



Année Universitaire : 2009-

2010

**Filière Ingénieurs  
Industries Agricoles et Alimentaires**



**Rapport de stage de fin d'études**

**Titre :  
CONTRIBUTON A L'OPTIMISATION DU  
POIDS D'ENROBAGE DU MERENDINA MINI**

**Réalisé par l'élève-ingénieur :**

**JOUDAR ABDESSAMAD**

**Encadré par :**

- Mr H. BATAL : Société BIMO
- Pr. A. BELRHITI ALAOUI : FST Fès

**Présenté le 29 Juin 2010 devant le jury composé de :**

- Pr. A. BELRHITI ALAOUI
- Dr. H. BATAL
- Pr. M. EL ASRI
- Pr. R. TLEMCANI
- Pr. L. EL GHADRAOUI
- Pr. A. OULMEKKI

**Stage effectué à : BISCUITERIE INDUSTRIELLE DU MOGHREB (BIMO)**



# 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  
BIMO, 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



# SOMMAIRE

Remerciements	
<b>Introduction générale</b>	1
<b>Partie 1: Revue bibliographique</b>	
<b>I)- Historique du secteur de la biscuiterie</b>	4
1)- Biscuit	4
2)- Gaufrette	5
3)- Pâtisserie	6
<b>II)- Présentation de BIMO</b>	7
1)- Présentation de ONA	7
2)- Historique de BIMO	8
3)- L'unité industrielle BIMO	9
<b>III)- La production</b>	14
1)- Stockage, manutention des matières premières	14
2)- La production de Merendina	14
a)- Préparation de la pâte	14
b)- Cuisson	15
c)- Façonnage et fourrage	17
d)- Enrobage, refroidissement et conditionnement	17
3)- Processus de fabrication de biscuit	19
4)- Processus de fabrication de la génoise	20
5)- Processus de fabrication de gaufrette	21
6)- Processus de fabrication du cake- madeleine	22
<b>VI)- Service laboratoire</b>	23
1)- L'autocontrôle	23
2)- Le contrôle au cours de la production	23
3)- Le contrôle du produit fini	24
<b>Partie 2 : Partie expérimentale</b>	
<b>A)- Introduction</b>	26
1)- Définition des plans d'expériences	26
2)- Historique	27
3)- A quoi sert un plan d'expériences ?	27
4)- Avantages des plans d'expériences	28
5)- Domaine d'application	28
6)- Catégories des plans d'expériences	29

7)- Démarche méthodologique.....	30
8)- Sélection des facteurs et choix de leurs niveaux.....	30
8-1) – Choix des facteurs.....	30



8-2) – Choix des niveaux des facteurs.....	30
<b>B)- Outils et principes de la méthode.....</b>	<b>31</b>
1)- Régression linéaire multiple.....	31
1-1)- Effet d'un facteur.....	31
1-2)- Réalisation du test de signification des effets.....	32
2)- Validation statistique du modèle.....	33
2-1)- Analyse de la variance.....	33
2-2)- Coefficients de corrélation $R^2$ .....	36
<b>C)- Optimisation du poids d'enrobage de Merendina mini.....</b>	<b>36</b>
Introduction.....	36
1)- Problématique.....	37
2)- Démarche de travail.....	37
a)- Liste des facteurs.....	38
b)- Criblages des facteurs.....	38
3)- Résultats de l'étude d'optimisation.....	38
a)- Plan de surface de réponse.....	38
b)- Choix du domaine de variation.....	38
c)- Modèle mathématique.....	39
d)- Plan d'expériences.....	40
e)- Résultats obtenus.....	42
e-1)- Analyse de la variance.....	42
e-2)- Coefficient de corrélation $R^2$ .....	42
e-3)- Etude graphique des résidus.....	43
e-4)- Estimation statistique des coefficients.....	43
e-5)- Etude graphique.....	44
e-6)- Validation du modèle par des points tests.....	45
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>47</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>48</b>



# Introduction générale

Les secteurs de la biscuiterie, de la confiserie et de la chocolaterie ne font pas partie des secteurs alimentaires ayant connu la plus forte progression, ils sont nettement distancés par les industries laitières et le secteur de la transformation des produits de mer.

Comparativement aux autres secteurs industriels, les industries de 2<sup>ème</sup> transformation des produits céréaliers et sucrés bénéficient d'une croissance de la production supérieure à la moyenne des produits manufacturés. Cet élément est un indicateur du dynamisme de la branche. La progression des produits de biscuiterie pâtisserie et boulangerie est continue depuis plusieurs années, cela est probablement relié au renforcement des industriels suite à l'apparition de nouvelles concurrence et à l'apparition sur le marché de nouveaux acteurs particulièrement actifs dans le domaine de la pâtisserie industrielle.

L'activité de la biscuiterie industrielle est marquée par une certaine saisonnalité de la demande avec un pic de consommation lors de la rentrée scolaire, les enfants étant les premiers consommateurs de ces produits. En revanche, pendant les mois d'été, le ramadan ou lors des autres fêtes religieuses, leur consommation chute au profit des pâtisseries traditionnelles confectionnées par les ménagères marocaines.

Le segment de la pâtisserie industrielle longtemps dominé par **BIMO** avec sa gamme **Merendina** est devenu fortement concurrentiel avec l'apparition de **Cahimsa** et **Mary Trivi** et dans une plus faible proportion de la montée en puissance de **Bipan**.

C'est pour cela et pour garder sa part dans le marché marocain (50%), BIMO doit assurer une production régulière de qualité et pour ça elle a mis en place un système de contrôle et d'autocontrôle au niveau de chaque étape de la production.



Notre sujet a pour objectif d'optimiser le poids d'enrobage de Merendina Mini, par l'utilisation d'une méthode statistique qui se base sur l'utilisation des plans d'expérience et plus spécifiquement des plans pour surface de réponse.



# Partie I :

## Revue bibliographique



### I- Historique du secteur de la biscuiterie :

## 1- Biscuit :

L'origine du biscuit remonte aux civilisations les plus anciennes de Mésopotamie. Il est alors toutefois, difficile de bien distinguer le biscuit du pain, des biscottes et d'autres produits.

Le mot "biscuit" apparaît, pour la première fois en France, dans un écrit d'un chroniqueur du 9<sup>ème</sup> siècle A.D. Il pouvait signifier soit "cuit deux fois" (bis-cuit), soit "cuit d'avance" (be-cuit). Il servait à désigner de petites galettes dures.

Plus tard, dans l'Europe du Moyen Age, le mélange d'épices et de jus de viandes rendit les "galettes" plus agréables à déguster.

Dès cette époque, le biscuit s'affirme comme la nourriture par excellence des marins. Comme le rappelle l'expression passée depuis dans le vocabulaire courant « Ne pas s'embarquer sans biscuits ». Par la suite, le développement de la biscuiterie coïncide avec l'essor du commerce maritime entre l'Europe, l'Afrique, l'Amérique et l'Asie. Ces longs voyages en bateaux nécessitent une nourriture se conservant longtemps, facilement, et très énergétique. C'est pourquoi le biscuit est sec et composé de farine, sucre, corps gras, œufs et lait. Tous les grands ports Européens disposent alors d'une production importante de biscuits de mer fournissant sous une forme réduite un apport énergétique important aux équipages des bateaux.

La naissance de la « biscuiterie industrielle » est donc liée aux besoins en aliments de longue conservation des marins et des populations au cours des phases des grandes découvertes qui se sont déroulées entre le 15<sup>ème</sup> et le 19<sup>ème</sup> siècles. Les biscuits de marin ou de guerre encore fabriquée aujourd'hui permettent de fournir sous forme concentrée un élément énergétique à base de farine, facile d'emploi, transportable en tous lieux et dont le stockage ne pose pas de problème de volume ni sanitaire insurmontables contrairement aux produits de boulangerie ou de la farine.

Dès le 18<sup>ème</sup> siècle, l'essor de la culture à grande échelle de la canne à sucre dans les territoires portugais, anglais et français d'Amérique -du sud et du nord- permet aux villes et aux régions de ces pays engagées dans le commerce avec ces territoires de disposer d'une matière première en quantité importante. Des villes telles que Nantes ou Bordeaux en France disposent rapidement de nombreuses sucreries et raffineries ; le sucre devient alors disponible en quantité et à un prix abordable. Les biscuits sucrés tels que les galettes bretonnes ou les sablés datent de cette période.



La première révolution industrielle qui débute en Grande Bretagne à la fin du 18<sup>ème</sup> siècle conduit à l'installation d'usines de plus en plus grandes. Ce phénomène touche tous les secteurs, il n'est donc pas étonnant de voir que l'industrialisation de la biscuiterie



commence réellement dans ce pays dès 1815. La croissance rapide de ce secteur industriel permit au biscuit anglais de connaître une vogue prodigieuse et une extension considérable. Le biscuit Albert- dénommé ainsi en l'honneur de l'époux de la Reine d'Angleterre Victoria- fut alors un succès mondial exporté dans tous les pays du monde.

L'essor de la biscuiterie en Angleterre et le développement des nouvelles technologies en Angleterre et dans les ports français ne s'explique pas autrement. Le biscuit a donc été à son origine un produit dont les caractéristiques nutritionnelles étaient essentielles. Au fur et à mesure de l'intensification des échanges commerciaux (disponibilités des matières premières tropicales, disponibilités de quantités importantes du sucre suite à l'essor des plantations de canne du nouveau monde) et de l'élévation du niveau de vie, les biscuits sont passés du statut d'aliment de réserve énergétique à celui d'aliment plaisir intégrant de plus en plus de produits sucrés et d'arômes, de fruits, ...

La naissance de la biscuiterie Française date de 1862 lorsque le fils d'un boulanger de Bordeaux, Honoré-Jean OLIBET, importe en France les procédés de fabrication anglais. De cette époque date aussi la naissance de la société LEFEBVRE UTILE (LU) à Nantes qui après une croissance remarquable au cours du 20<sup>ème</sup> siècle fut racheté par la société DANONE en 1990.

Depuis, le marché a largement évolué, tant sur le plan de la quantité que sur le plan de la diversité. Les impératifs de la biscuiterie des années 1990 ne sont plus les mêmes que ceux de la fin du siècle dernier, car la société a évolué. Le biscuit est devenu un produit nutritionnel qui doit procurer du plaisir au consommateur. La recherche de fantaisie et de différenciation par des formules de plus en plus sophistiquées incorporant des matières premières de plus en plus variées telles que le chocolat, les fruits, les épices vise à flatter la gourmandise du consommateur. Par ailleurs, des produits allégés en calories ou enrichis en éléments nutritionnels (vitamines, minéraux, fibres, etc) sont proposés aux consommateurs soucieux de maîtriser l'apport énergétique de leur alimentation et nutritionnel. La texture des produits a également évoluée ; de dure et cassante, elle est passée à friable et fondante. L'essor rapide des produits de pâtisserie moelleux constaté depuis une cinquantaine d'année en Europe et une dizaine d'année au Maroc répond à cette logique de recherche de plaisir par le consommateur. L'emballage est devenu un élément essentiel du marketing de ces produits. On peut résumer ainsi l'évolution du secteur de la biscuiterie "Le produit d'antan était imposé, aujourd'hui il est demandé."

## 2- Gaufrettes :

Avant le 12<sup>ème</sup> siècle, on avait déjà découvert que la pâte cuite entre deux pierres donnait un produit léger et de bon goût. Pendant le Moyen âge, les religieux catholiques



préparèrent des gaufrettes ornées de symboles religieux. Plus tard, les pâtisseries améliorèrent les qualités gustatives des produits obtenus par addition d'œufs, de sel, de graisse et de lait. Ainsi, les anciennes recettes diffèrent peu de celles employées aujourd'hui.

### 3- Pâtisserie :

La pâtisserie a pris naissance à une époque, à peu près semblable à celle où la panification fut découverte, c'est-à-dire dès les temps les plus reculés de l'humanité. L'idée d'incorporer à la pâte quelques assaisonnements tels que matières grasses et produits sucrés suffit à la créer. Aussi a-t-elle existé de tous temps et chez tous les peuples, dont beaucoup possèdent encore leur gâteau national ou plutôt leur pâtisserie régionale.

Dans l'antiquité grecque on rencontrait notamment les beignets, faits de farine de sarrasin, d'huile et de miel, les galettes, cuites sur le gril et mangées chaudes trempées dans du vin, les tourtes faites de raisins et d'amandes.

Même en Chine, où il n'est pas fait usage de pain, la pâtisserie est développée avec ses nombreux gâteaux à base de riz cuit à l'eau et ses petits fours secs à base de farine de sésame et de confitures desséchées.

En France, le gâteau national au Moyen âge fut la fouace, sorte de galette de farine fleur et de beurre, qui a donné naissance aux gâteaux feuilletés.

En Angleterre ce furent les puddings à base de farine, graisses et raisins, puis les cakes, si en vogue dans le monde anglo-saxon actuel. La pâtisserie orientale, souvent très sucrée, à base de sésame ou d'amandes reste très développée et consommée dans tous les pays du moyen orient et du sud de la méditerranée.



## II. PRESENTATION DE LA SOCIETE BIMO

### 1. Présentation du groupe ONA :

Fondé en 1919, ONA est le premier groupe privé industriel et financier marocain et la deuxième capitalisation boursière de la bourse de Casablanca avec un capital social de 1 746 245 000 dhs et un prix de 31 511 collaborateurs et un chiffre d'affaires consolidé en 2007 de 32 835 millions de dirhams.

Sa politique de développement lui a permis de se positionner en acteur majeur dans plusieurs secteurs d'activités stratégiques du pays, ainsi qu'en partenaire privilégié des plus grands opérateurs internationaux. Il a acquis un paysage économique et social.

L'Omnium Nord Africain (ONA) est le moteur de l'économie marocaine opérant au Maroc, en France et en Afrique subsaharienne, il est constitué d'un holding et de sociétés organisées en 5 métiers stratégiques :

- Mines et matériaux de construction
- Agroalimentaires et boissons
- Relais de croissance : télécoms, immobilier, énergie, environnement et technologies de l'information
- Activités financières
- Distribution

Le secteur de l'agro-alimentaire est un métier traditionnel de l'ONA, il continue d'afficher une croissance soutenue grâce à la contribution des filières du Lait, du Sucre et des Corps Gras, chacune bâtie sur une forte position de leader sur le marché marocain. Tout en stimulant les activités en amont et en aval de l'agriculture et de l'agro-industrie, ces filières contribuent à accroître l'efficacité industrielle et la capacité à innover grâce aux efforts de recherche et développement.

Face à une compétition de plus en plus acerbée sur le terrain jusqu'aux rayons des moyennes et grandes surfaces, ces filières capitalisent sur la maîtrise des coûts et des facteurs de production mais aussi sur l'optimisation des systèmes de distribution. Les leviers du modèle de croissance rentable de ce secteur sont : des produits accessibles, des marques à forte notoriété et des systèmes de distribution garantissant une large diffusion des ventes.



**Sociétés opérantes :**

**Tableau 1 : Sociétés appartenant au groupe ONA**

SECTEUR	SOCIETE OPERANTE
---------	------------------

Produits laitiers	CENTRALE LAITIERE, FROMAGERIES DES DOUKKALAS
Eau	SOTHERMA
Biscuiterie	BIMO
Corps gras	LESIEUR CRISTAL
Produits de la mer	LA MONEGASQUE, MAROST
Pêche hauturière	MARONA
Sucre	COSUMAR

L'ONA adopte une stratégie de diversification chaque fois qu'un métier nouvellement intégré est rapidement saturé. Ce qui paraît tout à fait logique. Il s'est dirigé vers de nouvelles activités : technologie, tourisme et de plus en plus vers les services de collectivités locales.

En effet, il n'a plus les mêmes capacités à diriger l'ensemble des secteurs dans lesquels il s'est engagé, d'où le partenariat actuel avec AUCHAN après le refus du vieux partenaire CONTINENT d'élargir son réseau de distribution à travers le Maroc, le partenariat avec VIVENDI dans le secteur de l'assainissement, l'eau et l'électricité et un troisième partenariat avec la chaîne hôtelière OBEROÏ de l'Inde dont le but est d'élargir la plate forme touristique de l'ONA notamment à Marrakech.

L'ONA s'est alors désengagé des secteurs du textiles, transport et de l'imprimerie car il n'a pas le savoir-faire dans ces domaines. Ces filiales ont été reprises par d'autres opérateurs.

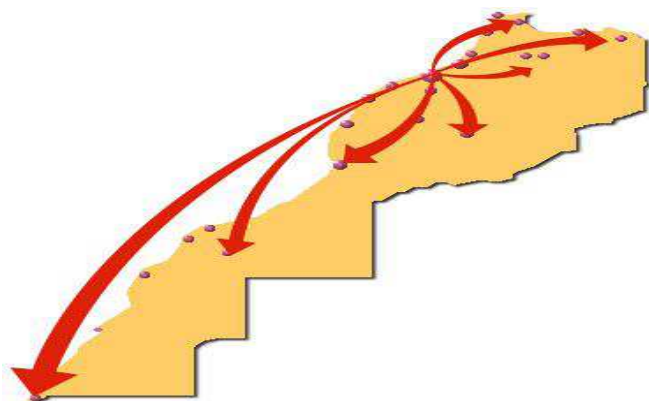
## 2. Historique de BIMO :

Dès sa création en 1981 par Monsieur Driss Meskini à Ain Sebaâ, le mot BIMO (Biscuiterie Industriel de Moghreb) est devenu synonyme de biscuit pour des millions de petits marocains. Grâce à son équipe dynamique, ses lignes sophistiquées et ses experts, BIMO a conquis le marché et a pu offrir à ces petits consommateurs une gamme diversifiée de produits (biscuits, gaufrettes, génoises ...). En 1994, BIMO a élargi son site de production par la constitution d'un nouveau site « BIMO II », à Ain Sebaâ pour conforter sa place de leader en augmentant sa capacité de production ainsi que sa possession du marché (50% de la part du marché). En 1999, pour pérenniser son succès et bénéficier de l'expérience et du savoir-faire des experts, l'entreprise a été cédée par son fondateur aux groupes ONA et DANONE. Les deux entités se partagent le capital à parts égales et entendent bien perpétuer grâce à leur savoir-faire respectif, une réussite exemplaire dans l'économie marocaine. Les produits BIMO sont présents sur tout le



territoire marocain grâce à une force de vente dotée de moyens importants en marketing et en transport (Figure 1). Prince de LU référence de nombreux enfants européens est depuis décembre 2001, produit et commercialisé par BIMO. C'est le premier fruit du partenariat dynamique entre BIMO et DANONE grâce au transfert de savoir faire et de technologie.

Kraft Foods, le géant de l'agroalimentaire est devenu actionnaire majoritaire avec 51% après avoir racheté la branche biscuiterie de Danone.



**Figure 1 : Répartition de la distribution des produits de BIMO au Maroc**

### 3. Unité industrielle de BIMO :

BIMO est depuis le début des années 80 synonyme de biscuit pour la majorité des enfants du Maroc. Un résultat qui repose sur une innovation permanente et une recherche constante de qualité. Sur un marché longtemps caractérisé par la cohabitation entre une biscuiterie locale, bon marché mais peu attractive, et des produits d'importations présentés dans des packaging aguicheurs mais vendus à des prix élevées, l'innovation a toujours été le parti pris fondamentale de BIMO. Un positionnement résumé par la formule un enfant, une pièce, un biscuit qui aura permis à la marque de faire face en 2001 à l'arrivée abondante des importations d'origine turque, saoudienne et égyptienne. S'adressant à un public jeune mais de plus en plus expert et exigeant, BIMO a su faire preuve de créativité pour séduire des consommateurs demandeurs d'originalité et de prix accessibles.

BIMO est une biscuiterie industrielle qui fabrique des biscuits sucrés et salés, des gaufrettes et des pâtisseries. Le nombre de produits commercialisés est très important au niveau du marché local, sa production annuelle s'élève à 45 000 tonnes avec 800 ouvriers.

En septembre 1999, BIMO est acquise à part égale 50%, et 50% par l'ONA (Omnium Nord Africa) et le groupe KRAFT. Cette acquisition a changé le statut de la



société d'une entreprise familiale à une société multinationale au grande perspective et permettra de développer les activités de BIMO à l'échelle internationale. C'est une société anonyme de droit marocain, qui possède deux unités industrielles dotées d'un équipement moderne.

Les produits BIMO sont présents aussi bien sur le territoire marocain qu'à l'étranger : le Maghreb, le Moyen Orient, l'Europe du Nord (Danemark). BIMO croit de + 6% par rapport à l'an 2000 grâce à la mise en exploitation d'une nouvelle ligne de pâtisserie, à l'effort accru et optimisé de communication sur les marques. En tant qu'entreprise agroalimentaire, filière du groupe DANONE et sous les tensions de la mondialisation, devant une clientèle de plus en plus exigeante, les besoins évolutifs des consommateurs et la concurrence rude, BIMO s'est trouvée obligée d'adopter une démarche qualité. A cet effet, BIMO a lancé en 2000 un vaste programme pour atteindre une traçabilité totale et obtenir les certifications HACCP & ISO 9001 version 2000. Le 3 juillet 2007, Danone confirme la vente de l'entreprise LU. Franck

Riboud, le patron de Danone, justifie cette stratégie par le fait que le secteur du "biscuit", bien que rentable, ait un potentiel de développement plus faible que ceux des produits laitiers frais et des boissons sur lesquels il veut recentrer son activité. De plus, ces derniers correspondent mieux à l'image de "produits santé" qu'il entend développer. Sachant que LU est cédé à un nouveau géant agro-alimentaire, l'ONA s'est retrouvé avec un nouveau partenaire d'envergure internationale.

**BIMO se compose de quatre sections réparties comme le montre la figure ci-dessous :**



**Figure 2 : Organigramme montrant la répartition des différents sites et sections de BIMO**

L'unité BIMO dispose des laboratoires de contrôle pour veiller à la bonne qualité de ses produits. De l'amont à l'aval (de la réception jusqu'à la libération du produit fini), il y a des contrôles qualité qui se font au fur et à mesure, pour assurer une production répondant continuellement aux normes exigées.












## Fiche technique de BIMO

<b>RAISON SOCIAL</b>	<b>Biscuiterie Industriel du Moghreb</b>
<b>LOGO</b>	
<b>CHIFFRES D'AFFAIRE</b>	537, 1 Million de dirhams
<b>PART DE MARCHÉ</b>	37,1% en valeur
<b>Date de création</b>	1981
<b>N ° CNSS</b>	1214125
<b>PRODUCTION</b>	Biscuits, gaufrettes, génoises
<b>CAPACITE DE PRODUCTION</b>	40.000 tonnes /an
<b>EFFECTIF</b>	1431 personnes
<b>DOMAINES D'ACTIVITÉS</b>	Agroalimentaire
<b>Nombre de cadres</b>	49
<b>Nombre des ouvriers</b>	715
<b>Nombre des non cadre</b>	892
<b>Personnels intérimaires</b>	177
<b>ADRESSE</b>	Bd. Chefchaouni R rue E, route 110 Ain Sebaâ ,casablanca-maroc
<b>Siège social</b>	Twin center
<b>TÉLÉPHONE</b>	0522353783/0522353531/0522353555
<b>FAX</b>	0522 35 45 80
<b>SITE WEB</b>	www.bimo.co.ma



## Classement des produits de BIMO

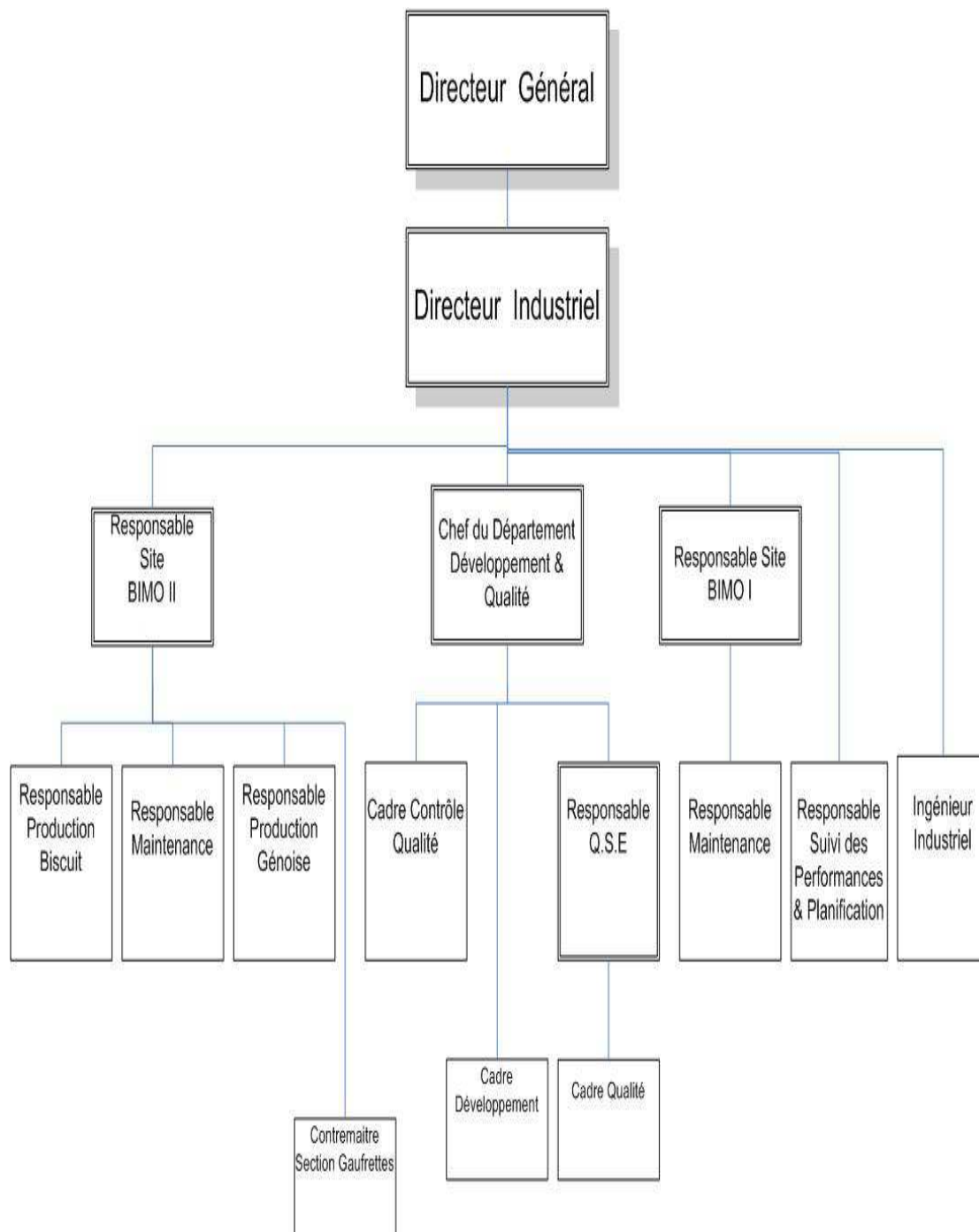
<b>GAMME</b>	<b>TYPE</b>	<b>PRODUITS</b>
	 <i>Biscuit sec</i>	<b>GOLDEN,BIMO-EXTRA,</b>

<i>Biscuit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li> <i>Biscuit fourré</i></li> <li> <i>Biscuit enrobé</i></li> <li> <i>Biscuit fourré et enrobé</i></li> </ul>	<p><b>COOKIES</b></p> <p><b>BIMO</b> <b>SANDWICH, TANGO, PRINCE</b></p> <p><b>ORANGIS, BISCUIT</b> <b>CARAMEL, OKEY</b></p> <p><b>OKEY, PEPITO</b></p>
<i>Gaufrette</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li> <i>Gaufrette sèche</i></li> <li> <i>Gaufrette enrobée</i></li> <li> <i>Gaufrette caramélisée</i></li> </ul>	<p><b>TONIK, Mini TONIK</b></p> <p><b>TAGGER</b></p> <p><b>TAGGER CARAMEL</b></p>
<i>Génoise</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li> <i>Génoise fourrée et enrobée</i></li> <li> <i>Génoise fourrée, enrobée et roulée</i></li> </ul>	<p><b>MERENDINA CLASSIQUE,</b> <b>MERENDINA MINI,</b></p> <p><b>PEPITO ROULE</b></p>
<i>Cake</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li> <i>Cake nature</i></li> </ul>	<p><b>GOLDEN MADELEINE</b></p>



## Organigramme de la société





### **III- La production :**

#### **1-Stockage et manutention des matières premières :**

Chaque matière première, après l'avoir reçu du fournisseur, va subir des tests afin de confirmer les caractéristiques de celle-ci déclarées par le bon de réception (contrôle à la réception).

Après ce contrôle la matière première est stockée dans des bonnes conditions, puis elle va être destinée vers les chaînes de productions.

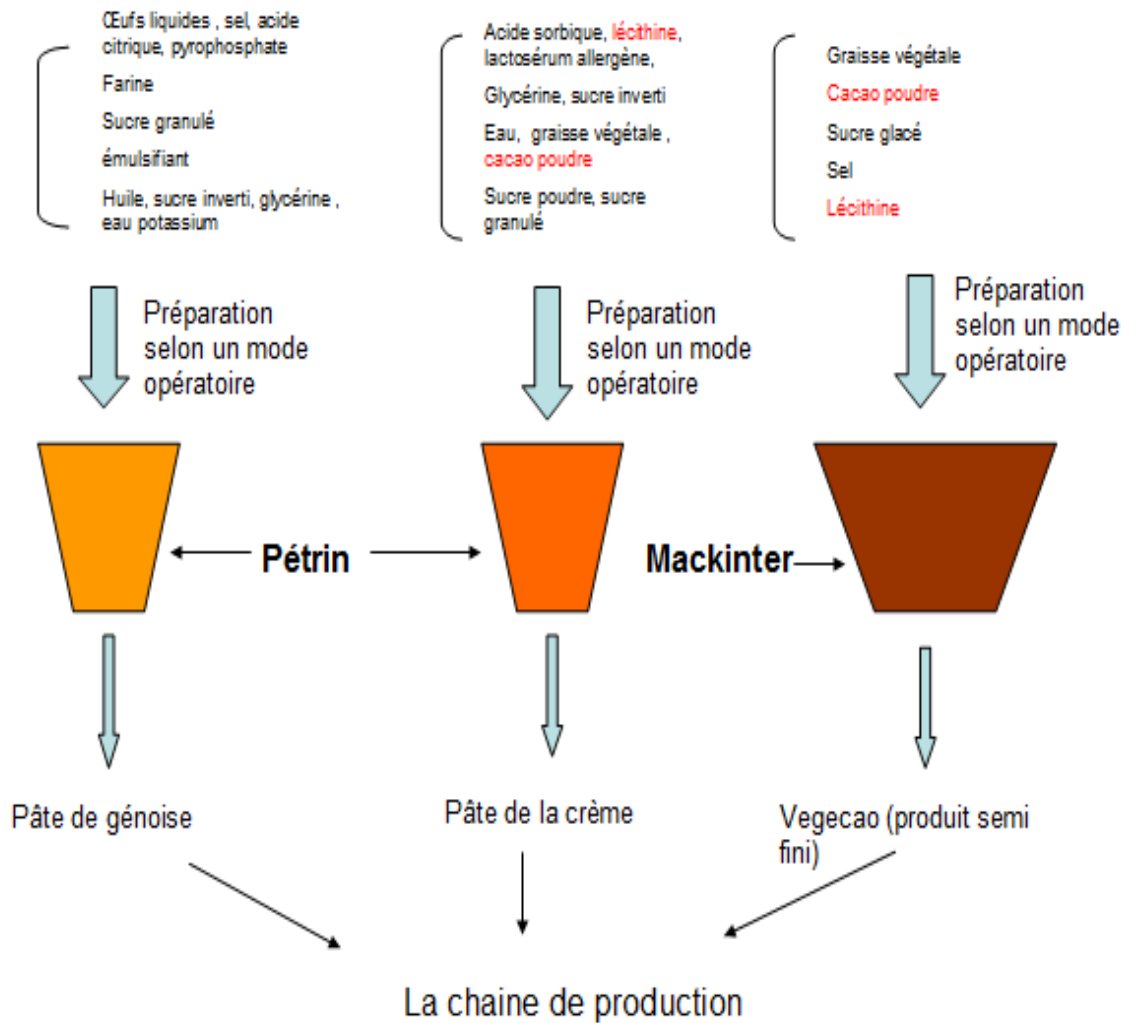
## **2 - La production du Merendina :** (Génoise fourrée et enrobée)

### **a) - Préparation de la pâte :**

Au cours de la production de Merendina, trois types de pâtes sont utilisées, la pâte de la génoise, la pâte de la crème et celle de chocolat.

Pour préparer une pâte, l'opératrice, au niveau de la salle de pesée, pèse les ingrédients nécessaires, puis cette matière première est mélangée dans un pétrin selon un mode opératoire bien défini (ordre d'ajout des ingrédients, la température, et le temps de pétrissage).





**Figure 3 : Préparation des pâtes de Merendina**

**b) - Cuisson :**

Après filtration de la pâte de la génoise à la fin du pétrissage, celle-ci subit une étape de foisonnement avant d'être cuite.

Lorsque la pâte est transférée vers la foisonneuse sa densité diminue (suite à l'incorporation de l'air), elle passe de 0.80 à la fin de pétrissage jusqu'à 0.65.

Avec un débit constant, la pâte est posée sur une bande, qui se charge de la transporter tout au long du four, celle-ci est conçue de telle sorte d'être résistante à la chaleur de cuisson.

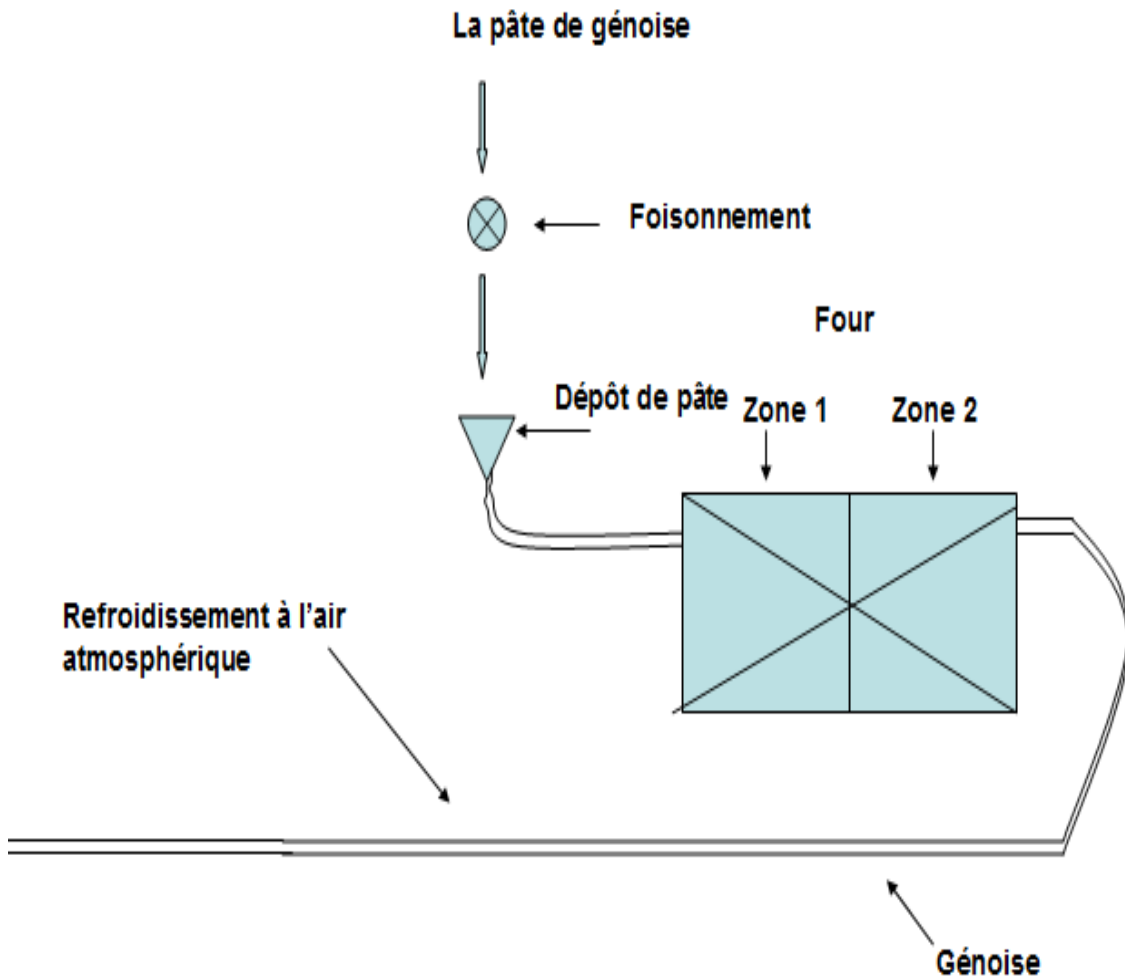


Afin d'éviter tout attachement de la génoise sur la bande après cuisson, une huile végétale est étalée sur la bande.

La pâte est cuite en premier lieu d'une façon directe dans la zone 1 (190°C), puis d'une façon indirecte (conviction par l'air) dans la zone 2 (236°C) du four, puis le refroidissement s'effectue à l'air atmosphérique. (Cas de Merendina Classique)

Au cours de la cuisson, la pâte subit des modifications physico-chimiques. A une température supérieure à 100°C, il y a dégradation des sucres intrinsèques (amidon) et aussi une oxydation de la matière grasse. En même temps les protéines réagissent avec les produits de dégradation des sucres et matière grasse selon la réaction de Maillard.

Ces réactions sont responsables du développement de la couleur, de la texture et des saveurs de la génoise.



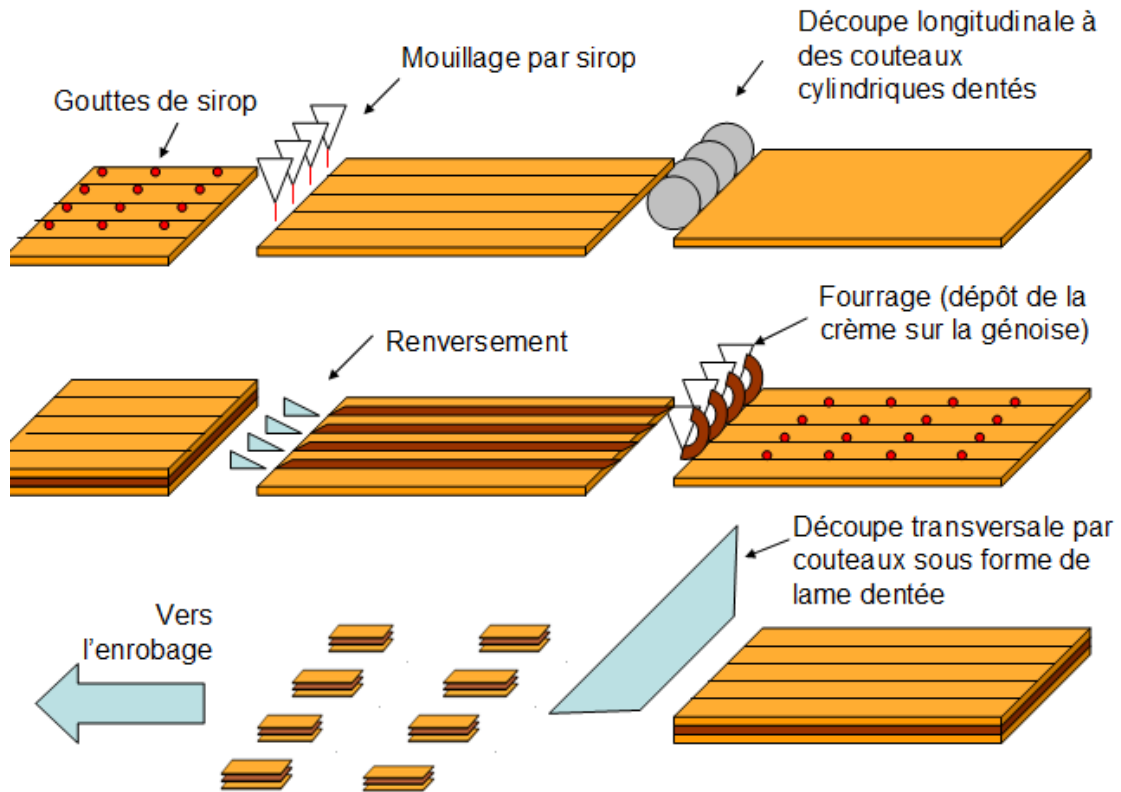
**Figure 4** : Etape de cuisson de la pâte de la génoise



### c) - Le façonnage et le fourrage :

La pâte est coupée longitudinalement sous forme de longues lignes à l'aide des couteaux cylindriques dentés, la génoise est ensuite mouillée par des gouttes de sirop, fourrée par ajout de la crème et chaque ligne est renversée sur l'autre.

La génoise en double couche est coupée transversalement afin d'obtenir des unités de dimensions convenables.



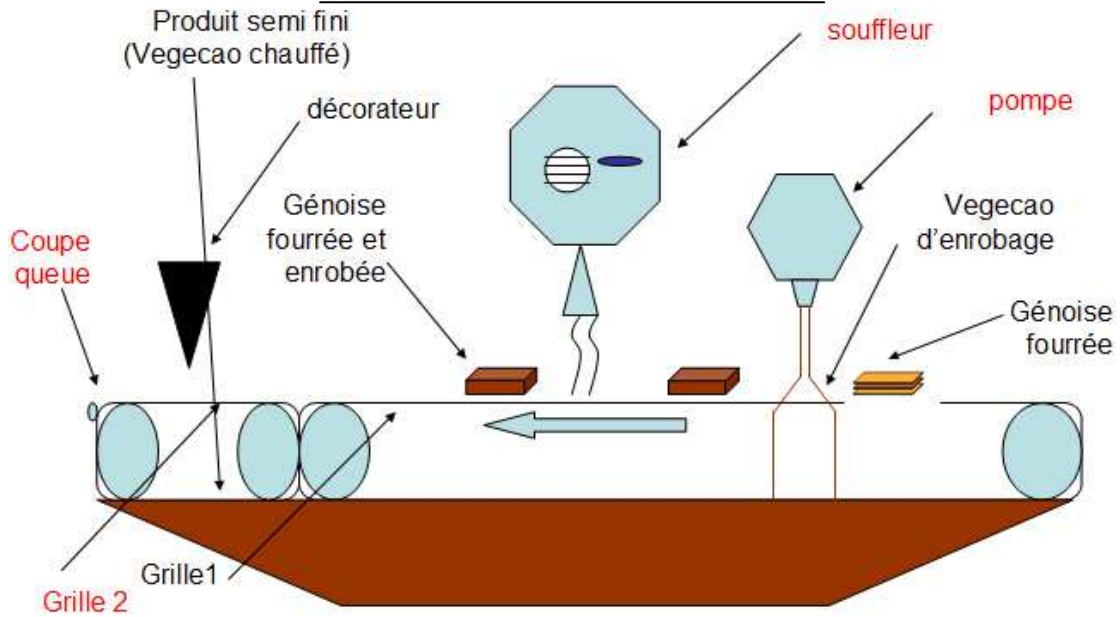
**Figure 5 : Etapes de façonnage et de fourrage**

### d) – Enrobage, refroidissement et conditionnement :

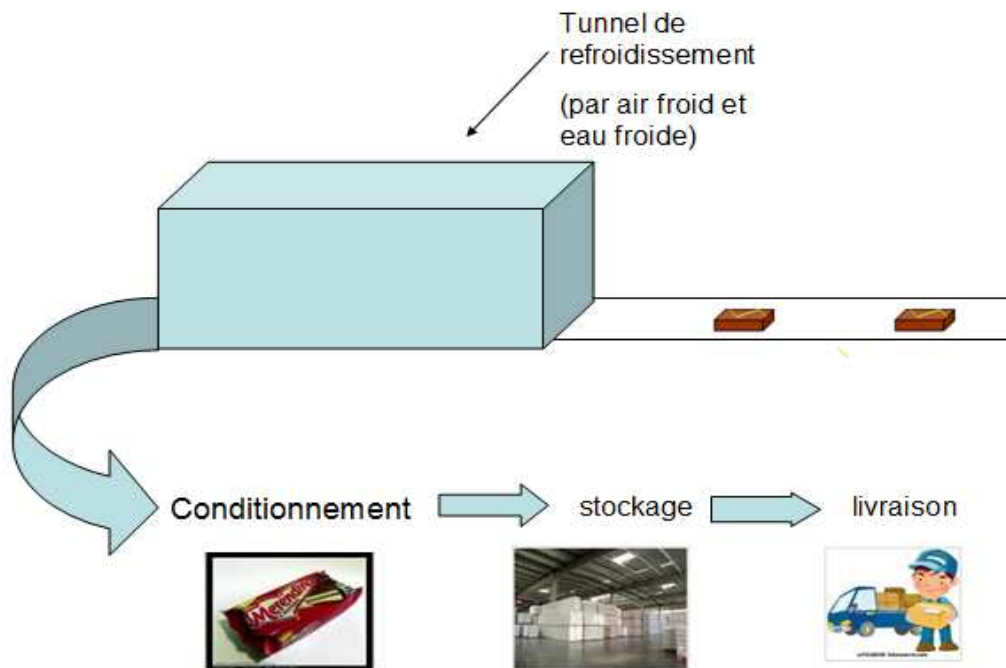
La génoise fourrée passe au dessous d'une pompe de chocolat dont le but est d'être enrobée, cette étape se déroule dans une enrobeuse où il y a plusieurs accessoires et réglages qui permettent d'ajuster le poids d'enrobage (souffleur, la vitesse de la grille, coupe queue...), ensuite vient une étape de décoration suivi d'un refroidissement dans un tunnel à l'aide de l'air froid pour refroidir la face supérieure et de l'eau froide qui permet de refroidir la face inférieure de la génoise. Le produit est ensuite emballé et stocké jusqu'à la livraison.



# Enrobeuse MINI



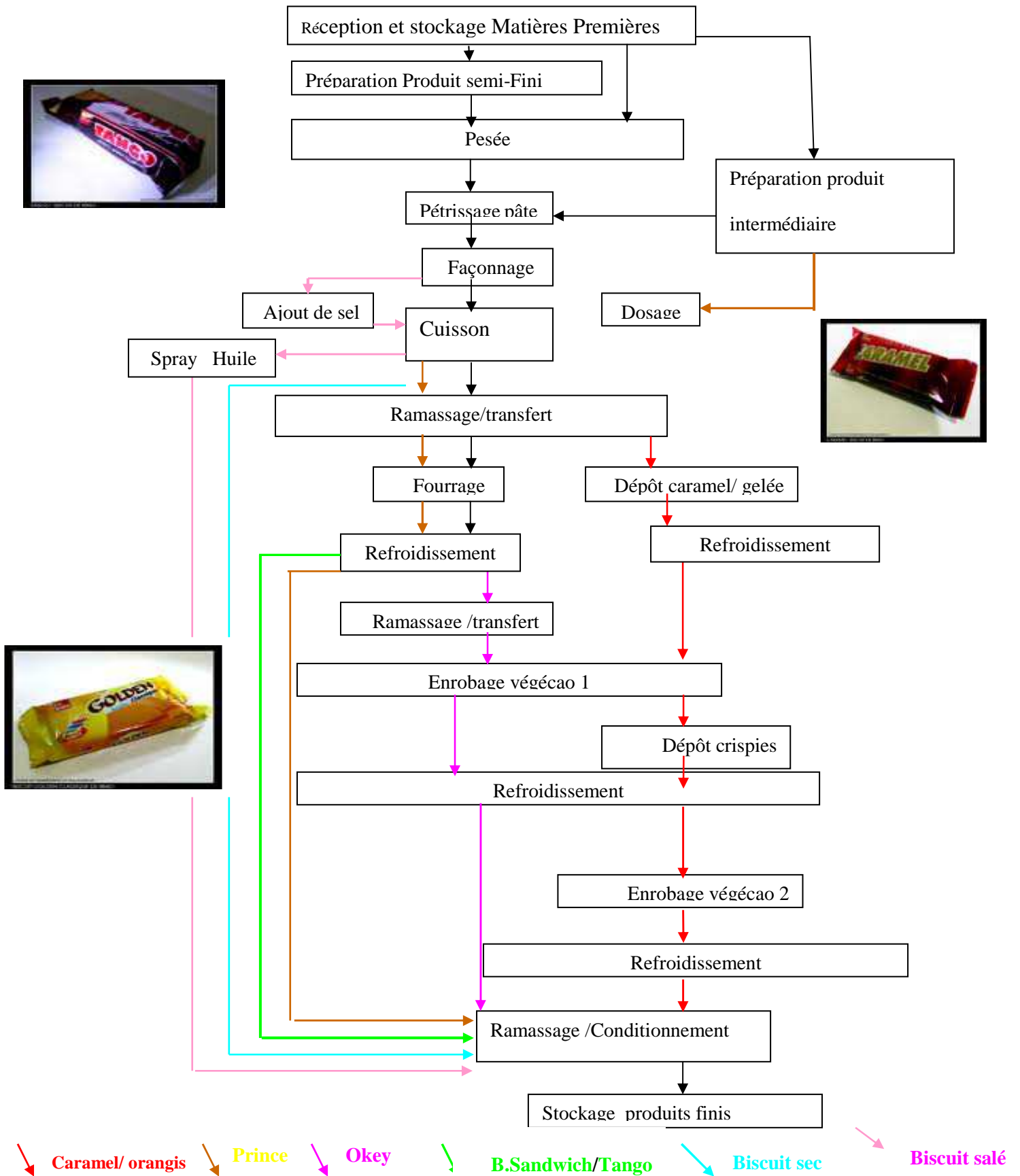
**Figure 6 : Enrobeuse de Merendina mini**



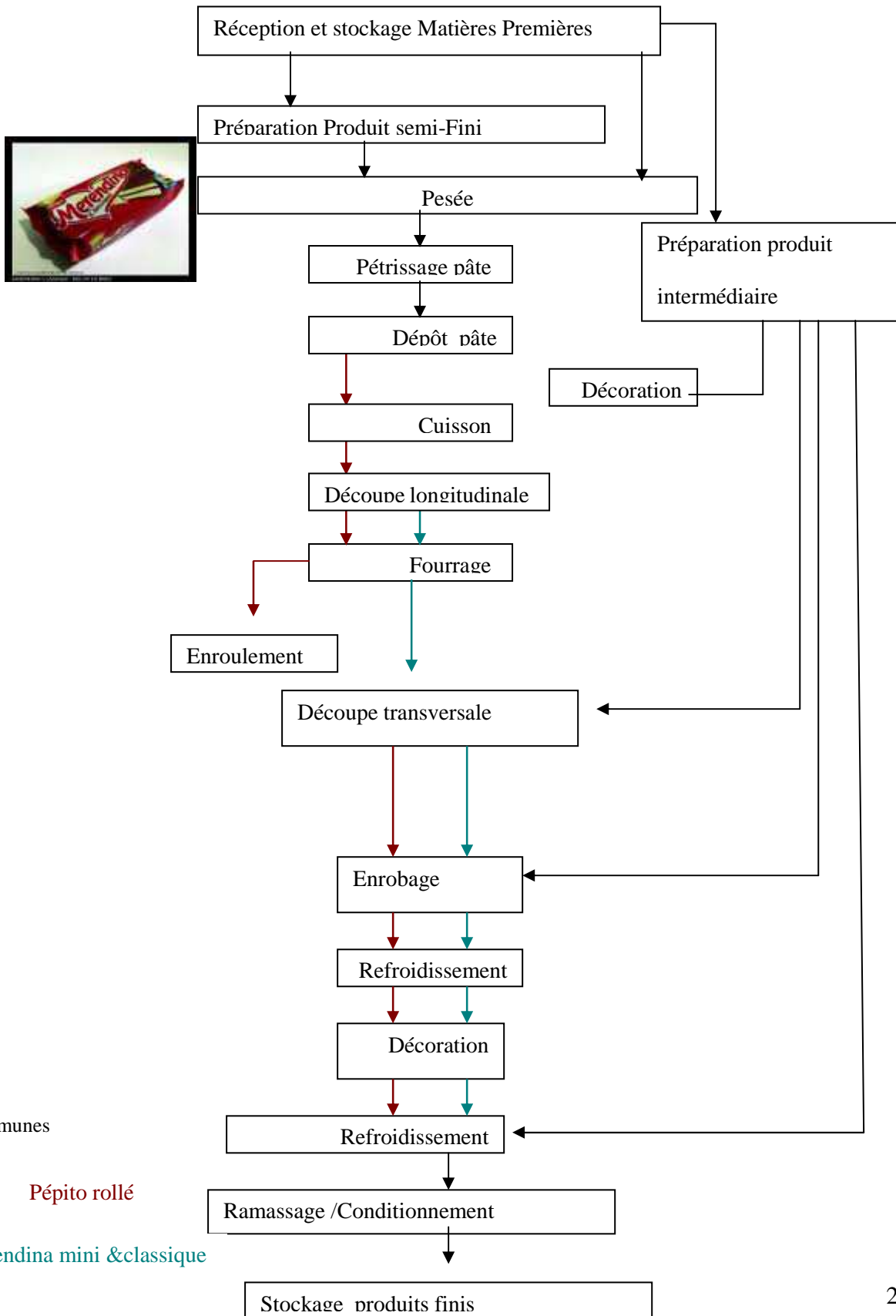
**Figure 7 : Etapes de refroidissement et de conditionnement**



### 3- Processus de fabrication de biscuit :

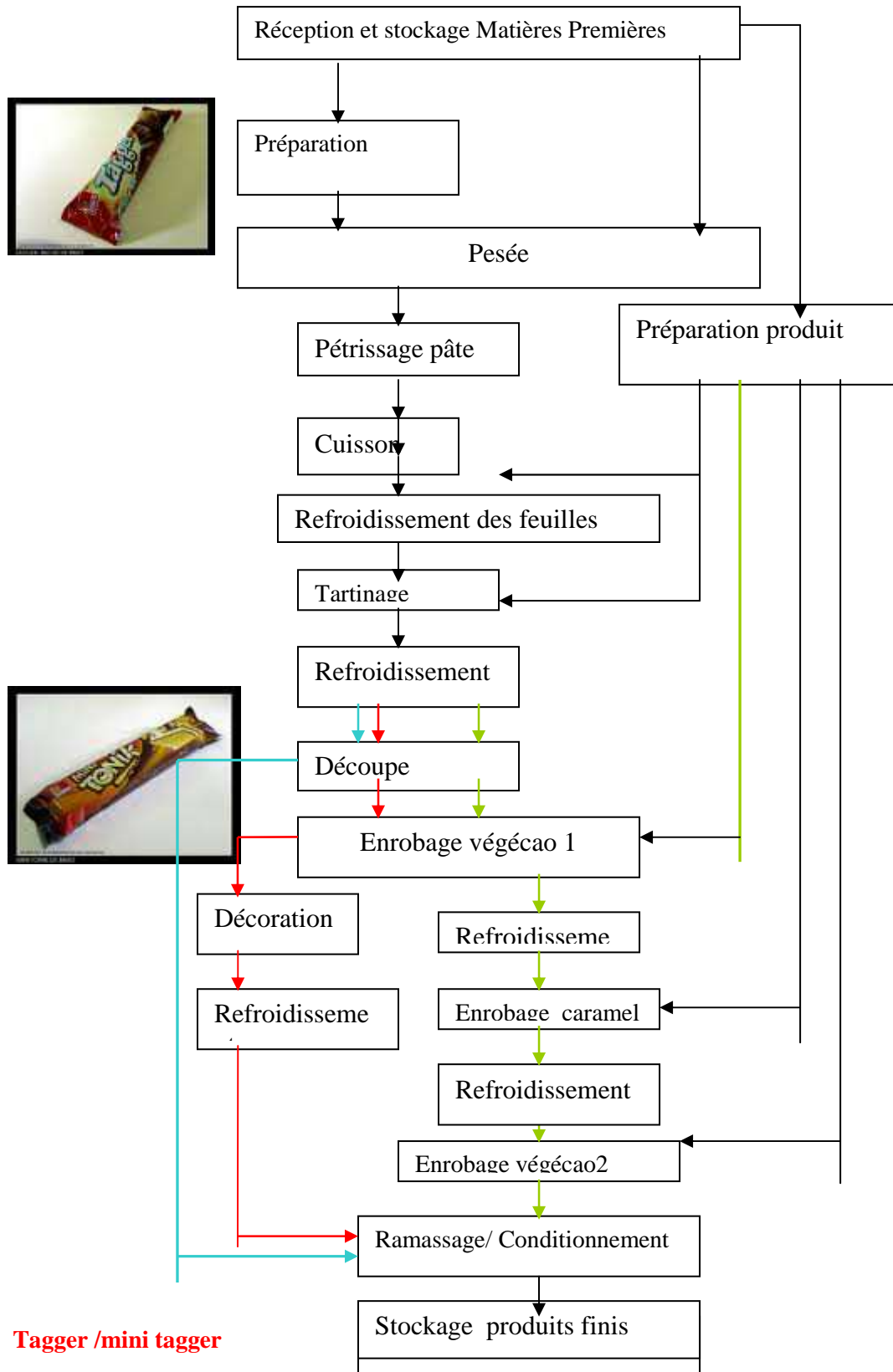


#### 4- Processus de fabrication de la génoise :





### 5- Processus de fabrication de gaufrettes :

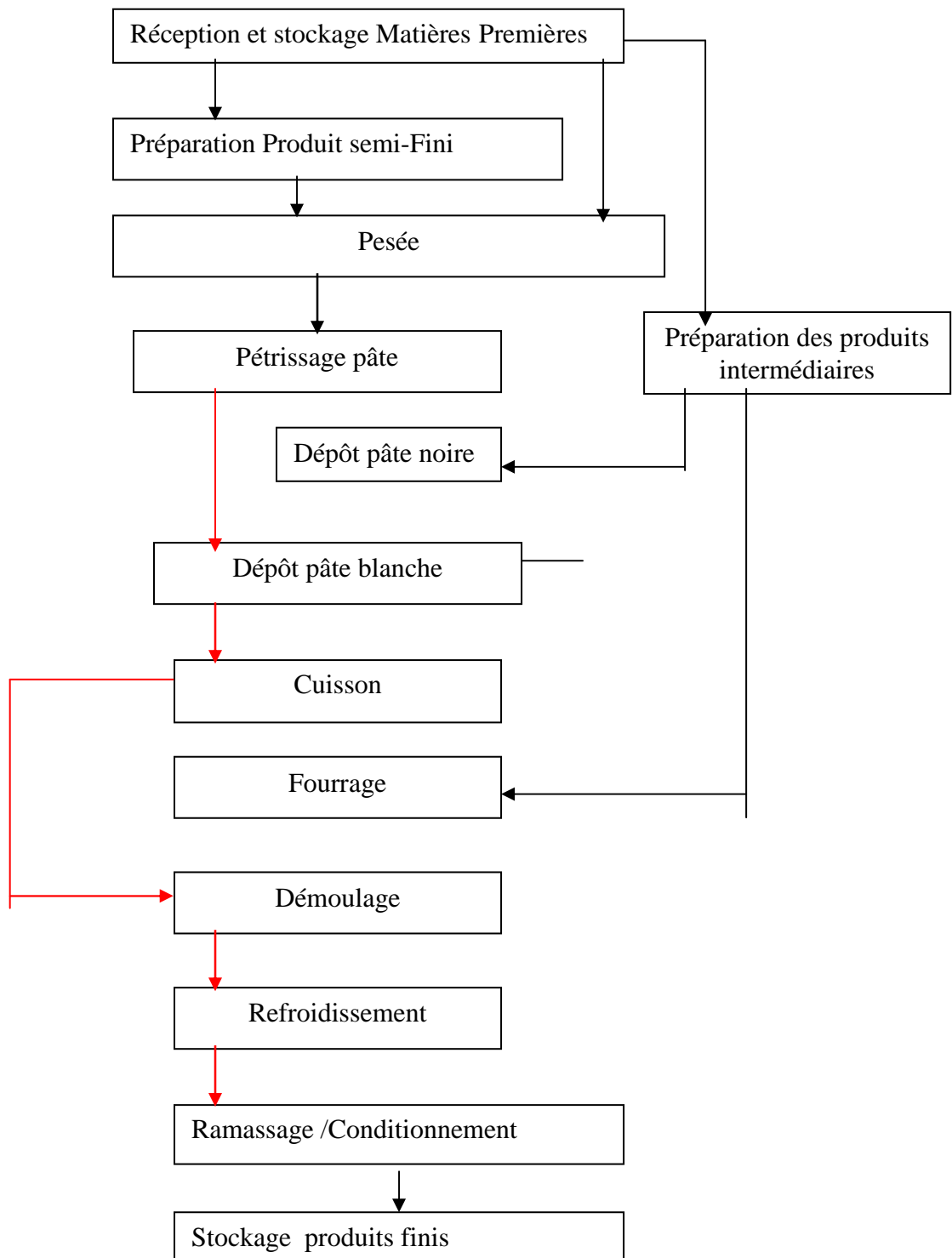


→ Tagger / mini tagger

→ Gaufrettes caramels

→ Gaufrette sèches

## 6- Processus de fabrication du Cake – madeleine : Golden :



## VI – Service laboratoire :

Chaque entreprise a pour objectif de produire de la qualité afin de garder sa part de marché et de le faire grandir chaque jour, mais le maintien de la qualité nécessite la présence d'un service laboratoire qu'a pour rôle de réaliser des contrôles rigoureux et périodiques au niveau de chaque étape de la production, de la matière première jusqu'à la livraison et même suivre le produit jusqu'à le consommateur.

Au niveau de BIMO il existe un système de contrôles et aussi un autocontrôle qui ne dépend pas de laboratoire mais de la production.

### 1- Autocontrôle :

Chaque opérateur au niveau de la production contrôle lui-même les paramètres liés à sa position, par exemple le fournier doit contrôler les températures des 2 zones du four, l'humidité et la densité de la pâte ainsi que la largeur et l'épaisseur de chaque pièce de la génoise.

L'autocontrôle est un plus pour la qualité.

### 2- Contrôle au cours de la production :

Chaque type de produit a ses propres analyses à réaliser, en fonction de procédé de fabrication et des ingrédients utilisés.

**Tableau 2 : Contrôle effectués pour chaque étape**

<b>Etape de la production</b>	<b>Contrôle à effectuer</b>
<b>Cuisson</b>	Poids des feuilles*
	Humidité absolue*
	Couche de crème noire**
	Poids de la plaque*
	Activité de l'eau de la génoise
	pH
	Epaisseur
<b>Refroidissement / Découpe</b>	Largeur*
	Longueur*
	Poids moyen produit nue*
<b>Enrobage</b>	Poids enrobage et décoration*
<b>Fourrage</b>	Poids crème
	pH crème
	Activité de l'eau de la crème

\* : au cas de non-conformité on procède à un rejet de produit

\*\* : au cas de non-conformité on procède à un réglage de paramètres



### 3- Contrôle de produit fini :

Voici quelques contrôles réalisés concernant le produit fini :

**Tableau 3 : Données à vérifier sur le produit fini**

<b>Étape de la production</b>	<b>Contrôle à effectuer</b>
<b>Conditionnement</b>	Numéro de lot du carton*
	Date du paquet*
	Poids inférieur au poids net d'emballage*
	Poids produit*
	Humidité produit fini*

Les paramètres quantitatifs, au niveau de chaque étape de la production, sont contrôlés à l'aide des cartes de contrôle où il y a des intervalles de tolérance qu'il ne faut pas dépasser, lorsque le paramètre atteint un niveau supérieur au seuil de tolérance, l'opérateur procède à un réglage mais lorsque ce paramètre dépasse une limite critique, le produit doit être rejeté.

# Partie 2 :

# Partie expérimentale

## A-INTRODUCTION

Devant le souci augmenté des entreprises d'améliorer la qualité des produits fabriqués ou en vue de création, les industriels accordent ces dernières années une place importante à l'organisation des essais expérimentaux.

La démarche traditionnelle consistant à faire varier un paramètre du système et faire fixer les autres, était basée sur le savoir faire et la compétence de l'expérimentateur, ce qui engendrait un nombre important d'essais et un temps considérable pour atteindre parfois des résultats difficilement interprétables.

Aujourd'hui, selon les exigences du client sur le plan qualité d'une part et la course des entreprises vers des réductions des coûts de développement d'autre part, les entreprises nécessitent l'utilisation d'une approche scientifiquement rigoureuse "**plan d'expériences**" aussi appelé une "**stratégie d'expériences**".

### 1- Définition des plans d'expériences :

*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.

### Définition :

C'est une série d'essais déterminée à partir d'une approche statistique, employée pour déterminer le meilleur ensemble de données à prélever pour concevoir un plan avec le minimum d'essais, le maximum de facteurs (paramètres) et un minimum d'erreur, sur la base d'un modèle postulé.

De manière générale, la méthode de plan d'expériences cherche à déterminer et à établir les liens existants entre 2 variables:

- **La réponse** : variable quantitative ou qualitative généralement appelée *fonction objective*.

- **Les facteurs** : variables sensées d'influer sur la variation de la réponse.

Leurs valeurs varient entre borne supérieure (niveau haut) et borne inférieure (niveau bas).

L'ensemble de toutes les valeurs que peut prendre le facteur entre le niveau bas et le niveau haut, s'appelle le domaine de *variation du facteur*.

## 2- Historique :

La méthode des plans d'expériences n'est pas une technique nouvelle. Elle date en fait du début du siècle avec les travaux de FISHER (1925). Les premiers utilisateurs de ces méthodes furent des agronomes qui ont vite compris l'intérêt des plans d'expériences et notamment, la réduction du nombre d'essais en étudiant de nombreux paramètres. Il était donc indispensable de réduire le nombre d'essais sans perdre la précision et d'être capable de planifier d'une façon formelle la campagne d'essais. Mais cette technique est restée relativement confidentielle et n'a pas réussi à pénétrer de façon significative le secteur industriel occidental avant les années soixante dix.

□ **Années 1960:** les travaux du *Docteur TAGUCHI* au Japon pour que les plans d'expériences pénètrent les usines. *TAGUCHI*, avec le pragmatisme qui caractérise les japonais, a su simplifier et clarifier l'utilisation des plans d'expériences. Son apport est considérable et la diffusion à grande échelle de ses travaux aux Etats-Unis date de la fin des années soixante dix.

□ **Années 1980:** introduction des méthodes *TAGUCHI* dans les compagnies occidentales, développement d'informatique et gestion de la qualité.

Au cours des ces dernières années, la méthode des plans d'expériences s'est imposée à l'ensemble des industriels. La précision des résultats obtenus, la pertinence des informations apportées par cette méthode contribuent à son développement actuel dans tous les secteurs d'activités.

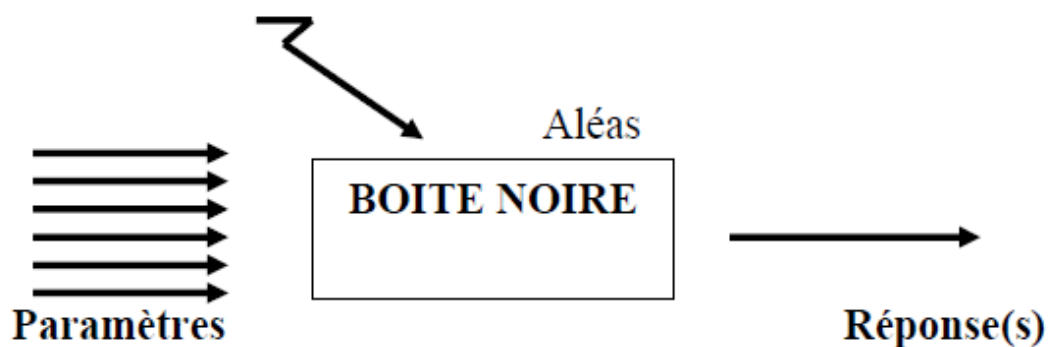
La méthode une fois comprise, constitue une étape irréversible dans la carrière du technicien qui ne pourra plus envisager de réaliser des essais sans utiliser un plan d'expériences.

## 3- A quoi sert un plan d'expériences ?

Un plan d'expériences est un outil d'aide à l'amélioration de la qualité.

Lorsqu'on est confronté à un problème complexe, de multiples paramètres sont susceptibles d'influer sur le système étudié. La performance qu'on cherche à atteindre est caractérisée par une ou plusieurs réponses.

Ce type de problème peut être schématisé par une boîte noire :



**Figure 8 : Boîte noire**



Le plan d'expériences sert à mettre en évidence et à quantifier l'influence des paramètres pris en compte, pour cela, tous les industriels doivent se poser quelques questions, lorsqu'ils mettent en œuvre une série d'essais physiques ou une série de calculs numériques :

- Quelle stratégie d'essais adopter pour arriver rapidement aux résultats attendus?
- N'existe-t-il pas de meilleures stratégies que d'autres?
- Quel est le nombre minimum d'essais qui doivent être réalisés pour arriver aux résultats?
- Ne peut-on pas éviter de réaliser des essais inutiles?
- Comment améliorer la précision des résultats?

La méthode des plans d'expériences apporte une méthodologie pour répondre à ces questions. Cette méthodologie sans équivalent permet d'atteindre une meilleure connaissance du système observé par la réalisation d'un " minimum " d'essais et un maximum de précision.

#### 4- Avantages des plans d'expériences :

Les avantages de la méthode par rapport à une méthode d'expérimentation traditionnelle sont nombreux, notamment :

- Moins d'essais ;
- Une stratégie d'essais : essais planifiés ;
- Précision et optimisation facile des résultats ;
- Fiabilité et reproductibilité des résultats ;
- Interprétation graphique simple ;
- Révélation d'interactions entre paramètres ;
- Conclusions fiables ;
- Amélioration de la qualité des produits et des procédés ;
- Optimisation du nombre, du temps et du coût des essais ;
- Capitalisation du savoir-faire.

#### 5- Domaines d'application :

Les plans d'expériences s'appliquent à tous les domaines :

- **en sciences physiques ;**
- **en ingénierie ;**
- **en sciences médicales ;**
- **en sciences humaines ;**
- **Recherche et Développement des produits et procédés industriels ;**
- **Qualité.**





Et en particulier aux cas suivants :

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

## **6- Catégories des plans d'expériences :**

Les plans sont répartis en différentes catégories :

### **□ 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.

Parmi les plans proposés : *plans factoriels à 2 niveaux, plans factoriels à niveaux mixtes et plans factoriels fractionnaires.*

### **□ 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 des conditions expérimentales optimales pour une propriété étudiée ou de déterminer une zone de compromis acceptable entre les objectifs sur différentes propriétés (jusqu'à 20). 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 de mélanges :**

C'est l'étude de l'influence des quantités relatives de plusieurs constituants sur les manifestations d'un phénomène physico-chimique adaptés aux facteurs dépendants.

### **□ Plans factoriels complets/fractionnaires :**

- *Plans factoriels complets* : toutes les combinaisons des niveaux de facteurs sont présentes.
- *Plans factoriels fractionnaires* : tous les niveaux de chaque facteur sont présents, mais pas toutes les combinaisons possibles de facteurs.

## 7- Démarche méthodologique :

La mise en œuvre d'un plan d'expérience pour étudier la surface de réponse d'un système expérimental et trouver un optimum peut se résumer selon la procédure suivante:

- Définir le problème à étudier;
- Sélectionner la ou les réponses et les facteurs contrôlables;
- Définir le domaine expérimental, en fixant les niveaux des facteurs sélectionnés;
- Choisir un modèle;
- Choisir un plan d'expérience tenant compte des conditions propres au problème à traiter;
- Réaliser les essais;
- Traiter les données par un logiciel adéquat;
- Interpréter la validité du modèle postulé et la **significativité** des coefficients;
- Sélectionner les coefficients significatifs si le modèle est validé;
- Prédire les niveaux des facteurs à l'optimum;
- Faire un essai complémentaire en appliquant les valeurs optimales des facteurs pour valider les conclusions.

## 8- Sélection des facteurs et choix de leurs niveaux :

### 8.1/ Choix des facteurs :

Cette étape est très importante. En effet, l'oubli d'un facteur important peut faire échouer le plan. C'est pourquoi la présence des personnes compétentes au sein du groupe de travail est nécessaire. Dans le milieu industriel, la stratégie préconisée consiste à augmenter le nombre de facteurs. En effet, plus le nombre de facteurs est grand, plus les possibilités de "réglage" sont nombreuses.

### 8.2/ Choix des niveaux des facteurs :

*Un niveau correspond à une valeur ou à un état que l'on donne au facteur :*

- Un plan classique comporte 2 niveaux par facteur, mais on peut définir 3 ou 4 (voire 5) niveaux par facteur en sachant que plus il y a de niveaux, plus il y a d'expériences et que le coût augmente.
- Le choix des niveaux étant technique, l'avis des techniciens est indispensable.
- Si des facteurs concernent des réglages, on peut utiliser les valeurs habituelles de ces réglages.
- Si des non linéarités existent dans l'évolution de la cible, il est préférable de choisir plusieurs niveaux pour les facteurs (au moins 3).
- La différence entre les niveaux doit être suffisamment discriminative pour qu'un changement de niveau puisse produire une variation dans la réponse.

## B- Outils et principe de la méthode :

### 1- Régression linéaire multiple :

La régression linéaire multiple est une méthode d'analyse de données quantitatives. Elle met en évidence le lien entre une variable dite « expliquée », que l'on note Y, et plusieurs variables explicatives que l'on note X1, X2, X3, ..., Xk, le modèle algébrique linéaire qui permettra d'estimer la valeur de Y pour une combinaison quelconque des variables Xi est :

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_kX_k + a_{12}X_1X_2 + \dots + a_{1k}X_1X_k + a_{1\dots k}X_1\dots X_k$$

$a_{ij}$  : sont les coefficients du modèle à calculer, ils donnent l'effet de chaque facteur et de chaque interaction sur la réponse.

Ce modèle empirique permet de tirer des conclusions sur les facteurs et sur les réponses, il permet de déterminer :

- Les effets des facteurs qui sont influents et ceux qui ne sont pas influents sur les réponses.
- S'il y a des interactions sur les réponses.
- Les valeurs des facteurs afin d'optimiser les réponses.

#### 1.1/ Effet d'un facteur :

- *L'effet global d'un facteur* représente l'influence du facteur sur la réponse quand il passe du niveau -1 au niveau +1.
- *L'effet moyen d'un facteur* représente l'influence du facteur sur la réponse, quand il passe du niveau moyen (niveau 0) au niveau +1, ou du niveau -1 au niveau 0. L'effet moyen d'un facteur n'est rien d'autre que la moyenne des réponses, auxquelles on a affecté les signes de la colonne du facteur étudié.
- Au niveau haut d'un facteur (niveau +1) la moyenne est donc :

$$\bar{y}_+ = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

Avec :

$y_i$  : les réponses au niveau haut (+1) du facteur.

$n$  : le nombre de réponses au niveau haut du facteur.

Au niveau bas d'un facteur (niveau -1) la moyenne est donc :

$$\bar{y}_- = \frac{\sum_{j=1}^m y_j}{m}$$

Avec :

$y_j$ : les réponses au niveau bas (-1) du facteur.

$m$ : le nombre de réponses au niveau bas du facteur.

**L'effet global d'un facteur** est alors donné par la différence entre ces deux grandeurs :

$$E = Y_+ - Y_-$$

□ **L'effet moyen « E » d'un facteur** est la moitié de l'effet global :

$$E = \frac{Y_+ - Y_-}{2}$$

### **1.2/ Réalisation du test de signification des effets :**

Le test utilisé est le test de Student « t ». Un effet sera dit significatif (c'est-à-dire que la variable ou l'interaction qui lui est associée a une influence sur la réponse), s'il est et pour un risque donné, significativement différent de 0 et on teste l'hypothèse suivante : **Hypothèse H0** = « $a_i = 0$ » ; Contre **hypothèse H1** = « $a_i \neq 0$ ».

Pour cela, on calcule :

$$t_i = \frac{|a_i|}{s_i}$$

Où :

$a_i$  = Coefficient du modèle

$s_i$  = Variance de l'ensemble des effets donnés par la relation

:

$$s_i^2 = \frac{s^2}{n}$$

$$s^2 = \frac{1}{n-p} \sum e_i^2$$

$s^2$  : variance commune des résidus :

$e_i = y - \hat{y}$

$e_i^2$  : le résidu

$y$  : réponse expérimentale

$\hat{y}$  : réponse estimée par le modèle.

On utilise alors la table de Student à  $v = n - p$  degrés de liberté ( $n$  est le nombre d'expériences réalisées et  $p$  le nombre d'effets  $y$  compris la constante). On choisit un risque de première espèce  $\alpha$  (le plus souvent 5% ou 1%) et on lit dans la table de Student la valeur  $t_{crit}(\alpha, v)$ , en utilisant la partie de la table relative à un test bilatéral. Alors la règle du test est la suivante :

- Si  $t_i > t_{crit}(\alpha, v)$ , on **rejette  $H_0$**  au risque accepté.
- Si  $t_i < t_{crit}(\alpha, v)$ , on **accepte  $H_0$**  au risque accepté.

Si l'hypothèse  **$H_0$**  est acceptée, cela veut dire que l'effet en question n'est pas, au risque  $\alpha$ , significativement différent de 0 et donc la variable qui lui est associée n'a pas d'influence sur la réponse.

## 2- Validation statistique du modèle :

Après la détermination des coefficients, l'étape qui suit consiste à valider statistiquement le modèle obtenu. Cela se fait par un processus statistique qui débute par l'analyse de la variance.

### 2.1/ Analyse de la variance :

L'analyse de variance (ANOVA) est un outil qui consiste à comparer à l'aide d'un test de Fischer « F » la somme des carrés des écarts, due uniquement à la régression (modèle « Vreg »), avec la somme des carrés des résidus « Vres ».

Avec ces notions, on introduit un vocabulaire spécifique à l'analyse de variance, en notant :

- $Y_i$  : les réponses observées lors de la réalisation des expériences ;
- $\hat{Y}_i$  : la réponse estimée à l'aide du modèle linéaire ;
- $Y_{moy}$  : la moyenne des réponses.

On définit alors trois types de "variations" :

- La variation due à la liaison linéaire :  $SCEL = \sum (Y_i \text{ est} - Y_{\text{moy}})^2$   
SCEL : "Somme des Carrés des Ecarts dues à la Liaison"
- La variation résiduelle :  $SCER = \sum (Y_i - Y_i \text{ est})^2$   
SCER : "Somme des Carrés des Ecarts des Résidus"
- La variation totale :  $SCET = SCEL + SCER$   
SCET : "Somme Totale des Carrés des Ecarts".

On définit de plus un "carré moyen" qui est le quotient d'une somme de carrés par son degré de liberté :

- SCEL (ou SCEC) aura (p - 1) degrés de liberté (p est le nombre de coefficients estimés à partir du modèle) ;
- SCER aura (n - p) degrés de liberté (n est le nombre d'expériences réalisées) ;
- SCET aura (n - 1) degrés de liberté.

En outre, on note CML le carré moyen associé à SCEL, et CMR le carré moyen associé à SCER.

Le tableau de l'analyse de variance se résume alors de la façon suivante :

**Tableau 4 : Résumé de l'analyse de la variance**

Variation due à	Somme des carrés	DDL	Carré moyen	F observé
Régression	SCEL (SCEC)	p - 1	$\frac{SCEL}{p - 1} = \text{CML}$	$F_{\text{obs}} = \frac{\text{CML}}{s^2}$
Résidus	SCER	n - p	$\frac{SCER}{n - p} = s^2$	
Total	SCET	n - 1		

Le test de Fisher « F » permet alors de comparer pour un risque fixé à l'avance le Fobs ( $V_{reg}/V_{res}$ ), que l'on a calculé dans le tableau précédent, avec « Fcrit » (critique) lu dans la table de Fisher-Snedecor avec  $(p-1)$  et  $(n-p)$  degré de liberté.

Le test statistique (ANOVA1) se présente comme suit :

- Hypothèse H0** : " les deux sommes des carrés moyens sont de même grandeur" ce qui prouve que *la régression n'est pas significative*.
- Hypothèse H1** : "le carré moyen dû à la régression est significativement plus grand que le carré moyen dû aux résidus" donc *la régression est globalement significative*.

Alors, la règle du test pour un risque  $\alpha$  choisi est:

- Si  $F_{obs} < F_{crit}$ , on accepte **l'hypothèse H0**.
- Si  $F_{obs} > F_{crit}$ , on accepte **l'hypothèse H1**.

La variance (ANOVA2) consiste aussi à comparer l'existence éventuelle d'un défaut d'ajustement, c'est-à-dire comparer la variance due à l'erreur du modèle (VLOF) à la variance due à l'erreur pure (VPE). Afin de pouvoir effectuer ce test, il faut qu'au moins une des expériences ait été dupliquée.

Le test statistique se présente comme suit :

- Hypothèse H0** :  $VLOF \approx VPE$  (Le modèle ne présente pas un défaut d'ajustement, il est prédictif).
- Hypothèse H1** :  $VLOF > VPE$  (Le modèle présente un défaut d'ajustement, il n'est pas prédictif).

Alors, la règle du test pour un risque  $\alpha$  choisi est:

- Si  $VLOF \approx VPE$ , on accepte **l'hypothèse H0**.
- Si  $VLOF > VPE$ , on accepte **l'hypothèse H1**.

## 2.2/ Coefficient de corrélation R2 :

Le coefficient de corrélation de la régression multiple au carré, mesure la quantité de la variation autour de la moyenne expliquée par le modèle. Il indique la qualité de l'ajustement du modèle aux valeurs expérimentales, Il est égal à :

$$R2 = (1 - (SCER/SCET))$$

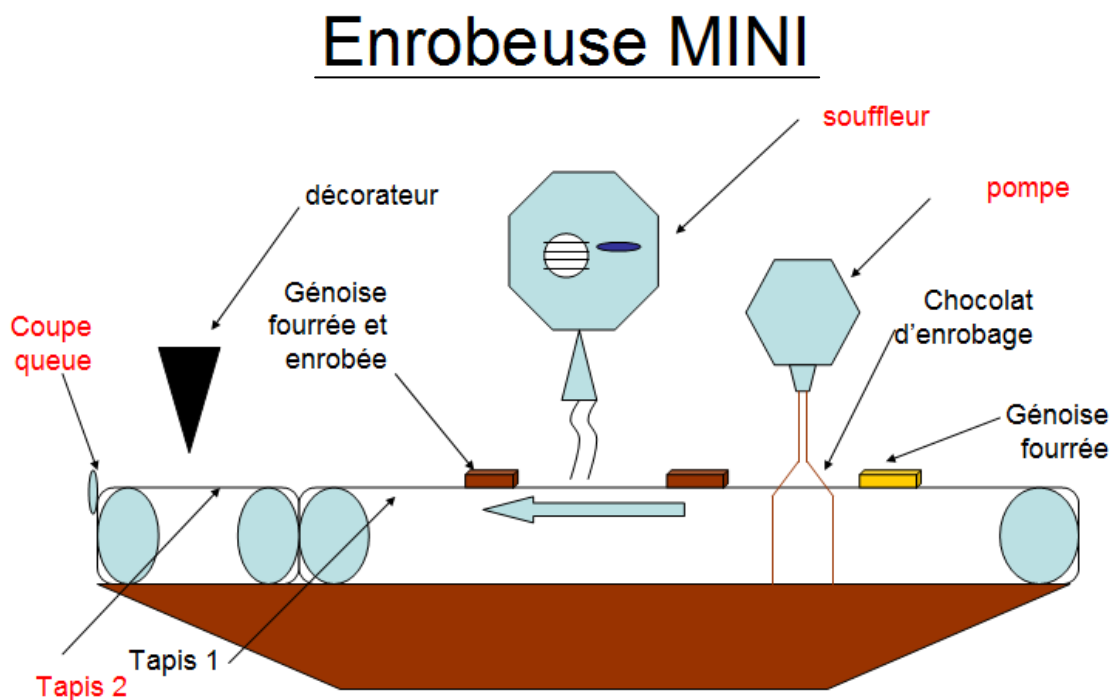
Il ne peut prendre que des valeurs comprises entre 0 et 1.

Tous ces paramètres cités, sont utilisés dans le cadre de la validation statistique du modèle adapté au phénomène étudié, néanmoins la meilleure vérification de ce modèle est de l'affronter à la réalité, en vérifiant si les conditions optimales donnent la même réponse que celle prédite par le modèle.

## C- Contribution à l'optimisation de poids d'enrobage du Merendina mini :

### Introduction :

Le poids d'enrobage est l'un des paramètres importants à maîtriser au cours de la chaîne de production de Merendina. L'étape d'enrobage s'effectue au niveau de l'enrobeuse, où il y a plusieurs facteurs et réglages qui permettent de contrôler le poids d'enrobage par pièce, voici un schéma de cette machine :



**Figure 9** : Schéma explicatif de l'enrobeuse de Merendina mini



Le but de ce travail est de réaliser une équation qui va permettre de relier entre les facteurs importants influant le poids d'enrobage au niveau de l'enrobeuse et celui-ci.

L'équation permet de tracer une surface de réponse donnant ainsi une visualisation claire de l'évolution de la réponse (poids d'enrobage) en fonction des facteurs choisis, et à l'aide de la spécification donnée ( $6.7g < Y < 7.25g$ ), on peut chercher les réglages optimale qui permettent d'atteindre l'objectif (minimiser le poids d'enrobage) sans altéré la qualité du produit.

Le logiciel **NEMROD** m'a permis de traiter les différents résultats trouvés.

## 1/ PROBLEMATIQUE :

Le Vegecao est un produit semi fini utilisé pour l'enrobage de la génoise, il contient comme ingrédients, une graisse végétale, du cacao en poudre, du sucre glacé, du sel et de la lécithine. Notre travail consiste à contribuer à l'optimisation du poids de se produit au cours de l'enrobage sans altéré la qualité du produit fini.

Cette optimisation (minimisation) va permettre de réduire le coût de consommation du Vegecao, car la lécithine et le cacao en poudre sont des matières importées donc leurs prix varient en fonction de marché international ce qui est une problématique pour la société

## 2- Démarche de travail : (Nous avons été en position d'opérateur de l'enrobeuse)

Nous avons procédé à réaliser les essais dans l'ordre du tableau, suivant les étapes ci-dessous :

- 1- Nous avons pris 12 pièces (une rangée) de la génoise fourrée, nous les avons pesé, et nous avons noté le poids total de la rangée (exemple : 168 g)
- 2- Nous avons pris cette rangée et nous l'avons remis dans la chaîne de production, mais il faut marquer ces pièces de génoise fourrée pour ne pas les perdre à la sortie de tunnel de refroidissement.
- 3- Nous avons procédé à réaliser les réglages au niveau de l'enrobeuse selon le numéro de l'essai dans le tableau.  
(Exemple : essai 2 : souffleur : 3, vitesse de la grille : 4 cm/s, débit de la pompe:  $1.5 \text{ cm}^3/\text{s}$  et le coupe-queue on position Off (position 2)).
- 4- Nous avons laissé passer notre rangée dans l'enrobeuse avec les réglages effectuées, puis nous l'avons récupéré à la sortie de tunnel de refroidissement.
- 5- Nous avons pesé les pièces de la génoise fourrée, enrobée et décorée. Et nous avons noté le poids total de la rangée (12 pièces). (exemple : 210g)

$$\text{Le poids d'enrobage d'une pièce} = \frac{PTGE - PTGF}{12}$$

*PTGE : poids total des pièces de la génoise enrobée*

*PTGF: poids total des pièces de la génoise fourrée*



### **a) – Liste des facteurs :**

Le poids d'enrobage de Merendina Mini varie en fonction premièrement de la densité et la température de chocolat d'enrobage, ensuite en fonction des paramètres du génoisé à enrober (la densité, l'épaisseur, la texture...), et pour garder le poids d'enrobage dans une intervalle de tolérance, on contrôle ce paramètre avec des réglages situés au niveau de l'enrobeuse (souffleur, pompe de chocolat, coupe queue, vibreur.....).

### **b) - Criblage des facteurs :**

Cette étape consiste à choisir parmi les facteurs potentiellement influant ceux qui le sont effectivement. Mais au cours de notre travail on a choisi les facteurs qu'on a pu contrôler facilement et on a fixé ceux qui sont difficile à contrôler.

Le choix des facteurs a été fait en fonction des attentes de l'entreprise puisque ces facteurs sont ceux les plus utilisés pour contrôler le poids d'enrobage.

La puissance du souffleur  
La position de la coupe queue  
La vitesse de la grille  
Le débit de la pompe du Vegecao

## **3- Résultats de L'Etude d'Optimisation :**

### **a- Plan de surface de réponse :**

Les plans de surfaces de réponse permettent d'établir des modèles mathématiques de second degré. Ils sont utilisés pour les variables continues. Ces plans sont utiles à chaque fois que l'on se trouve près d'un maximum ou d'un minimum.

### **b- Choix du domaine de variation :**

Un niveau correspond à une valeur ou à un état que l'on donne au facteur :

Un plan classique comporte 2 niveaux par facteur, mais on peut définir 3 ou 4 (voire 5) niveaux par facteur en sachant que plus il y a de niveaux, plus il y a d'expériences et que le coût augmente.

Le choix des niveaux étant technique, l'avis des techniciens est indispensable. Si des facteurs concernent des réglages, on peut utiliser les valeurs habituelles de ces réglages.

Si des non linéarités existent dans l'évolution de la cible, il est préférable de choisir plusieurs niveaux pour les facteurs (au moins 3).

La différence entre les niveaux doit être suffisamment discriminative pour qu'un changement de niveau puisse produire une variation dans la réponse.

Notre choix s'est porté sur un plan pour surface de réponse : Plan de Doehlert.

**Tableau 5 : Niveaux des facteurs**

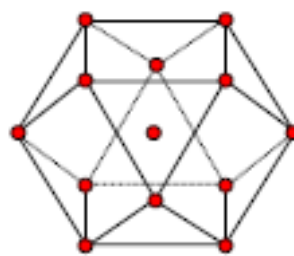
	Facteurs	Centre	Pas de variation	Unité
X1	Puissance du souffleur	2	1	position
X2	Vitesse du tapis	4	1	cm <sup>2</sup> /s
X3	Débit de la pompe	1.5	0.5	cm <sup>3</sup> /s
X4	La position du coupe-queue	2	1	position

Les intervalles de chaque facteur sont choisis de telle sorte de ne pas altérer la production.

**Remarque :** le coupe-queue est un cylindre qui permet par rotation de gratter l'excès de chocolat en bas de la génoise.

**c- Modèle mathématique :**

Les plans de *DOEHLERT* permettent, quelque soit le nombre de paramètres variables, d'obtenir un modèle à partir de peu d'expériences. Les points d'expériences de ce plan remplissent de manière uniforme l'espace expérimental ce qui donnent de bonnes propriétés de séquentialité.



Le modèle mathématique postulé est un modèle quadratique de second degré avec interactions :

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4 + a_{12} X_1 X_2 + a_{13} X_1 X_3 + a_{23} X_2 X_3 + a_{14} X_1 X_4 + a_{34} X_3 X_4 + a_{24} X_2 X_4 + a_{11} X_1^2 + a_{22} X_2^2 + a_{33} X_3^2 + a_{44} X_4^2$$



### d-Plan d'expériences :

La matrice de *DOEHLERT* est montée de telle façon que :

- Le premier facteur  $X_1$  (Puissance du Souffleur) prend 5 niveaux (1 ; -1 ; 0.5 ; -0.5 et 0);
- Le deuxième facteur  $X_2$  (Vitesse de la grille) prend 7 niveaux (0 ; 0.866 ; -0,866 ; 0.289 ; -0.289 ; 0.577 ; -0.577) ;
- Le troisième facteur  $X_3$  (Débit de la Pompe) prend 7 niveaux (0 ; 0.866 ; -0,866 ; 0.289 ; -0.289 ; 0.577 ; -0.577) ;
- Le quatrième facteur  $X_4$  (Position du Coupe-queue) prend 3 niveaux (0; 0.791; -0.791)

Chaque essai dans la matrice d'expérience représente un point dont les coordonnées représentent son position dans le réseau de Doehlert. Ce réseau se construit à partir d'un simplex.

Pour chaque facteur, il faut soustraire successivement les coordonnées de chaque point à tous les autres et ne conserver que les points distincts.

Le plan d'expérience est obtenu en remplaçant les valeurs centrées réduites par les valeurs réelles de chaque facteur. On procède ensuite à une randomisation afin de rendre l'ordre des essais aléatoire dans le but de limiter l'effet des facteurs bruits.

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

Voici au dessous le tableau qui regroupe tous les essais effectués ainsi que les réponses de chaque essai :



**Tableau 6 : Plan d'expériences**

N°Exp	Randomisation	Souffleur	Vitesse grille	Débit pompe	Coupe queue	Poids d'enrobage
		position	cm/s	cm <sup>3</sup> /s	position	gramme
1	1	3	4.00	1.50	2	9.40
2	2	3	4.00	1.50	2	9.44
3	3	1	4.00	1.50	2	7.47
4	4	1	4.00	1.50	2	7.40
5	5	3	4.87	1.50	2	8.47
6	6	3	4.87	1.50	2	8.39
7	7	2	3.13	1.50	2	7.32
8	8	2	3.13	1.50	2	7.25
9	9	3	3.13	1.50	2	10.49
10	10	3	3.13	1.50	2	10.50
11	11	2	4.87	1.50	2	7.23
12	12	2	4.87	1.50	2	7.20
13	13	3	4.29	1.91	2	9.98
14	14	3	4.29	1.91	2	9.93
15	15	2	3.71	1.09	2	7.24
16	16	2	3.71	1.09	2	7.29
17	17	3	3.71	1.09	2	9.89
18	18	3	3.71	1.09	2	9.69
19	19	2	4.58	1.09	2	7.40
20	20	2	4.58	1.09	2	7.45
21	21	2	4.29	1.91	2	7.20
22	22	2	4.29	1.91	2	7.27
23	23	2	3.42	1.91	2	7.72
24	24	2	3.42	1.91	2	7.60
25	25	3	4.29	1.60	3	9.95
26	26	3	4.29	1.60	3	9.92
27	27	2	3.71	1.40	1	7.56
28	28	2	3.71	1.40	1	7.48
29	29	3	3.71	1.40	1	8.83
30	30	3	3.71	1.40	1	8.82
31	31	2	4.58	1.40	1	7.76
32	32	2	4.58	1.40	1	7.80
33	33	2	4.00	1.81	1	7.95
34	34	2	4.00	1.81	1	7.84
35	35	2	4.29	1.60	3	7.17
36	36	2	4.29	1.60	3	7.16
37	37	2	3.42	1.60	3	7.53
38	38	2	3.42	1.60	3	7.42
39	39	2	4.00	1.19	3	7.90
40	40	2	4.00	1.19	3	7.95
41	41	2	4.00	1.50	2	7.90
42	42	2	4.00	1.50	2	7.87
43	43	2	4.00	1.50	2	7.81

## e-Résultats obtenus :

### e-1 Analyse de la variance :

L'analyse de la variance (ANOVA : Analysis Of Variance) nous permet de savoir si le modèle est globalement explicatif sur l'ensemble du domaine d'étude. Il existe de types d'ANOVA :

- ANOVA1 : analyse de la variance 1, est effectuée pour tester l'effet des résidus.
- ANOVA2 : analyse de la variance 2, est réalisée pour tester la validité du modèle.

En effet, nous avons effectué une analyse de variance sur les résultats que nous avons obtenus à partir de l'exécution du plan de *DOEHLERT*. Le tableau suivant représente cette analyse.

Source de variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Carré moyen	Rapport	Signif
Régression	45.9402	14	3.2814	1102.5643	< 0.01 ***
Résidus	1.0820	28	0.0386		
Validité	1.0195	7	0.1456	48.9354	< 0.01 ***
Erreur	0.0625	21	0.0030		
Total	47.0222	42			

**Tableau 7 : Analyse de la variance**

Le test de signification de l'ANOVA 1 (Régression) est inférieur à la valeur théorique 1%. Donc l'analyse de la variance montre clairement que la régression explique bien le phénomène étudié avec un degré de confiance de 99%, donc le modèle est explicatif.

L'ANOVA 2 (validation) a une signification inférieure à 1%, donc le modèle n'est pas prédictif.

### e-2 Coefficient de corrélation R2 :

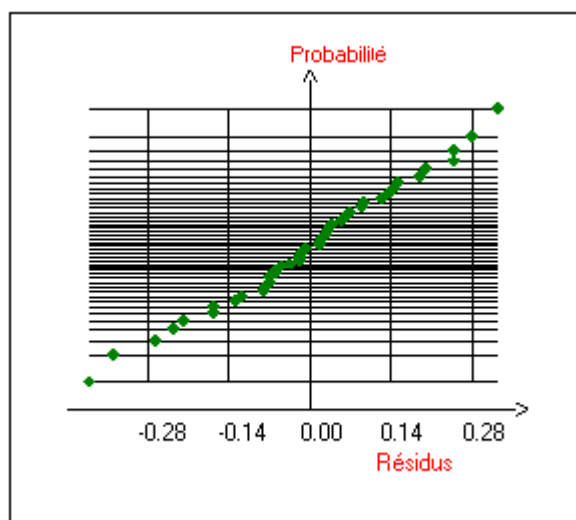
La régression a donné un coefficient de corrélation multiple égale à 0.977 et un coefficient de corrélation multiple ajusté égale à 0.965, ce qui montre que la réponse est fortement corrélée avec les facteurs.

<b>Ecart Type de la réponse</b>	0.055
<b>R2</b>	0.977
<b>R2A</b>	0.965

**Tableau 8 : Coefficient de corrélation**

Selon  $R^2$  : le modèle permet de décrire 97.7% de système  
Selon  $R^2A$ : l'ajustement du modèle est de 96.5%

### **e-3 Etude graphique des résidus : (selon la droite d'henry)**



**Figure 10 : Droite d'Henry**

Ce type de graphe est utilisé pour vérifier si un ensemble de valeurs suit une distribution normale. Cette vérification se fait uniquement de façon visuelle.

D'après le graphe ci-dessus, on remarque que toutes les valeurs des résidus s'alignent bien sur la droite de Henry et suivent une distribution normale, la distribution des valeurs des résidus autour de la droite d'Henry semble bonne.

**Donc, la distribution semble suivre une loi normale.**

### **e-4 Estimations et statistiques des coefficients :**

Le tableau ci-dessous, donne la signification des coefficients en effectuant un test de signification :

**Tableau 9 : Signification des coefficients**

Nom	Coefficient	Signif. %
b0	7.616	< 0.01 ***
b1	1.175	< 0.01 ***
b2	-0.065	0.750 **
b3	-0.020	35.9
b4	-0.113	< 0.01 ***
b11	0.994	< 0.01 ***
b22	-0.455	< 0.01 ***
b33	-0.061	11.2
b44	-0.031	17.0
b12	-1.121	< 0.01 ***
b13	0.540	< 0.01 ***
b23	-0.253	< 0.01 ***
b14	0.908	< 0.01 ***
b24	-0.485	< 0.01 ***
b34	-0.562	< 0.01 ***

Les notations « \* », « \*\* » et « \*\*\* » ont les significations suivantes :

- ✓ \*\*\* : confiance > 99.9%
- ✓ \*\* : confiance > 99.0%
- ✓ \* : confiance > 95.0%

D'après le tableau, les coefficients sont significatifs et le modèle mathématique trouvé est :

$$Y = 7.616 + 1.175X_1 - 0.065X_2 - 0.020X_3 - 0.113X_4 + 0.994X_1^2 - 0.455X_2^2 - 0.061X_3^2 - 0.031X_4^2 - 1.121X_1X_2 + 0.540X_1X_3 - 0.243X_2X_3 + 0.908X_1X_4 - 0.485X_2X_4 - 0.562X_3X_4$$

### **e-5 Etude graphique :**

A l'aide de la fonction de désirabilité, on a cherché les conditions optimales des facteurs X1 (Souffleur) et X4 (Coupe-queue) qui sont, dans cette étude, des facteurs qualitatifs.

On a pu déterminer les résultats optimaux lorsque ces facteurs sont fixes au niveau :

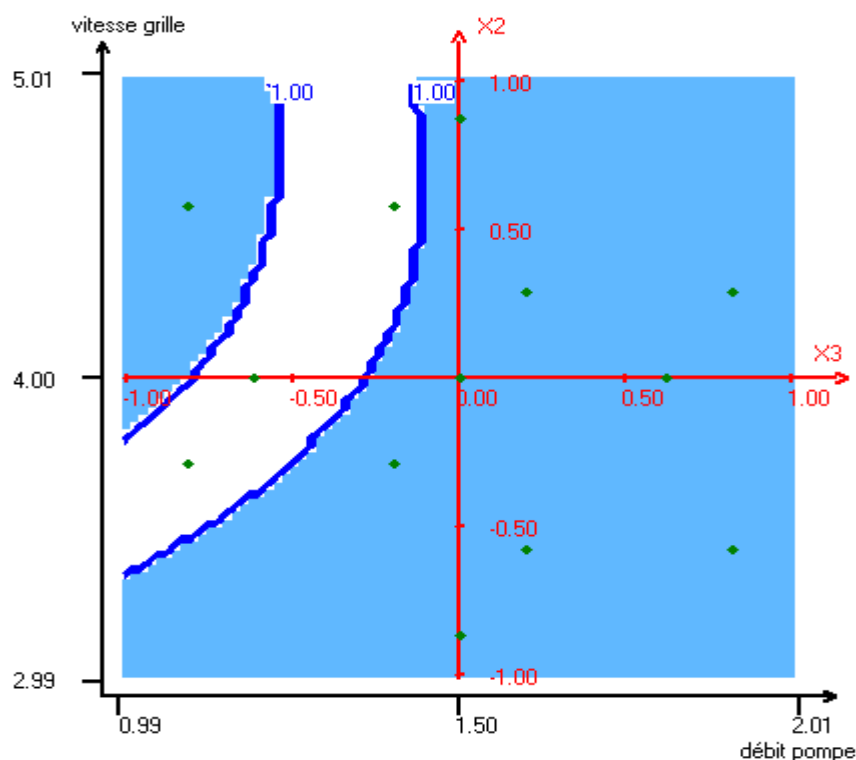
$$X_1 = -1$$

$$X_2 = +1$$

Le graphe suivant montre le domaine qui permet d'atteindre la spécification donnée ( $6.7g < Y < 7.25g$ ).

La zone blanche présente le domaine d'acceptation.





**Figure 11 :** Variation de la désirabilité dans le plan : débit pompe, vitesse grille FACTEURS FIXES : - souffleur = 1 position - coupe queue = 3 position)

Nous avons tracé la vitesse de la grille en fonction du débit de la pompe, les facteurs qualitatifs (le souffleur et le coupe-queue) sont fixés respectivement en position 1 et en position 3 (conditions optimales pour ces deux facteurs).

Nous avons ensuite passé à la fonction de désirabilité pour mieux visualiser le domaine d'acceptation (c'ad, une réponse  $6.7g < Y < 7.25g$ ) qui est la zone blanche, tandis que la zone bleue, est la zone où le poids d'enrobage est non acceptable.

La modélisation que nous avons fait, va permettre d'optimiser l'utilisation de Vegecao dans l'étape d'enrobage, et elle va permettre aussi en cas de validation du modèle (ANOVA2) de prédire les réponses en n'importe quel point du domaine expérimentale pour des niveaux des facteurs désirés ou bien de prédire les niveaux des facteurs pour une réponse désirée.

### **e-6 Validation du modèle par des points test :**

On a effectué 3 points test et on a comparé les résultats expérimentaux avec ceux prédits par le modèle.

Les résultats de ces essais sont regroupés dans le tableau suivant :

	<b>Souffleur</b>	<b>Vitesse du tapis</b>	<b>Débit de la pompe</b>	<b>Coupe-queue</b>	<b>Yexp</b>	<b>Ycalc</b>	<b>la différence</b>
Essai 1	3	4.87	1.5	2	8.47	8.4	0.07
Essai 2	3	3.71	1.09	2	9.69	9.57	0.12
Essai 3	2	4.58	1.4	1	7.76	7.7	0.06

**Tableau 10 : Points tests pour la validation du modèle**

On voit clairement que la différence entre les valeurs expérimentales et les valeurs prédites par le modèle est faible, donc le modèle est validé expérimentalement.

A terme de cette étude, nous avons pu mettre au point un ensemble de réglages des paramètres de l'enrobeuse afin de rester dans le domaine d'acceptation qui est de :  $6.7g < Y < 7.25g$

L'étude a pu livrer un modèle mathématique quadratique validé expérimentalement et vérifié.

Donc nous avons pu trouver un domaine d'acceptation (la zone blanche) où les spécifications de poids sont respectées, nous avons aussi trouvé un modèle explicatif, mais nous n'avons pas pu trouver un modèle prédictif.

La non validation statistique du modèle est dû en premier lieu au mauvais choix du plan d'expérience (présence de deux facteurs qualitatifs), ainsi qu'au grand nombre de facteurs bruits qui ont influencé la réponse d'une façon négative.



# Conclusion générale

Afin de garder sa part dans le marché, chaque entreprise agroalimentaire cherche à minimiser les charges au cours de la production pour augmenter le bénéfice, mais sans altérer la qualité des produits.

La plupart des matières premières importantes utilisées au cours de la production par les industriels agroalimentaires, sont importées du marché international qui subit des variations des coûts tel que le cas de la **Lécithine** et du **Cacao en poudre** qui sont utilisées dans la fabrication du **Vegecao** (le produit d'enrobage) et qui sont importées du marché international.

Pour cette raison, nous avons cherché à minimiser le poids d'enrobage et par conséquence le coût du **Vegecao** utilisé.

Pour atteindre cet objectif nous avons eu recours aux plans d'expériences qui nous ont permis de trouver une relation (sous forme d'une équation) entre les facteurs de l'enrobage et le poids de cet enrobage.

A l'aide de cette équation, on a pu déterminer l'intervalle sur lequel on ne va pas dépasser le poids de spécification (  $6,7 \text{ g} < Y < 7,25 \text{ g}$  ).

Les plans d'expériences sont un outil statistique très important qui permettent de réduire le coût, le temps et de tirer beaucoup de conclusions.



## Références bibliographiques

- 1)- Goupy-34 (document PDF) " les plans d'expériences".
- 2)- Cours "conduire et contrôler la fabrication de produits de cuisson céréaliers" dédié aux techniciens spécialisé en IAA à l'OFPPT Complexe de formation agroalimentaire et plasturgie de Casa.
- 3)- [www.wikipédia.com](http://www.wikipédia.com)
- 4)- Cours sur les plans d'optimisation et plans de mélange 2009-2010 Pr M. ELASRI.
- 5)- Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme de Master sciences et techniques Intitulé "Optimisation de la méthode de dosage du carbone organique dans les minerais phosphatés par les plans d'expériences" année 2007- 2008. FST – Fès.
- 6)- FISHER – 1925.
- 7)- TAGUSHI.



## **Filière Ingénieurs IAA**

### **Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'Etat**

**Nom et prénom: JOUDAR ABDESSAMAD**

**Année Universitaire : 2009/2010**

**Titre : Contribution à l'optimisation de poids d'enrobage de Merendina Mini**

#### **Résumé**

Actuellement, l'industrie d'agro-alimentaire occupe une bonne place sur le marché des Bio-industries grâce à la qualité des produits et du bon service. Grâce aux progrès biotechnologiques révolutionnaires et à cause de la grande concurrence rencontrée au niveau des sociétés du biscuiterie Maroc, les responsables de la société BIMO (considérée comme Leader sur le marché national) ont comme souci majeure la bonne qualité de leurs produits et la réponse aux normes mondiales et aux exigences d'une bonne qualité et d'une grande sécurité alimentaire.

Pour garder sa part du marché national et pour garder sa forte position par rapport à ses concurrents, BIMO cherche toujours à maintenir la production de la qualité et à optimiser les moyens utilisés au niveau de la production.

Pour ce faire, le sujet de stage avait comme thème principal : la minimisation du poids d'enrobage de Merendina mini et par conséquent la quantité de Vegecao utilisé pour cet enrobage dont la composition comprend deux produits importés du marché international (Lécithine et Cacao en poudre).

Pour arriver à cet objectif, on a utilisé une méthode statistique nommée : les plans d'expériences et plus spécifiquement les plans pour surface de réponse.

**Mots clés : Plans d'expériences, Enrobage, Optimisation, qualité, BIMO**