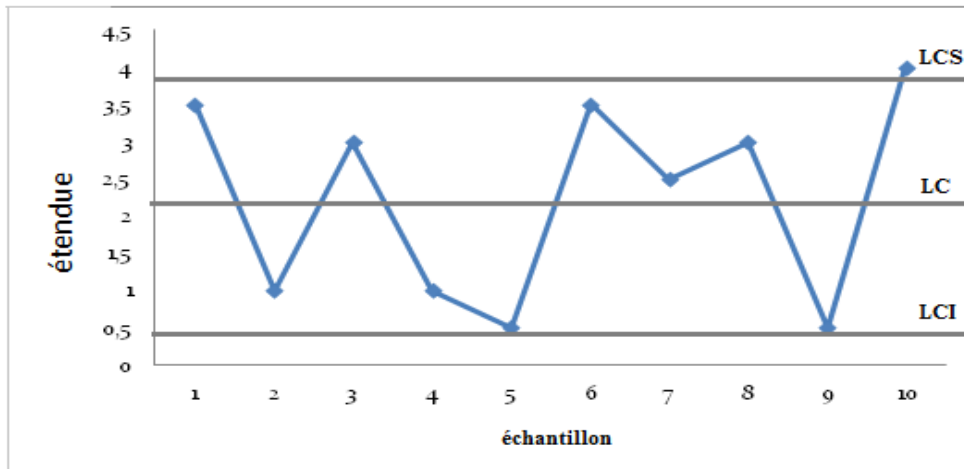


Figure 13: carte de contrôle de l'étendue de la viscosité de la pâte de fraise

Interprétation : Il y a un seul point qui sort de la limite supérieure de contrôle de la carte étendue (échantillon 10), qui peut être un point aberrant et pour vérifier on va réaliser le test de Dixon.

❖ **Test de Dixon**

Le test de Dixon (voir le principe dans l'annexe) est utilisé pour vérifier si la l'étendue de l'échantillon 10 est aberrant.

Calcul de r_1 et r_2 :

D'après la table des valeurs critiques de Dixon (voir annexe), on lit la valeur critique r_α :

$r_\alpha = 0,534$ pour risque d'erreur $\alpha = 5\%$

$r_\alpha = 0,639$ pour risque d'erreur $\alpha = 1\%$

On calcule la valeur r_1 selon les relations suivantes : $r_1 = \frac{y_2 - y_1}{y_{10} - y_1}$

$r_1 = 0,17$

On constate que $r_1 < r_\alpha$ (pour les deux risques) donc la valeur $4 \text{ cm}^2/\text{s}$ n'est pas un point aberrant.

3. Etude de la matière retenue :

Tableau des résultats :

échantillo n	matière retenue				Etendue R
	X1	X2	X3	Moyenne X	
1	2	2,5	3,5	2,66	1,5
2	3,5	3	2,5	3	1
3	3,5	3	2,5	3	1
4	13	12,5	9,5	11,66	3,5
5	18	11,5	12	13,83	6,5
6	14	16	15,5	15,16	2
7	14,5	15	15,5	15	1
8	14,5	14	16	14,833	2
9	2	2,5	2	2,16	0,5
10	16	17	15	16	2

Tableau 8: Mesures de la matière retenue de la pâte de fraise

Test de normalité :

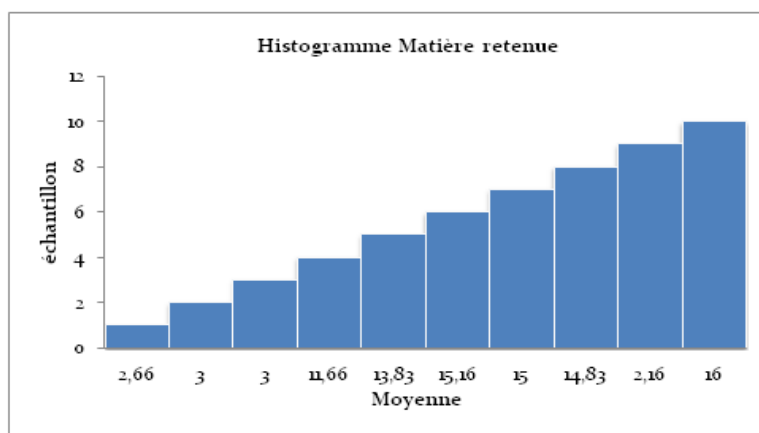


Figure 14 : Histogramme de la matière retenue de la pâte de fraise

Interprétation : L'histogramme n'a pas la forme d'une cloche de Gauss donc la distribution des mesures est signification différente d'une loi normale. Alors on ne peut pas effectuer la carte de contrôle. Il faut chercher les actions correctives. C'est pour cette raison qu'on a optimisé cette matière retenue par la méthodologie des plans d'expériences.

I- Généralité sur les plans d'expériences

1- Définition

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.

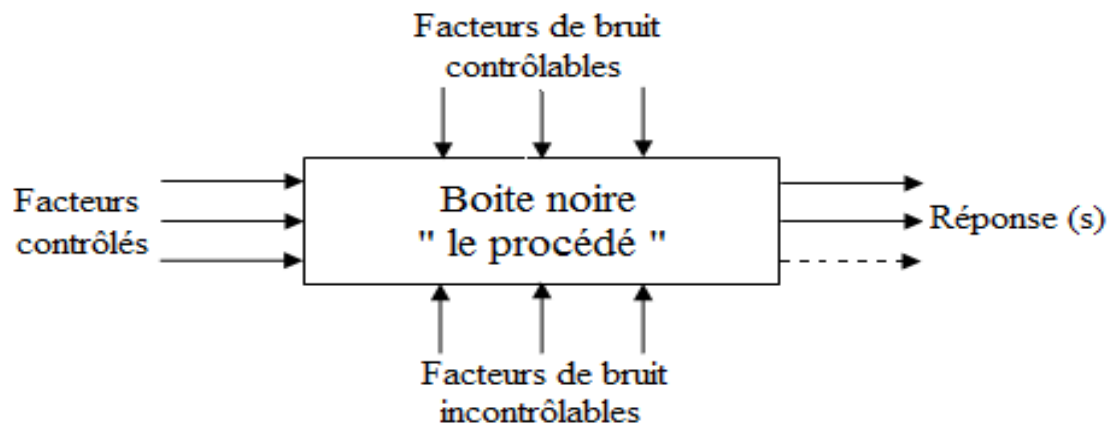
La méthodologie des plans d'expériences correspond à une série d'essais définis à partir d'une stratégie optimale permettant la prédiction d'une réponse avec le minimum d'erreurs et un minimum d'essais sur la base d'un modèle postulé. Les plans d'expériences sont une méthodologie puissante qui permet d'optimiser la mise au point d'un produit ou d'un procédé industriel.

2- Conception

La répartition des essais n'est pas une sélection au hasard ou à l'intuition ; elle respecte des critères statistiques.

3- Formule du problème

L'étude d'un phénomène peut, le plus souvent, être schématisé de la manière suivante : on s'intéresse à une grandeur Y , que nous appellerons par la suite réponse, qui dépend d'un grand nombre de variables X_1, X_2, \dots, X_n , que nous appellerons par la suite facteurs.



4- Modélisation des plans d'expériences

La modélisation consiste à trouver une fonction f telle que $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$. Une méthode classique d'étude consiste en la mesure de la réponse Y pour plusieurs valeurs de la variable X_i tout en laissant fixe la valeur des $(n-1)$ autres variables. On réitère alors cette méthode pour chacune des variables. Ainsi, par exemple, si nous avons 4 variables et si l'on décide de donner 5 valeurs expérimentales à chacune d'elles, nous sommes conduits à effectuer $5^4 = 625$ expériences. Ce nombre élevé dépasse les limites de faisabilité tant au niveau du temps que du coût. Il faut donc réduire le nombre d'expériences à effectuer sans pour autant perdre sur la qualité des résultats recherchés. L'utilisation d'un plan d'expérience donne alors une stratégie dans le choix des méthodes d'expérimentation. Le succès des plans d'expériences dans la recherche et l'industrie est lié au besoin de compétitivité des entreprises : ils permettent une amélioration de la qualité et une réduction des coûts.

5- Domaine expérimental d'intérêt

Le domaine expérimental possible (ou domaine d'opérabilité) est le sous-ensemble du domaine des facteurs contenant les expériences réalisables.

Dans la pratique, ce domaine est souvent lui-même réduit à un domaine expérimental d'intérêt dans lequel nous recherchons les informations désirées.

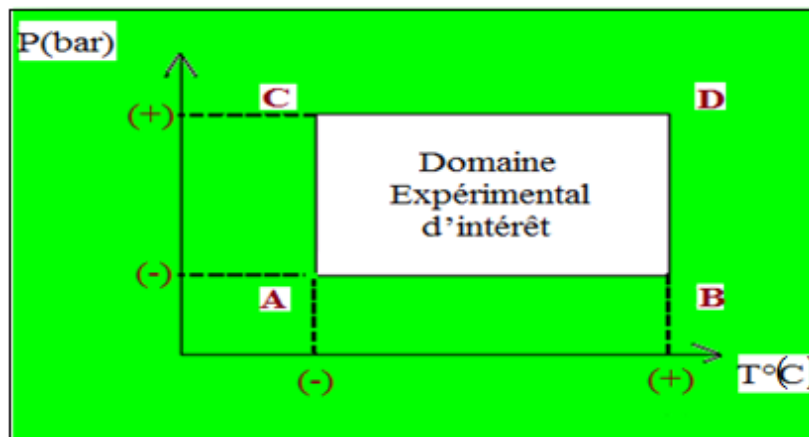


Figure 15: Exemple explicatif d'un domaine expérimental d'intérêt

6- Domaines d'application

- Etudes techniques avec détermination des cotations et tolérances.
- Optimisation de processus.
- Etude des moyens de fabrication.
- Essais de mise au point.
- Essais d'endurance.
- Essais de laboratoire.

7- Les avantages de la méthode par rapport à une méthode d'expérimentation traditionnelle

- Moins d'essais.
- Précision et optimisation des résultats.
- Stratégie d'essais : essais planifiés.
- Interprétation graphique simple.
- Révélation d'interactions entre les paramètres.
- Conclusions fiables.
- Capitalisation du savoir-faire.

8- Les différents types des plans d'expériences

Il existe plusieurs types des plans d'expériences, on site :

- ✚ **Plan de criblage** : ce plan est conçu pour déterminer les facteurs les plus importants affectant une variable de réponse. Les facteurs peuvent être quantitatifs ou qualitatifs à deux niveaux uniquement.
- ✚ **Plan de mélange** : ce type de plan nous permet de connaître une ou plusieurs propriétés dépend de la proportion de chaque constituant dans le mélange étudié.
- ✚ **Plan factoriel complet** : toutes les combinaisons des niveaux de facteurs sont présentes.
- ✚ **Plan factoriel fractionnaire** : tous les niveaux de chaque facteur sont présents, mais pas toutes les combinaisons possibles de facteurs.

Dans notre partie expérimentale nous n'avons traité que le plan de criblage.

II- Plan de criblage

Ce plan est conçu pour déterminer les facteurs les plus importants affectant une variable de réponse, les facteurs peuvent être quantitatifs ou qualitatifs à deux niveaux uniquement. Il s'appelle aussi le plan de *Plackett* et *Burman* et la matrice correspondante s'appelle matrice d'*Hadamard*.

1. Matrice d'Hadamard

C'est la matrice d'expérience utilisée dans ce plan, elle permet d'estimer les "poids" (β_j) de k facteurs en N expériences. Cette matrice existe pour un nombre d'expériences (multiple de 4) et se construit selon un algorithme qui donne la 1^{ère} ligne (ou la 1^{ère} colonne) de la matrice d'expériences puis les autres lignes sont générées par permutation circulaire horizontale (ou verticale) de cette ligne. La dernière ligne de la matrice d'Hadamard est toujours une ligne ne comportant que des signes (-).

2. Première ligne de la matrice d'Hadamard avec un nombre d'expériences correspondantes

N=4	+	+	-																				
N=8	+	+	+	-	+	-	-																
N=12	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-												
N=16	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-								
N=20	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	+	+	-					
N=24	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-
.....																							

A partir de la ligne choisie, on construit la matrice d'Hadamard en choisissant l'une des permutations : par le haut, par le bas, par la gauche ou par la droite.

III- Optimisation de la matière retenue dans la pâte de fraise par le plan de criblage

L'objectif de cette partie est d'optimiser les facteurs les plus influents sur la matière retenue afin d'améliorer le rendement à l'aide du plan de criblage.

1- Choix des facteurs et les niveaux expérimentaux correspondants

Le choix des facteurs et les niveaux expérimentaux ont été réalisé en présence du responsable de la société.

	X1	X2	X3	X4	X5
facteur	agitation en premix	Agitation en pasteurisateur	Agitation en refroidisseur	température de refroidissement	pression de la pompe
unité	tour/min	tour/min	tour/min	°C	bar
niveau +	25	60	40	40	8
niveau-	12	26	20	30	5

Tableau 9: Les niveaux expérimentaux des facteurs influant sur la matière retenue

D'après le plan de criblage, on a effectué 8 essais puisque on a 5 facteurs.

2- Matrice d'expérience

Cette matrice est générée par le logiciel NEMROWD :

N° Exp	X1	X2	X3	X4	X5
1	1	1	1	-1	1
2	1	1	1	1	-1
3	-1	1	1	1	1
4	1	-1	1	1	1
5	1	1	-1	1	1
6	1	1	1	-1	1
7	1	1	1	1	-1
8	-1	-1	-1	-1	-1

Figure 16: La matrice d'expérience

Les (-1) et les (+1) représentent les niveaux d'intérêt de chaque facteur.

3- Plan d'expérimentation

Pour le plan d'expérimentation, on remplace les (-1) et les (+1) par les valeurs correspondantes et chaque ligne représente un essai.

Ce plan d'expérimentation est généré par le logiciel NEMRODW.

N° Exp	Agitation en Premix	vitesse en pasteurisateur	vitesse en refroidisseur	T° de refroidissement	pompe
	tour/min	tour/min	tour/min	°C	bar
1	25	60	40	30	8
2	25	60	40	40	5
3	12	60	40	40	8
4	25	26	40	40	8
5	25	60	20	40	8
6	25	60	40	30	8
7	25	60	40	40	5
8	12	26	20	30	5

Figure 17: Le plan d'expérimentation

4- Enregistrement des réponses

Pour chaque ligne d'expérience on obtient une réponse Y et on enregistre les réponses :

N° Exp	X1	X2	X3	X4	X5	Y1
1	1	1	1	-1	1	2
2	1	1	1	1	-1	40
3	-1	1	1	1	1	5
4	1	-1	1	1	1	10
5	1	1	-1	1	1	10
6	1	1	1	-1	1	20
7	1	1	1	1	-1	40
8	-1	-1	-1	-1	-1	60

Figure 18 : Réponses obtenues par les 8 essais

5- Etude graphique

La figure 19 permet de visualiser l'influence de chaque facteur sur la réponse.

Chaque facteur a une influence soit positif (de gauche à droite) ou bien négativement (de droite à gauche).

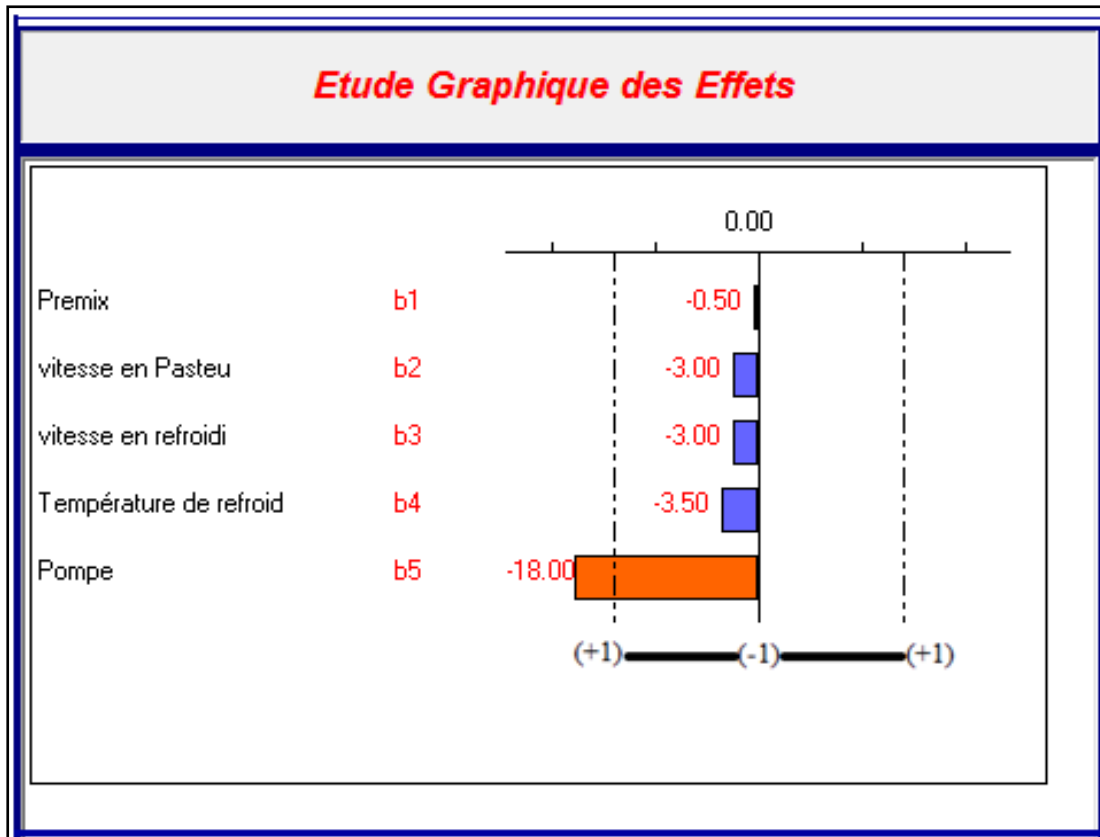


Figure 19: Etude des effets par diagramme de Lenth

Interprétation : D'après les résultats présentés sur la figure 18, on constate que la diminution de la matière retenue peut être engendré par tous les facteurs lorsqu'ils sont dans le niveau haut (niveau plus) d'où la nécessité de faire une approche de Pareto pour savoir les facteurs les plus influents.

6- Approche de Pareto

Le diagramme de Pareto est un moyen simple pour classer les phénomènes par ordre d'importance. Ce diagramme et son utilisation sont aussi connus sous le nom de « règle des 20/80 » c'est-à-dire 20% des causes sont responsable de la majeure partie des effets 80%.

A l'aide de logiciel NEMROWD :



Figure 20 : Etude des effets par diagramme de Pareto

Interprétation : Selon les effets Pareto individuels et cumulés (figure 19), la pompe est le facteur le plus influent par contre les autres facteurs température en Premix et rotor en refroidisseur n'ont pas une grande influence sur la matière retenue.

7- Estimation des coefficients et de modèle postulé :

Les coefficients du modèle postulé donnés par NEMRODW sont

Coefficients	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
Valeurs correspondantes	32	-0,5	-0,3	-0,3	-3,5	-18

Tableau 10 : Les coefficients β_i et leurs valeurs correspondantes

Le modèle mathématique estimé s'écrit donc sous la forme suivante :

$$Y=32-0,5 X_1-0,3 X_2 -0,3 X_3-3,5 X_4-18 X_5$$

D'après le graphe de Pareto on conclue que le facteur le plus influent sur la matière retenue est le facteur pompe (X5) alors le modèle postulé devient :

$$Y=32-18X5$$

8- Le réglage possible :

On a choisi les niveaux (-1) pour les facteurs ayant un effet négatif sur la réponse Y_1 pour avoir un maximum de matière retenue dans le produit fini.

Facteur	Pression de la pompe	Agitation en premix	Agitation en pasteurisateur	Agitation en refroidisseur	Température en premix
Unité	bar	tour/min	tour/min	tour/min	°C
Niveau-	5	12	26	20	30

Tableau 11 : Le réglage proposé

Ce plan de criblage a été validé suite à une série de 3 expériences avec le réglage proposé :

Essais	1	2	3
Matière retenue	60%	58%	57%

Tableau 12 : Trois essais pour la validation du réglage

D'après ces essais on constate que la le pourcentage de la matière retenue varie entre 57 et 60%. On peut conclure donc que la diminution de la pression de la pompe permet d'obtenir des résultats satisfaisants en morceaux retenu dans le produit fini.

Remarque : En cas d'extrapolation de cette expérience à l'échelle industrielle on peut mettre en place d'autre carte de contrôle pour confirmer l'optimisation.

Conclusion

L'objectif de tout industriel ambitieux est d'améliorer ses processus de fabrication et d'optimiser les coûts de reviens de ses produits tout en restant dans les normes acceptées par la loi.

L'étude statistique par les cartes de contrôle que nous avons réalisée dans ce mémoire permet d'améliorer de la stabilité et d'optimiser les paramètres physico- chimiques des processus de fabrication de la pâte de fraise. Les cartes de contrôle qu'on a traitées montrent que le processus de fabrication nécessite quelques ajustements et actions correctives pour qu'il soit sous contrôle (maîtrisé).

Ce rapport traite également une étude d'optimisation de matière retenue de la pâte de fraise en biscuit par la méthodologie des plans d'expériences. Nous avons choisi le plan de criblage pour étudier les facteurs les plus influents. Cette étude permet d'améliorer le rendement de la matière retenue en diminuant la pression de la pompe.

Bibliographie

Les rapports :




- **Rapport de stage GPM de Mr Abdelali EL GAIDOUMI**
- **Rapport de stage 2013 de Boutaine Sali**

Les Cours :

- Plans d'expériences MST GMP 2011/2012 de *Mr Mohammed EL ASRI* (FST).
- Traitements Statistiques et acquisition des données de *Mme SQALLI* (FST).

Les Sites :

www.google.com :

-  Carte de contrôle mesures.pdf
-  Interpréter carte.pdf
-  Wikipedia

Annexe

Coefficients des cartes de Shewhart

n	d_2	d_3	c_4	A	A_2	A_3	B_3	B_4	B_5	B_6	D_3	D_4	D_5	D_6
2	1,128	0,853	0,7979	2,121	1,880	2,659	0	3,267	0	2,606	0	3,267	0	3,686
3	1,693	0,888	0,8862	1,732	1,023	1,954	0	2,568	0	2,276	0	2,574	0	4,358
4	2,059	0,880	0,9213	1,500	0,729	1,628	0	2,266	0	2,088	0	2,282	0	4,698
5	2,326	0,864	0,9400	1,342	0,577	1,427	0	2,089	0	1,964	0	2,114	0	4,918
6	2,534	0,848	0,9515	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0	2,004	0	5,078
7	2,704	0,833	0,9594	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,804	0,076	1,924	0,205	5,203
8	2,847	0,820	0,9650	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,178	1,752	0,136	1,864	0,387	5,307
9	2,970	0,808	0,9693	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,184	1,816	0,546	5,394
10	3,078	0,797	0,9727	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,277	1,669	0,223	1,777	0,687	5,469
11	3,173	0,787	0,9754	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,314	1,637	0,256	1,744	0,812	5,534
12	3,258	0,778	0,9776	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,609	0,283	1,717	0,924	5,592
13	3,336	0,770	0,9794	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	0,307	1,693	1,026	5,646
14	3,407	0,762	0,9810	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	0,328	1,672	1,121	5,693
15	3,472	0,755	0,9823	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,420	1,544	0,347	1,653	1,207	5,937
20	3,735	0,729	0,9869	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,503	1,471	0,415	1,585	1,548	5,922

Test de Dixon

Principe du test :

Il nécessite un classement préalable des mesures par ordre croissant. La valeur minimum ou la valeur maximum sera dite alors aberrante si sa valeur simple trop petite ou trop grande aux valeurs observées.

Réalisation du test :

- ❖ Il faut classer les "n" mesures y_i par ordre croissant : $y_1 < y_2 < \dots < y_{n-1} < y_n$
- ❖ Pour savoir si y_1 ou y_n sont des valeurs aberrantes :
 - On calcule r_1 si on veut tester y_1 aberrante.
 - On calcule r_2 si on veut tester y_n aberrante.

Avec r_1 et r_2 dépendent de n (le nombre de mesures) :

$3 \leq n \leq 7$	$r_1 = \frac{y_2 - y_1}{y_n - y_1}$	$r_2 = \frac{y_n - y_{n-1}}{y_n - y_1}$
$8 \leq n \leq 10$	$r_1 = \frac{y_2 - y_1}{y_{n-1} - y_1}$	$r_2 = \frac{y_n - y_{n-1}}{y_n - y_2}$
$11 \leq n \leq 13$	$r_1 = \frac{y_3 - y_1}{y_{n-1} - y_1}$	$r_2 = \frac{y_n - y_{n-2}}{y_n - y_2}$
$14 \leq n \leq 30$	$r_1 = \frac{y_3 - y_1}{y_{n-2} - y_1}$	$r_2 = \frac{y_n - y_{n-2}}{y_n - y_3}$

- ❖ On choisit un risque α (1% ou 5%) et on compare r_1 ou r_2 avec la valeur critique correspondante r_α lue dans la table du test de Dixon.
- ❖ Règle de décision :
 - $(r_1 \text{ ou } r_2) < r_\alpha \implies (y_1 \text{ ou } y_2) \text{ n'est pas aberrante.}$
 - $(r_1 \text{ ou } r_2) > r_\alpha \implies (y_1 \text{ ou } y_2) \text{ est aberrante.}$

Valeurs critiques r_α pour le test de Dixon

Nombre de donnée	Risque d'erreur	
	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 1\%$
3	0,970	0,994
4	0,829	0,926
5	0,710	0,821
6	0,625	0,740
7	0,568	0,680
8	0,615	0,725
9	0,570	0,677
10	0,534	0,639
11	0,625	0,713
12	0,592	0,675
13	0,565	0,649
14	0,590	0,674
15	0,568	0,647



Figure 4 : les différents types d'emballage du

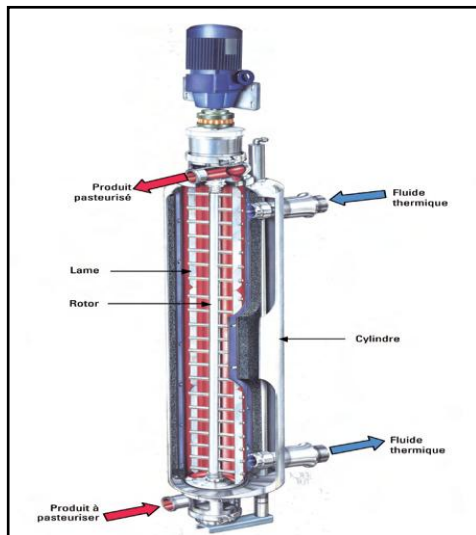


Figure 2 : Coupe transversale d'échangeur à surface raclée

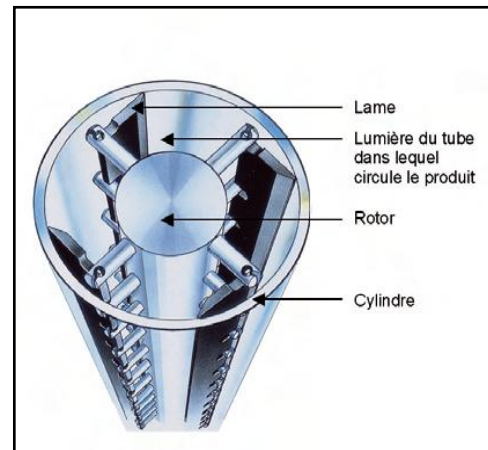
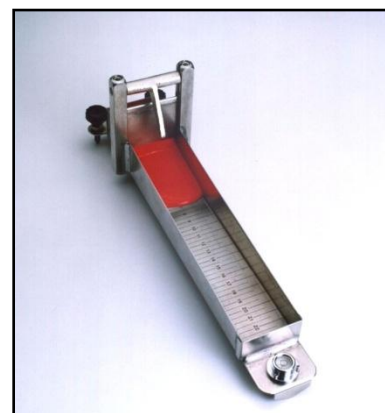


Figure 3 : Schéma montrant le canal central muni d'un rotor équipé de lames d'un échangeur à surface raclée



Réfractomètre pour mesurer le



Viscosimètre

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

Génie des Matériaux et des Procédés

Nom et prénom : Khadija Armel

Année Universitaire : 2012/2013

Titre : - Optimisation du processus de préparation de la pâte de fraise au sein
de la société Fruprep

Résumé

L'industrie agroalimentaire au Maroc connaît un développement croissant. La Fruprep, spécialisée dans la préparation des fruits pour l'industrie des produits laitiers, tient à développer sa qualité et ses processus de fabrication. La mise en place des actions correctives et préventives adéquates, à ce développement, demande un contrôle statistique préalable par des cartes de contrôle et une optimisation par des plans d'expériences.

Les cartes de contrôle établies montrent que le processus de fabrication est maîtrisé. Mais il nécessite quelques ajustements et actions correctives pour qu'il devienne stable.

Selon le plan d'expérience, la diminution de la pression de la pompe a permis d'obtenir un maximum de matière retenue dans le produit fini.

Mots clés : Fruprep, Fraise, loi normale, maîtrise statistique des procédés, carte de contrôle, plan d'expérience, matière retenue.