



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO
GENIE DES PROCEDES CHIMIQUES ET INDUSTRIELS



La société JB



**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master,
Titre Ingénieur en Génie des Procédés Chimiques et Industriels,
parcours Génie des Procédés**

**CONTRIBUTION A LA VALORISATION
DES DECHETS BOULES GAUFRETTES EN
CHARGE POUR BISCUITS**

Présenté par : RAZAKANOELINTSOA Zo Andrianina

Soutenu le 21 décembre 2016

Promotion 2015



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO
GENIE DES PROCEDÉS CHIMIQUES ET INDUSTRIELS



La société JB



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master,
Titre Ingénieur en Génie des Procédés Chimiques et Industriels, parcours Génie
des Procédés

CONTRIBUTION A LA VALORISATION DES DECHETS BOULES GAUFRETTES EN CHARGE POUR BISCUITS

Présenté par : RAZAKANOELINTSOA Zo Andrianina

Soutenu le 21 décembre 2016

Membre du Jury :

Président : Pr RANDRIANA Nambinina Richard Fortuné

Encadreur : Pr ROBIJAONA Baholy

Rapporteur : Dr ANDRIAMANAMPISOA Tsiry Angelos

Examineur : Pr RAMANAMBE RAVELOMANANTSOA Nicole

Dr RAKOTOMAMONJY Pierre

Dr RABEHARITSARA Andry Tahina

Promotion 2015

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à rendre grâce à Dieu qui m'a donné le savoir-faire, la santé et la force pour l'accomplissement de ce présent mémoire. Je lui rends grâce aussi pour sa bienveillance durant toutes les épreuves de la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer particulièrement tous mes remerciements à :

- ❖ Monsieur ANDRIANAHARISON Yvon, Professeur Titulaire, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, qui m'a permis d'effectuer mes études au sein de l'établissement,
- ❖ Monsieur RANDRIANA Nambinina Richard Fortuné, Professeur, Chef de la mention Génie de Procédés Chimiques et Industriels, pour avoir accepté de faire l'honneur de présider cette séance malgré ses nombreuses occupations,
- ❖ Madame ROBIJAONA Baholy, Professeur, encadreur de ce travail, pour les précieux conseils et soutiens tout au long des travaux effectués,
- ❖ Monsieur ANDRIAMANAMPISOA Tsiry Angelos, Docteur, Directeur Technique de la société JB, de l'opportunité qu'il m'a accordée d'effectuer l'étude de ce projet, et d'accepter d'être le rapporteur bien qu'il occupe une très grande responsabilité au niveau de la société et de l'école,

J'adresse aussi toute ma gratitude aux membres de jury, examinateur de ce mémoire :

- ❖ Madame RAMANAMBE RAVELOMANANTSOA Nicole, Professeur Titulaire,
- ❖ Monsieur RAKOTOMAMONJY Pierre, Maître de Conférences
- ❖ Monsieur RABEHARITSARA Andry Tahina, Maître de Conférences.

Je suis également redevable envers :

- ❖ Monsieur Yan GARNIER, Directeur Industriel de la société JB, de m'avoir offert l'occasion d'effectuer un stage au sein de la société pour la réalisation de ce mémoire, ainsi que tout le personnel de la société JB Amboditsiry, spécialement les équipes de la Plateforme Biscuiterie et de la Recherche & Développement, pour leur chaleureux accueil et collaboration durant la période de stage,
- ❖ Tous les enseignants et personnel de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, pour le savoir-faire et connaissance qu'ils m'ont fournis pendant le cursus universitaire.

Enfin, j'exprime ma profonde gratitude à :

- ❖ Mes parents, pour leur encouragement et leurs précieux conseils depuis toujours, ainsi qu'aux soutiens financiers pour la réalisation de ce présent mémoire,
- ❖ Toute la famille et les amis pour leur réconfort et surtout qui m'ont porté dans leur prière.

A vous tous qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail, veuillez recevoir l'expression de mes sincères et profondes gratitude. Que Dieu vous bénisse !

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ANNEXES

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE : CADRE GENERAL DE L'ETUDE

Chapitre I : GENERALITES SUR LES CHARGES

Chapitre II : GENERALITES SUR LES BISCUITS

Chapitre III : LES DECHETS BOULES GAUFRETTES

CONCLUSION PARTIELLE

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

*Chapitre IV : PROCEDES DE TRANSFORMATION DES BOULES GAUFRETTES EN
POUDRE AU LABORATOIRE*

*Chapitre V : EXTRAPOLATION DE LA TRANSFORMATION A L'ECHELLE
INDUSTRIELLE SUIVANT LES MACHINES DISPONIBLES*

*Chapitre VI : ESSAI D'INCORPORATION DE LA POUDRE DE BOULES
GAUFRETTES DANS LES PREPARATIONS DE BISCUITS*

CONCLUSION PARTIELLE

TROISIEME PARTIE : ETUDE ECONOMIQUE

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES WEBOGRAPHIQUES

ANNEXES

TABLE DE MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Les différents types de charges.....	3
Tableau 02 : Classification des biscuits.....	8
Tableau 03 : Les biscuits produits par la société JB.....	9
Tableau 04: Proportion des matières premières pour la préparation des feuilles de gaufrettes...	17
Tableau 05 : Origine des déchets films pendant le conditionnement des gaufrettes.....	22
Tableau 06 : Compositions chimiques des boules gaufrettes.....	25
Tableau 07 : Composition en matière sèche des boules gaufrettes.....	26
Tableau 08 : Relation entre la température et la durée de séchage des boules gaufrettes.....	42
Tableau 09 : Résultats des opérations de séchage des boules gaufrettes.....	44
Tableau 10 : Opération de séparation des boules gaufrettes accolées.....	48
Tableau 11 : Paramètre de séchage des boules gaufrettes.....	50
Tableau 12 : Proportion des matières premières pour la préparation du chocolat d'enrobage...	53
Tableau 13 : Comparaison des proportions des matières premières utilisées pendant les essais d'utilisation de la poudre de boules gaufrettes dans les chocolats d'enrobage.....	55
Tableau 14 : Proportion de matière première pour la préparation des biscuits à enrober.....	56
Tableau 15 : Comparaison des proportions des matières premières utilisées pendant les essais d'utilisation de la poudre de boules gaufrettes dans les biscuits à enrober.....	58
Tableau 16 : Comparaison des proportions des matières premières utilisées pendant les essais d'utilisation de la poudre de boules gaufrettes dans les sablés parfum beurre.....	61

Tableau 17 : Comparaison des proportions des matières premières utilisées pendant les essais d'utilisation de la poudre de boules gaufrettes dans les sablés parfum chocolat, sans charge.....	63
Tableau 18 : Comparaison des proportions des matières premières utilisées pendant les essais d'utilisation de la poudre de gaufrettes dans les sablés parfum chocolat, avec charge.....	64
Tableau 19 : Paramètre de fonctionnement des appareillages.....	68
Tableau 20 : Durée de chaque procédé de la valorisation.....	68
Tableau 21 : Durée de la combustion du gaz.....	71
Tableau 22 : Montant des énergies dépensées pendant la valorisation.....	71
Tableau 23 : Evaluation de coût de la main d'œuvre.....	72
Tableau 24 : Evaluation de la dépense totale pour la transformation des boules gaufrettes en poudre.....	72
Tableau 25 : Analyse des causes de la production élevée de boules gaufrettes et proposition de solutions.....	e,f,g

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Molécule de glucose.....	4
Figure 02 : Molécule d'amylose.....	5
Figure 03 : Molécule d'amylopectine.....	5
Figure 04 : Diagramme de fabrication des gaufrettes fourrées.....	16
Figure 05 : Diagramme de fabrication des gaufrettes fourrées enrobées.....	16
Figure 06 : Schéma simplifié de l'enchaînement des machines de fabrication des gaufrettes fourrées.....	21
Figure 07 : Schéma simplifié de l'enchaînement des machines de fabrication des gaufrettes fourrées enrobées.....	21
Figure 08 : Localisation des déchets dans la filière GAUFRETTE.....	24
Figure 09 : Réparation de la composition chimique des boules gaufrettes.....	25
Figure 10 : Répartition de la composition en matière sèche des boules gaufrettes.....	26
Figure 11 : Représentation schématique de la dénaturation des protéines.....	28
Figure 12 : Représentation schématique de la structure de granule d'amidon.....	29
Figure 13 : Différents types d'endommagement des granules d'amidon.....	29
Figure 14 : Processus de la gélatinisation de la phase cristalline de l'amidon.....	30
Figure 15 : Diagramme de la transformation des boules gaufrettes en poudre.....	38
Figure 16 : Mélangeur-batteur ou pétrin de 10 L du Laboratoire de R&D.....	39
Figure 17: Courbe de la température en fonction de la pression de changement de l'état liquide à l'état gazeux.....	41
Figure 18 : Four à pâtisserie du Laboratoire de R&D.....	42
Figure 19 : Batteur mélangeur de 40 L.....	47
Figure 20 : Séchoir à bande continue des produits alimentaires.....	50
Figure 21 : Broyeur à marteau.....	51

Figure 22 : Organigramme de la préparation du chocolat d'enrobage.....	54
Figure 23 : Organigramme de la préparation du biscuit à enrober.....	57
Figure 24 : Organigramme de la préparation des sablés.....	60
Figure 25 : Diagramme d'ISHIKAWA source de la production élevée des déchets boules gaufrettes.....	d

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : PRESENTATION DE LA SOCIETE JB.....	b
ANNEXE 2 : CONTRIBUTION A LA DIMINUTION DE LA QUANTITE DE BOULES GAUFRETTES PRODUITES.....	c
ANNEXE 3 : METHODE DE DETERMINATION DE LA COMPOSITION BIOCHIMIQUE.....	h

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

μm : 10^{-6} m

Ar : Ariary, unité monétaire à Madagascar

CNRE : Centre National de Recherches sur l'Environnement

D.E: Dextrose Equivalent

DB : Déchets Boules gaufrettes

DLUO : Date Limite d'Utilisation Optimum

M : Molarité d'une solution

MBS : Métabisulfite de sodium

N: Normalité d'une solution

R&D : Recherche et Développement

INTRODUCTION

De nos jours, les biscuits sont des friandises qui suscitent l'intérêt de toute catégorie d'âge, surtout les enfants. Les perpétuels développements technologiques engendrent une diversification des produits et donnent une multitude de choix qui fait le bonheur du consommateur. A Madagascar, la société JB du groupe BASAN offre à travers ses gammes de biscuits : « BISKY », « BOLO », « GOUTY », et « SALTO » plus de trente articles avec une variété d'option dans la texture, la saveur, le goût, la forme du biscuit souhaité. Dans la grande île, la concurrence dans ce secteur est rude, ce qui conduit la société à produire des biscuits qui satisfont l'attente du client.

La production de déchets est un problème technologique non résolu dans la fabrication industrielle des biscuits. En parallèle à la réduction de ces déchets, la société opte pour la politique de recyclage afin d'éviter leur rejet qui causera une grande perte. Le recyclage des biscuits se fait par broyage et l'incorporation de la poudre dans la recette de fabrication des biscuits. La fabrication de la gaufrette produit cependant un déchet que l'on ne peut recycler avec cette méthode usuelle. Il apparaît pendant la cuisson des feuilles de gaufrettes, par l'évacuation de la pâte à gaufrette hors des plateaux de cuisson pour former des boules accrochées aux feuilles appelées « déchets boules gaufrettes » (DB).

C'est dans le cadre du recyclage que ce présent mémoire se focalise sur la question de ce déchet. Il s'intitule « *Contribution à la valorisation des déchets boules gaufrettes en charge pour biscuits* ».

Pour parvenir à cet objectif, le travail se divise en trois parties :

- La première partie définira le cadre général de l'étude afin de situer le domaine de travail ; des recherches bibliographiques ont été effectuées sur les charges, les biscuits et les gaufrettes en particulier ; des caractéristiques des boules gaufrettes seront déterminées.
- La deuxième partie traite les études expérimentales au laboratoire sur la transformation des boules gaufrettes en poudre et son utilisation comme charge pour biscuit et aussi l'extrapolation de la transformation à l'échelle industrielle.
- La troisième partie est l'évaluation économique de la transformation.

PREMIERE PARTIE :
CADRE GENERAL DE
L'ETUDE

Chapitre I : GENERALITES SUR LES CHARGES

I.1. Définition

Les charges représentent une quantité qui est une substance ajoutée à une matière où elle agit sur les propriétés mécaniques, physiques, ou chimiques. En fait, elles représentent une importance secondaire que l'on ajoute à une matière principale pour améliorer ses caractéristiques. [9]

Le secteur industriel utilise aussi les charges pour augmenter le rendement de la production. En général, les charges coûtent moins chères que les matières premières principales. Le coût de la production se voit diminuer.

I.2. Nature des charges

Il existe plusieurs natures de charges. Elles se déterminent suivant la composition chimique. Le tableau suivant montre les cinq natures chimiques des charges.

Tableau 1 : Les différents types de charges [14]

Natures	Exemples
Charges organiques	Cellulose, farines de bois, farines d'écorces de fruits et de noyau de fruits, fibres végétales, pâte de cellulose, amidons,
Charges minérales	Craies et carbonates, silices, talcs, argile et amino-silicates,
Charges métalliques	Plomb, aluminium, cuivre, fer
Oxydes et hydrates métalliques	Alumine et trihydrate d'aluminium, dioxyde de titane, oxyde de zinc, oxyde de magnésium, oxysulfate de magnésium, trioxyde d'antimoine, oxyde béryllium, céramiques,
Verre	Fibre de verre, poudre de verre, bille de verre creux,
Carbone	Noir de carbone, fibre de carbone.

I.3. Les charges dans la production de biscuit

Dans la production de biscuits, les charges doivent être évidemment consommables. Elles appartiennent à la famille des charges organiques.

On peut distinguer deux types de charges utilisées dans la fabrication des biscuits :

- L'amidon et ses dérivés,
- Les biscuits.

I.3.1. L'amidon et ses dérivés

L'amidon et ses dérivés se présentent sous forme de poudre blanche. Ils influent la qualité organoleptique du produit. Ils sont marqués par leur texture fondante à la dégustation. De plus, la stabilité sur la coloration et le problème sur le gluten sont contrôlés. Dans la recette de préparation de la pâte, la quantité introduite est environ le dixième de la farine impliquée. Ils jouent le rôle d'agent épaississant. [5]

I.3.1.1. L'amidon

L'amidon est un polysaccharide composé de chaîne de molécule D-glucose ($C_6H_{12}O_6$). Chez les végétaux, on trouve l'amidon dans les organes de réserves comme les graines (le maïs, le blé, le riz, les légumineuses), les tubercules et rhizomes (pomme de terre, patate douce, manioc) et les fruits (la banane).

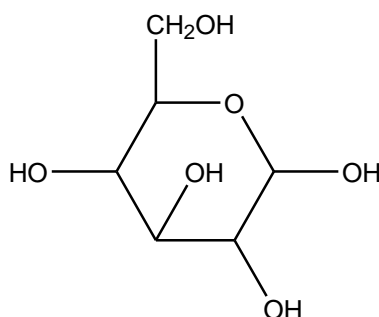


Figure 1 : Molécule de glucose

Il est constitué de deux homopolymères du glucose :

- L'amylose : polymère linéaire de 600 à 1000 molécules de glucose.

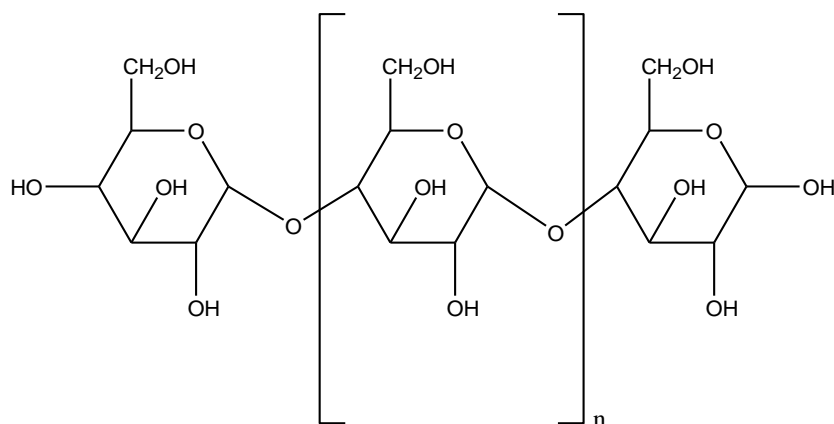


Figure 2 : Molécule d'amylose

- L'amylopectine : polymère, de 10 000 à 100 000 molécules de glucose, ramifiée toutes les 24 à 30 unités de glucose.

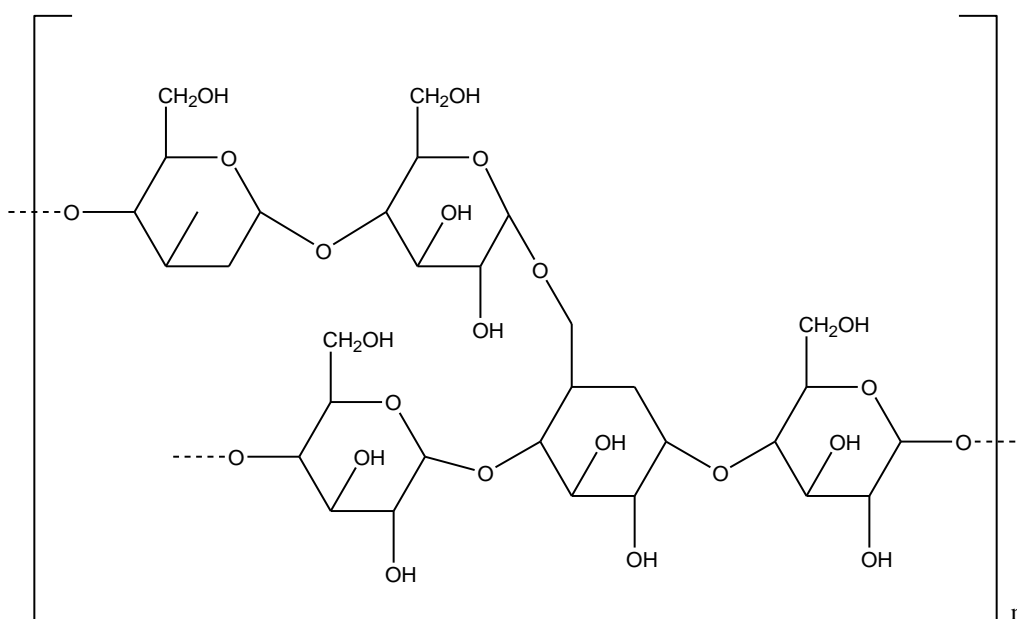


Figure 3 : Molécule d'amylopectine

Le plus souvent, les fécules de maïs et de manioc sont les plus utilisées dans les recettes de la biscuiterie. Il se présente sous forme de poudre blanche pour faciliter sa dispersion dans la préparation de la pâte. [1] [15]

I.3.1.2. La maltodextrine :

La maltodextrine est aussi utilisée en tant que charge. Elle est obtenue par hydrolyse de l'amidon de blé, de maïs ou de fécule de pomme de terre. La réaction d'hydrolyse se déroule par voie enzymatique de la même façon que dans l'appareil digestif. Pendant la digestion, la décomposition de l'amidon se termine à la formation de glucose. C'est le produit de l'hydrolyse totale de l'amidon.

Mais pendant la production de la maltodextrine, la décomposition s'arrête à un stade intermédiaire. Le degré d'hydrolyse des molécules d'amidon se mesure par le « dextrose équivalent » ou D.E. Il est compris entre 0 à 100. Une valeur élevée du D.E indique que la réaction d'hydrolyse est plus poussée. D.E équivaut à 100 quand l'hydrolyse est totale, et on a du glucose pur. Pour la maltodextrine, la limite du D.E est de 20.

L'amylose et l'amylopectine se transforment en glucose, maltose, oligoside et polyoside. Ces derniers sont plus facilement digérés par rapport à l'amidon. [15]

I.3.2. Les biscuits :

Ce sont les biscuits qui étaient cassés ou de forme non conforme aux productions antérieures. Ils sont finement broyés avant d'être ajoutés à la préparation des pâtes. Ceci est fait évidemment pour faciliter leur dispersion. Habituellement, seuls les biscuits de même type que les biscuits à préparer sont utilisés. Par opposition à l'amidon, les biscuits ne contribuent pas à l'amélioration organoleptique du produit.

Environ 5% de la quantité de farine représentent la masse de poudre de biscuit recommandés.

Chapitre II : GENERALITES SUR LES BISCUITS

II.1. Historiques

Il y avait près de 10 000 ans, les biscuits existèrent. Pour conserver les céréales, une bouillie fut cuite au four.

Au Moyen Age, des additifs furent ajoutés à la cuisson des céréales. En ce temps, les différentes proportions en graisses, sucres et sels donnaient naissance à une variété de produits.

Au XIX^{ème} siècle, avec la révolution industrielle, la production de biscuits fut mécanisée. La première industrie fut celle de Carr à Carlisle en Grande Bretagne. Des biscuits secs étaient produits en masse, et furent exportés par l'Angleterre vers ses colonies. De plus, les pays, où la consommation du thé est de coutume, en reçurent aussi. Puisque, la révolution industrielle concernait toute l'Europe, l'émergence de nouvelles industries ne se tarda pas dans d'autre pays dont Lazzaroni en Italie, Beukaler et Delacre en Belgique, Lefèvre Utile et Biscuiterie Nantaise en France. Des petites entreprises se formèrent aussi.

De nouvelles technologies étaient exploitées pour améliorer la production et diminuer le coût. Avec l'évolution de la science dont la biotechnologie, de nouveaux ingrédients étaient produits pour élargir la diversification des biscuits fabriqués. [6]

II.2. Définition

Le mot biscuit vient de deux mots : « Bis - Cuit », c'est-à-dire double cuisson. Autrefois, la cuisson des biscuits passe par deux étapes : une première qui consiste à la cuisson du biscuit dans un four, et une deuxième qui contribue à l'évaporation de l'humidité du biscuit à l'étuve ou dans un compartiment au-dessus du four même. Mais par l'évolution technologique, la cuisson se fait dans un seul four.

Le biscuit est un gâteau sec à base de farine, de matière grasse, de matière sucrante et d'autres produits alimentaires. Il peut être conservé longtemps allant d'un mois à une année tout en gardant ses qualités organoleptiques. [3] [12]

II.3. Classification des biscuits

De nos jours, il existe une très grande variété de biscuits tant en formes qu'en goûts. Pour déterminer leurs classifications, le critère à prendre en compte est l'aspect de la pâte à biscuit. Elle peut prendre trois formes :

Tableau 2 : Classification des biscuits [2] [12]

Classifications	Caractéristiques	Biscuits dérivés
Pâte dure ou semi-dure	Pâte modelable, La mise en forme des biscuits se fait avant la cuisson,	Biscuits secs sucrés ou salés : petit beurre, sablé, crackers,
Pâtes molles	Riche en matière grasse et en œuf, Dans certain cas, la cuisson est cadrée dans un moule pour donner la forme du biscuit,	Articles secs : boudoirs, langue de chat, Article moelleux : madeleine, cake, macaron,
Pâtes liquides	Pâte à forte teneur en eau ou en lait, Sa mise en forme se fait pendant la cuisson suivie d'un découpage pour quelques produits,	Gaufrettes fourrées et/ ou enrobées, Gaufrettes sèches : éventails, cigare et cigarette, cornet à glace, Gaufres et crêpes.

II.4. Les biscuits produits par la société JB

La société produit des biscuits provenant de 2 catégories de l'aspect de la pâte parmi les 3 énumérées ci-dessus :

- à partir de pâte dure ou semi-dure,
- à partir de pâte liquide.

Tableau 3 : Les biscuits produits par la société JB

Aspect de la pâte	Type de biscuit	Nomination commerciale
Pâte dure ou semi-dure	Petit beurre	Bisky Up, Bisky Cool, Bisky Bokotra, Gouty d'Or, Gouty Beurre, Gouty Lait, Jump
	Sablé	Sablito, Bisky choco,
	Crackers	Salto, Salto Snacks
	Biscuit fourré	Bisky Crème, Bisky Teen, Salto Sandwich, Gouty Crock,
	Biscuit enrobé	Bolo Kids,
	Biscuit fourré enrobé	Bolo Duo, Bolo Pics,
Pâte liquide	Gaufrette	Frego Turbo

En tout, la société fabrique 20 articles différents. Les produits tels que le « Bisky Up », « Bisky Bokotra », « Jump », « Sablito », « Salto », « Bisky crème », « Gouty Crock », « Bolo Duo », « Frego », « Turbo » se présentent encore sous différents arômes.

Chapitre III : LES DECHETS BOULES GAUFRETTES

III.1. Technologie industrielle des gaufrettes

Une gaufrette est un biscuit de la forme de petite gaufre craquante et feuilletée. Le nombre de feuilles de gaufrettes varient de deux à quatre. Entre les feuilles sont étalées des couches de crème, de chocolat ou de confiture. Parfois, elles sont enrobées de chocolat. Le tout est de donner un biscuit léger, friable, savoureux.

III.1.1. Matières premières des feuilles de gaufrettes

Les composantes majoritaires de la recette de préparation de la pâte à gaufrette sont la farine et l'eau. Mais pour obtenir des feuilles de gaufrettes croustillantes et savoureuses, d'autres ajouts quoiqu'en petit pourcentage par rapport à la quantité de l'eau et de la farine sont indispensables.

III.1.1.1. Farine de blé

La farine de blé est une poudre blanche obtenue par broyage de l'amande de blé. Elle est le principal ingrédient pour la fabrication de gaufrette. Ses propriétés ne dépendent non seulement de la matière première (la variété du blé et les conditions de culture), mais aussi du procédé de mouture et de son stockage.

En général, les farines pauvres en protéine des variétés de blé avec des amandes moins dures sont les plus suscitées. Elles contiennent 10 à 12% de protéine. Souvent, le taux de protéine élevé crée des problèmes de développement du réseau de gluten accentué qui ne peuvent pas être résolus en modifiant les recettes de préparation.

La teneur en eau de la farine doit être inférieure à 14,5%. Cette valeur n'influe pas sur la qualité de la feuille. Néanmoins, sa connaissance détermine la quantité d'eau utilisée au pétrissage. De plus, une teneur en eau élevée réduit la date limite d'utilisation de la farine. Ceci augmente le risque de contamination microbienne. Elle est marquée par une odeur désagréable. [5] [10]

III.1.1.2. Eau

L'eau est le solvant qui permet la répartition de tous les ingrédients. La farine s'hydrate et se disperse. Ce processus conduit au gonflement des molécules d'amidon et à la formation des réseaux de gluten. Les matières solubles s'y dissolvent.

La pâte à gaufrette se présente sous forme de liquide homogène parce que la technologie de développement de la pâte pendant la cuisson se fait par l'insufflation de la vapeur d'eau. En effet, outre la pression exercée par le moule, l'évacuation des vapeurs d'eau vers les extrémités des moules permet la répartition de la pâte à travers toute la surface du moule. De plus ce phénomène est aussi responsable de la formation des pores, qui sont les voies empruntées par les vapeurs, à la texture des feuilles. Elle nécessite donc une quantité d'eau élevée. [5] [10]

Puisque la production de gaufrette se situe dans le domaine alimentaire, la propreté de l'eau est primordiale.

III.1.1.3. Matières grasses

Les matières grasses ou corps gras sont des triglycérides, des esters formés par une molécule de glycérol et de trois acides gras. Dans la fabrication des biscuits, elles sont d'origines végétales. Elles sont essentiellement issues des graines et de fruits oléagineux. Elles se présentent sous deux formes, liquide ou solide, selon le nombre d'insaturation des acides gras constitutifs.

Les corps gras, qui contiennent peu d'acides gras insaturés, sont préférables parce qu'ils sont plus stables, comme les graisses. En effet, les dégradations thermiques et la réaction de polymérisation, lesquelles conduisent à la formation de résidus sur les moules, pendant la cuisson, sont minimales. Le temps de conservation de la gaufrette augmente puisque la détérioration par oxydation est réduite. L'huile de palme est majoritairement utilisée.

La recette pour la préparation des feuilles de gaufrettes contient peu de corps gras. En contrepartie, ils améliorent la texture pour qu'elle soit friable, fondante, moelleuse. Les matières grasses facilitent le décollement des feuilles en fournissant un film d'huile à la surface du moule de cuisson. [5] [10]

III.1.1.4. Lécithine de soja

La lécithine ou la phosphatidycholine est un émulsifiant naturel présent dans les fèves de soja, les graines de tournesol et de colza, le jaune d'œuf. Elle a une valeur de HLB (Hydrophilic-lipohilic balance) entre 3 – 4 typique pour l'émulsion eau dans l'huile. On utilise le plus souvent la lécithine de soja.

Les lécithines liquides sont principalement utilisées. Elles sont des mélanges composés de 60% de lécithine brute avec 40% d'huile de soja. Si la concentration de lécithine est plus élevée, le mélange devient solide à température ambiante. Il existe aussi les poudres de lécithines composées de 90 à 95% de lécithine brute, mais elle coûte plus chère que la lécithine liquide.

La lécithine a une influence sur la facilité et la rapidité de libération des vapeurs d'eau durant la cuisson. La partie hydrophile s'attache à la structure de la gaufrette donc sa partie lipophile retient les matières grasses qui agissent comme agent démoulant. Elle contribue sur la coloration des gaufrettes. [5] [10]

III.1.1.5. Sucre

Le sucre améliore le goût et la texture de la gaufrette. C'est une substance alimentaire, de saveur douce, sous forme de fins cristaux.

La quantité de sucre utilisée dans la préparation des feuilles de gaufrettes est minime. Il est facilement dissout dans la solution. Notons qu'il contient une grande quantité d'eau. Sa granulométrie n'impose aucun problème à la préparation.

Il augmente la coloration de la feuille selon la réaction de Maillard :

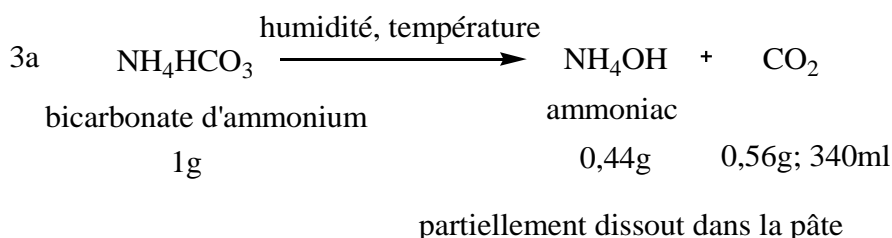
Réaction 1 : Résumé de la réaction de Maillard

sucre simple + acides aminés $\xrightarrow{\text{eau, chaleur}}$ mélanoïdes brunes foncées

Il faut noter néanmoins que le sucre favorise la formation de résidus sur le moule. [5]

Chaque fois que le bicarbonate d'ammonium est en contact avec l'humidité, une légère décomposition en CO₂ et en ammoniac se produit. La vitesse de la réaction de décomposition s'accroît approximativement à partir 40°C et devient très rapide à 60°C. [5]

Réaction 3 : Décomposition du bicarbonate d'ammonium



III.1.1.7. Métabisulfite de sodium (MBS)

Le MBS est un agent qui améliore la fluidité de la pâte à gaufrette. Sa formule moléculaire est Na₂S₂O₅. Il intervient en prévenant contre la formation des réseaux de gluten. Ces derniers provoquent l'augmentation de la viscosité de la pâte, qui conduit à une mauvaise répartition de la pâte lors de la cuisson, ou la formation de grumeaux, qui peuvent boucher les tuyaux de conduite de la pâte vers les plateaux de cuisson. Pour cela, le MBS rompt les liaisons disulfures dans la formation des chaînes de gluten. [10]

III.1.1.8. Matière première optionnelle

Divers ingrédients peuvent être ajoutés à la préparation pour améliorer la qualité du produit voulu.

- L'amidon : de préférence provenant du maïs ou du blé, augmente les matières sèches et réduit le problème de gluten ; il améliore la stabilité de la pâte pour une structure homogène des feuilles de gaufrette.
- La poudre de lait : améliore le goût des feuilles, l'apport de protéine favorise la réaction de Maillard qui rend meilleur la coloration et la saveur ; lors de la préparation de la pâte, il faut bien mélanger pour éviter l'agglomération de la poudre de lait.

- L'œuf : en poudre ou liquide pasteurisé, améliore la coloration par la réaction de Maillard entre le sucre et les protéines de l'œuf, procure son goût au produit ; l'utilisation des œufs en grande quantité est délicate du fait que les bactéries peuvent se développer considérablement une fois que la coquille est cassée.
- La farine de soja : un goût légèrement savoureux qui convient bien au perfectionnement de la qualité organoleptique des feuilles de gaufrettes ; par sa composition riche en matière grasse, la farine améliore la texture et favorise le décollement des feuilles au moule de cuisson.
- Les colorants alimentaires : habituellement le colorant caramel, donne une feuille de couleur brun foncé, ainsi une homogénéité de la feuille de gaufrette
- La poudre de cacao : octroie une saveur chocolatée aux gaufrettes, et augmente l'intensité de leur coloration.
- Les arômes alimentaires : souvent l'arôme de vanille, se marie bien avec la saveur des feuilles, mais divers arômes peuvent bien être utilisés pour une feuille spéciale.
- Le sel alimentaire : un exhausteur de goût, influe sur les papilles gustatives pour bien apprécier la dégustation des gaufrettes. [5] [10]

III.1.2. Procédés de fabrication des gaufrettes

Il existe deux catégories de gaufrette : les gaufrettes fourrées et les gaufrettes fourrées enrobées. Les principes de fabrications des deux produits ne sont pas différents, mais pour permettre l'enrobage, des étapes sont à ajouter dans la fabrication des gaufrettes fourrées.

Les deux diagrammes suivants décrivent l'enchaînement des procédés pour les deux produits :

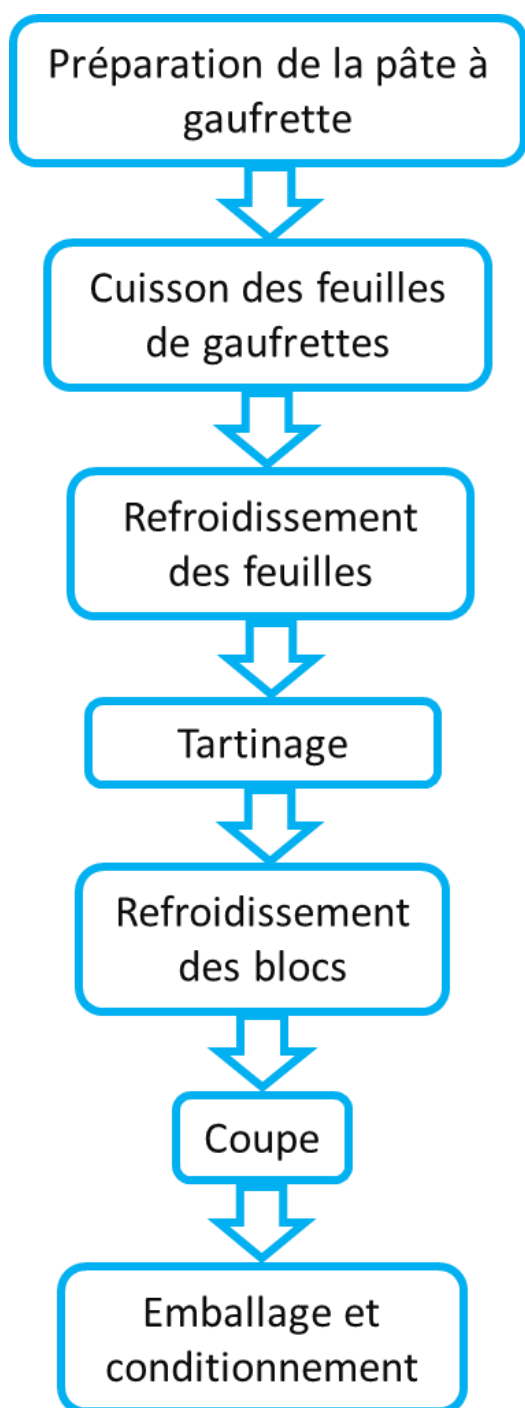


Figure 4 : Diagramme de fabrication des gaufrettes fourrées

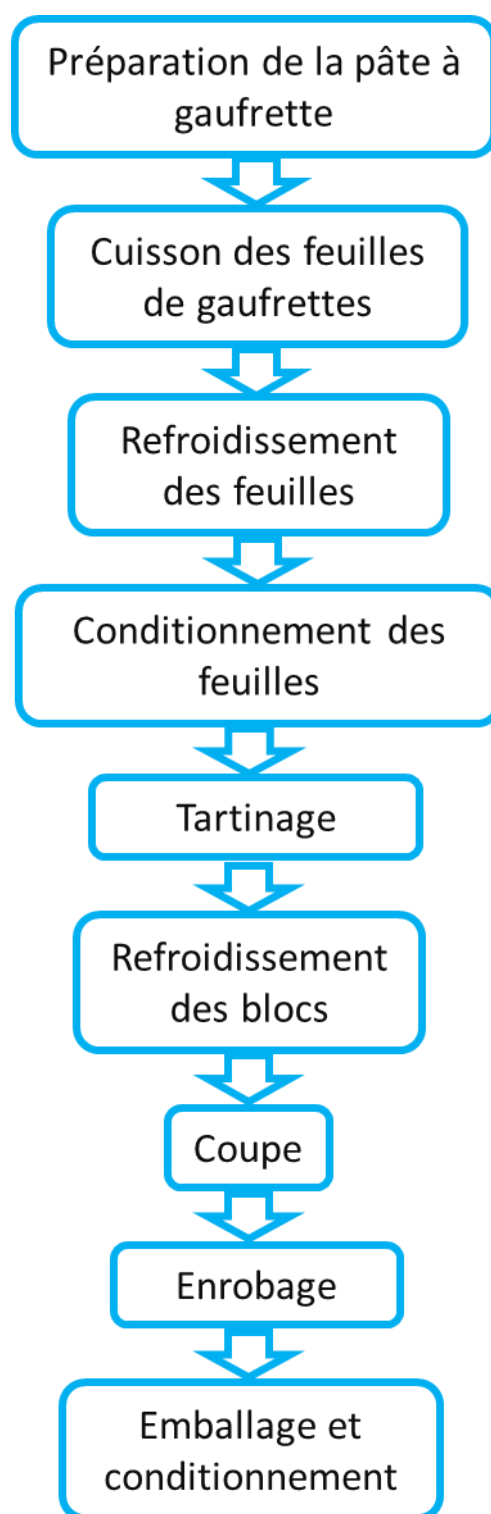


Figure 5 : Diagramme de fabrication des gaufrettes fourrées enrobées

III.1.2.1. Préparation de la pâte à gaufrette

La pâte à gaufrette se présente sous forme de liquide assez fluide. Sa préparation se fait dans un mélangeur.

La proportion des matières premières se répartit comme suit en se référant à la quantité de farine de blé utilisée.

Tableau 4: Proportion des matières premières pour la préparation des feuilles de gaufrettes [5]

MATIERES PREMIERES	QUANTITES (% farine de blé)
Farine de blé	100
Eau	125 – 155
Matière grasse	3
Lécithine	1
Sucre	3
Levure chimique	0,5
MBS	0,5
Matières optionnelles	Quantité variable

En premier lieu, l'eau est versée dans la cuve pour rincer les restes de pâte de la précédente préparation qui sont sur les parois. Après, les ingrédients à part la farine de blé y sont ajoutés. Le tout est bien mélangé pendant quelques temps jusqu'à homogénéisation de la solution. Enfin la farine de blé est versée et le mélange continue pendant une dizaine de minutes.

Une fois la pâte préparée, elle est filtrée à la sortie du mélangeur. L'objectif est d'empêcher les éventuels grumeaux bouchant la conduite de la tuyauterie qui transportera la pâte au four de cuisson. Puisque la cuisson de la pâte ne se fait pas d'un seul coup, elle est stockée dans une autre cuve où elle sera soutirée progressivement.

III.1.2.2. Cuisson des feuilles de gaufrettes

La première phase de la cuisson des feuilles passe par la déposition de la pâte sur le moule de cuisson. Elle se fait par versement de la pâte fluide prélevée alternativement de la cuve de stockage sur le plateau de cuisson.

Une fois la quantité de pâte nécessaire versée, le plateau se referme et le processus de cuisson de la feuille de gaufrette commence. La cuisson transforme la pâte en feuille comestible. La température pendant la cuisson engendre des réactions comme la dénaturation des protéines, la gélatinisation de l'amidon, l'expansion de la pâte par production et dilatation thermique de gaz, l'évaporation de l'eau, et la réaction de Maillard. La cuisson se termine par la réouverture du plateau. [5]

Le processus de cuisson se passe dans un four. Il existe divers modèles mais il est à noter que les fours pour la cuisson des biscuits et des gaufrettes sont très différents. Ceux des gaufrettes comportent des plateaux superposés qui servent de moules pour façonner les feuilles de gaufrettes. La température entre les plateaux est environ 170°C.

III.1.2.3. Refroidissement des feuilles de gaufrettes

Les feuilles de gaufrettes à la sortie des moules de cuisson sont très cassantes. Or, lors du tartinage de la crème sur les feuilles, des contraintes de pression sont exercées par le rouleau d'étalement pour qu'elle adhère bien. Les feuilles peuvent facilement se briser si juste à la sortie du four elles passent par la tartineuse. Par contre, une fois que la température des feuilles baisse, elles deviennent moins cassantes.

Habituellement, l'appareillage utilisé pour le refroidissement des feuilles est un élévateur ou refroidisseur en arc. Le principe est de faire emprunter aux feuilles un long chemin avant le tartinage des crèmes. Au fur et à mesure de son chemin, la température diminue progressivement.

Ce dispositif est utilisé surtout pour une économie d'espace. Au lieu d'accaparer une grande surface pour le refroidissement, la voie en hauteur est empruntée. La diminution de température n'est pas si grande donc, elle se fait à température ambiante.

III.1.2.4. Conditionnement des feuilles

Le conditionnement des feuilles est réservé pour les gaufrettes à enrober. Il permet d'augmenter l'humidité des feuilles et les rendre plus dures parce qu'elles étaient cassantes. Ce phénomène évite les fissures et ruptures pendant la couverture du chocolat.

III.1.2.5. Tartinage

Les produits fourrés peuvent être de la crème à base de matière grasse, de la confiture ou du chocolat. Pendant le tartinage, ils sont fluides pour faciliter leur étalement. Pour la crème, sa préparation se fait à la température de fonte de la matière grasse. Quant au chocolat, il est fondu.

En général, l'épaisseur du fourrage est environ de 3mm. Il est étalé sur les feuilles à l'aide d'un rouleau métallique. Ensuite, les feuilles sont entreposées les unes sur les autres en fonction du nombre de couches qui constituent la gaufrette. La couche supérieure n'est pas enduite de fourrage puisque ce dernier est toujours encadré par deux feuilles de gaufrettes. Enfin, un rouleau presseur comprime l'ensemble pour que le tout soit bien compact.

III.1.2.6. Refroidissement du bloc de gaufrette

Après le tartinage, la crème et le chocolat, fourrés, sont mous. Cet état ne convient pas à la découpe des gaufrettes puisque d'une part elles pourraient couler à l'extérieur de la gaufrette et d'autre part les feuilles pourraient glisser et la découpe serait inadéquate. Pour cela, les blocs de gaufrettes doivent être refroidis.

Le refroidissement se fait dans un réfrigérateur. La température est inférieure à 10°C pendant 5 minutes. La réfrigération accélère le refroidissement qui pourrait prendre plus de temps à température ambiante. La texture de la crème et du chocolat se solidifie et les gaufrettes deviennent plus soudées.

III.1.2.7. Coupe

En général, le découpage se fait en deux étapes : suivant la longueur et suivant la largeur du bloc de gaufrette. Les paramètres de mesure de coupe dépendent de la forme de gaufrettes souhaitée.

III.1.2.8. Enrobage

L'enrobage consiste à envelopper les gaufrettes d'une couche de chocolat. Pour cela, elles passent à travers une coulée de chocolat. Elles en sortent couvertes de chocolat. Pour rendre au chocolat sa forme solide, les gaufrettes enrobées parcourent un tunnel de refroidissement à une température environ de 4°C.

III.1.2.9. Emballage et conditionnement

Pour la conservation des produits avant la consommation qui peut prendre un long moment, il est important d'emballer le produit. Ceci permet de maintenir les qualités organoleptiques des gaufrettes. Du point de vue marketing, l'emballage comporte les informations sur le produit. Sa présentation influe sur l'attraction des consommateurs.

La première étape du conditionnement est le tri des gaufrettes non conformes. En général, elle se fait manuellement le long du transport des gaufrettes sur un long tapis vers les emballeuses. Après les gaufrettes sont présentées sur le chargeur de l'emballeuse qui groupe et enveloppe les gaufrettes dans les films plastiques de conditionnement. Enfin, le tout est emballé par groupe et mis en carton.

Il est recommandé de placer les produits dans un milieu sec et à l'abri des rayons solaires. L'humidité et la lumière sont les premiers facteurs qui nuisent à la qualité des gaufrettes tout comme pour les produits de la biscuiterie. [5]

En résumé, les figures suivantes permettent de représenter les procédés de fabrication des gaufrettes

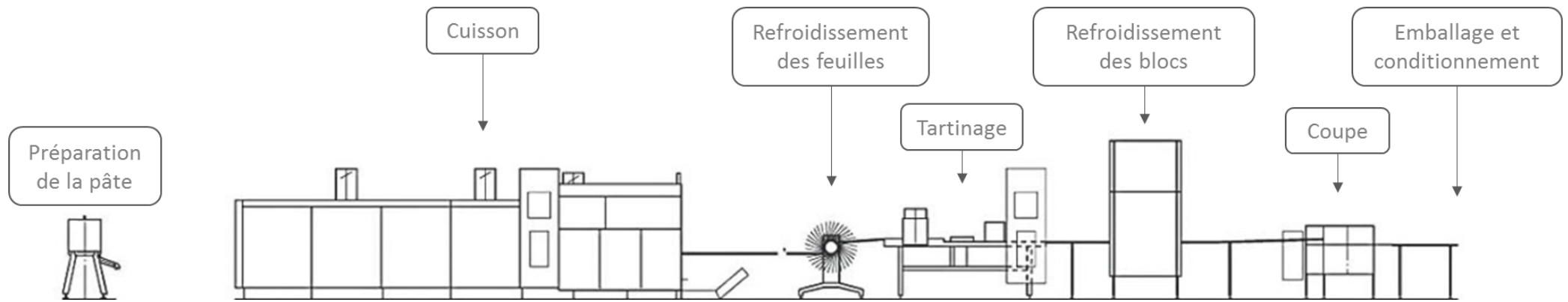


Figure 6 : Schéma simplifié de l'enchaînement des machines de fabrication des gaufrettes fourrées.

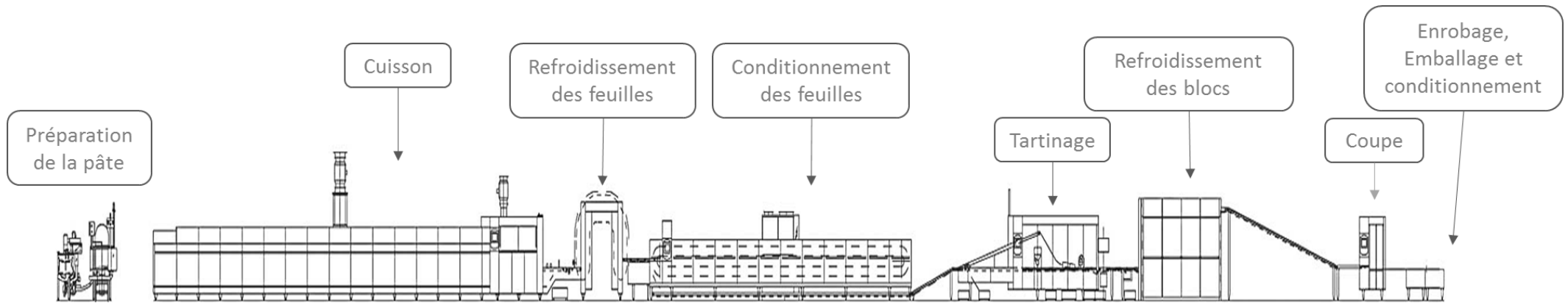


Figure 7 : Schéma simplifié de l'enchaînement des machines de fabrication des gaufrettes fourrées enrobées.

III.1.3. Déchets de la fabrication des gaufrettes

Dans l'industrie de fabrication de biscuit, il existe généralement deux types de déchets : les déchets films et les recyclables.

III.1.3.1. Les déchets films

Les déchets films proviennent du conditionnement des biscuits. Le film plastique est la matière destinée à l'emballage des gaufrettes. Divers cas peuvent engendrer la production des déchets :

Tableau 5 : Origine des déchets films pendant le conditionnement des gaufrettes

Source des déchets films	Anomalies observées
Problème sur les produits à emballer	Gaufrettes non conformes Nombre incomplet de produit dans les emballages
Problème sur les machines emballeuses	Scellage du film inadéquat Information sur la DLUO non affichée
Arrêt des machines	Produit en désordre ou non conforme Panne de la machine Attente de produit
Problème sur la manipulation des machines	Emplacement du film non aligné Remplacement de la bobine de film

III.1.3.2. Les recyclages

Le long de la ligne de production, il existe 3 types de recyclables : les boules gaufrettes, les feuilles gaufrettes non conformes, et les gaufrettes non conformes.

- Les boules gaufrettes :

Pour obtenir une feuille de gaufrette complète suivant le moule de cuisson, la pâte doit remplir toute la surface du plateau. Le garanti de ce remplissage oblige à ce que la quantité versée soit en excès par rapport au volume requis pour couvrir toute la surface du plateau. Le volume de la pâte en excès s'évacue hors du moule de cuisson par les extrémités à cause de la

pression exercée par les plateaux, l'entraînement par l'évacuation de la vapeur d'eau lors de la cuisson.

La pâte excédante reste rattachée à la pâte mère. Elle forme des boules à chaque orifice du moule de cuisson.

A la sortie des feuilles du moule après la cuisson, les déchets boules sont séparés des feuilles. Ils sont récupérés dans un récipient placé à la sortie du four.

- Les recyclables feuilles gaufrettes :

D'une part, une feuille de gaufrette est considérée comme recyclable si elle est cassée. En effet, une feuille de gaufrette encore chaude est fragile. Elle se brise facilement. D'autre part, elle est aussi inacceptable à la production de gaufrette, si elle ne convient pas à la norme proposée par le comité qualité. En général, le suivi de la norme se fait par la vérification de la couleur de la feuille et son opacité.

- Les recyclables gaufrettes :

Les recyclables gaufrettes peuvent se présenter dès le tartinage ou après le découpage.

Les déchets au tartinage se produisent parce que des anomalies se présentent pendant l'opération. Plusieurs cas peuvent se présenter mais tous conduisent à des feuilles de gaufrettes brisées. Elles peuvent être causées par la machine tartineuse ou la machine qui superpose automatiquement les feuilles en blocs.

Avant l'emballage, le tri permet de séparer :

- Les bonnes gaufrettes
- Les gaufrettes défectueuses,

Les causes des gaufrettes non conformes à l'emballage sont :

- Gaufrette cassée,
- Couches de gaufrettes non adhérees,
- Nombres de couches incomplets.

La figure suivante situe l'emplacement des sorties des déchets sur la production des gaufrettes

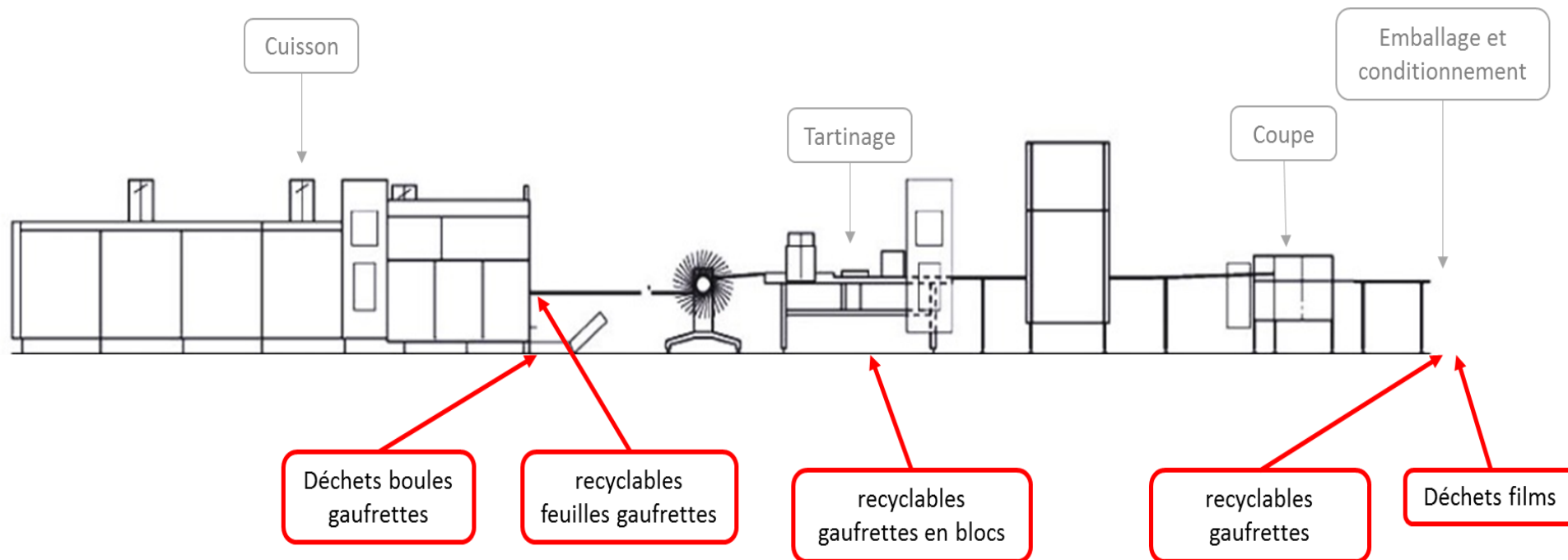


Figure 8 : Localisation des déchets dans la filière GAUFRETTE

III.2. Propriétés des déchets boules gaufrettes

Les déchets ont une forme de boule d'où leur appellation « déchets boules gaufrettes ». Leurs diamètres varient de 5mm à 15mm. Ils s'accrochent les uns aux autres pendant leur refroidissement. Ils se présentent donc sous forme d'agglomération de plusieurs boules qui peut peser jusqu'à 20kg.

III.2.1. Compositions chimiques

L'analyse au laboratoire de contrôle de la qualité des aliments et des eaux au Centre National de Recherches sur l'Environnement (C.N.R.E.) a permis d'obtenir les résultats suivants :

Tableau 6 : Compositions chimiques des boules gaufrettes

Composants	Quantité (%)
Humidité	32,09
Lipide	1,43
Protéine	7,20
Glucides	58,26
Cendre	1,02

Ainsi, la figure ci-dessous affiche le pourcentage massique de la composition chimique des boules gaufrettes :

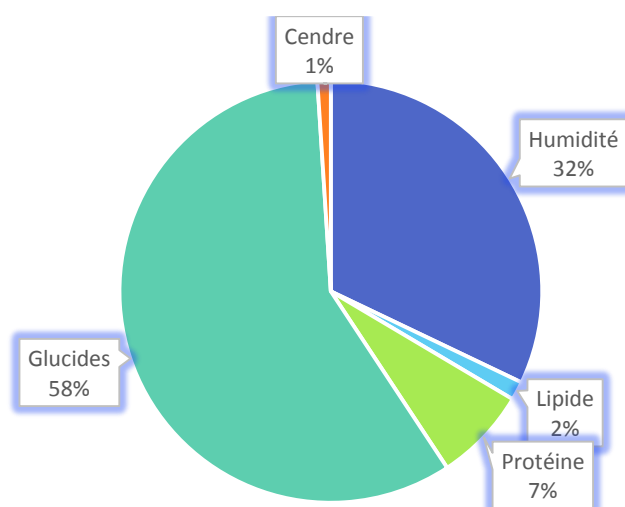


Figure 9 : Répartition de la composition chimique des boules gaufrettes

La valeur nutritive pour 100 g de boules gaufrettes vaut 274,71 kcal.

Les boules gaufrettes sont riches en humidité. L'humidité favorise le développement des microorganismes. Ce qui entraîne l'apparition de moisissures après 2 jours dans un récipient fermé ou un emballage plastique. En enlevant la proportion en humidité, on obtient la composition en matière sèche.

Tableau 7 : Composition en matière sèche des boules gaufrettes

Composants	Quantité (%)
Lipide	2,11
Protéine	10,60
Glucides	85,79
Cendre	1,50

La répartition de la composition en matière sèche des boules gaufrettes est montrée par la figure suivante :

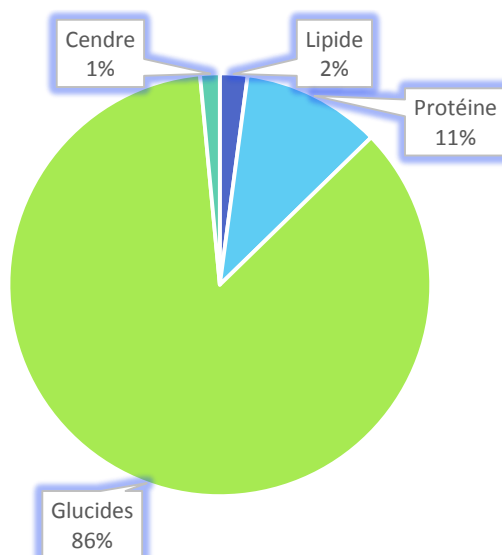


Figure 10 : Répartition de la composition en matière sèche des boules gaufrettes

III.2.2. Structures internes des boules gaufrettes

Les glucides et les protéines constituent la majorité de la composition chimique des boules gaufrettes. La difficulté de la valorisation des DB par rapport aux autres biscuits peut être déduite par la teneur en eau retenue par ces composants. Les réactions pendant la cuisson l'engendrent à cause du changement de la structure de ces glucides et protéines. Elles sont la dénaturation des protéines et la gélification de l'amidon. Notons que l'amidon constitue la majeure partie des glucides de ces boules gaufrettes.

II.2.2.1. Modification structurale des protéines

Les protéines sont des macromolécules formées par une longue chaîne d'acides aminés. Les acides aminés sont liés entre eux par des liaisons amides, appelées liaisons peptidiques, entre la fonction carboxyle d'un premier acide aminé et la fonction amine primaire d'un deuxième acide aminé.

Les protéines présentent quatre niveaux d'organisation :

- La structure primaire : séquence d'enchaînement linéaire des acides aminés, appelée « résidus d'acides aminés » ;
- La structure secondaire : chaîne d'acides aminés, provoquée par l'interaction de résidus d'acides aminés proches, stabilisée par des liaisons hydrogènes pour donner des arrangements en hélice, en feuillet, en tonneau, ou en coude observable à l'échelle atomique ;
- La structure tertiaire : organisation spatiale, à l'échelle moléculaire, suite à l'interaction entre résidus d'acides aminés éloignés ou des résidus déjà organisés en structures secondaires, stabilisée par le repliement de la molécule grâce à la formation d'un cœur hydrophobe, les liaisons hydrogènes, les ponts disulfures ;
- La structure quaternaire : assemblage de plusieurs molécules de protéines ; organisation spatiale, obtenue dans des conditions bien définies de la biosynthèse, spécifique à chaque type de protéines, nommée « conformation native ». [15]

Pendant la cuisson, la chaleur conduit à une agitation qui rompt les liaisons hydrogènes, les liaisons ioniques, et parfois les liaisons disulfures. La conformation native est fragile, et peut être modifiée. Les structures quaternaires puis tertiaires et enfin secondaires sont surtout atteintes. L'eau réagit avec les deux résidus d'acides aminés initialement impliqués par des liaisons hydrogènes et empêche la réassociation. La capacité de rétention d'eau augmente. Il peut se produire des désulfurations, mais souvent des ponts disulfures inter ou intramoléculaires se forment. La polymérisation résultante diminue la solubilité des protéines. C'est la dénaturation des protéines par la chaleur. [7]

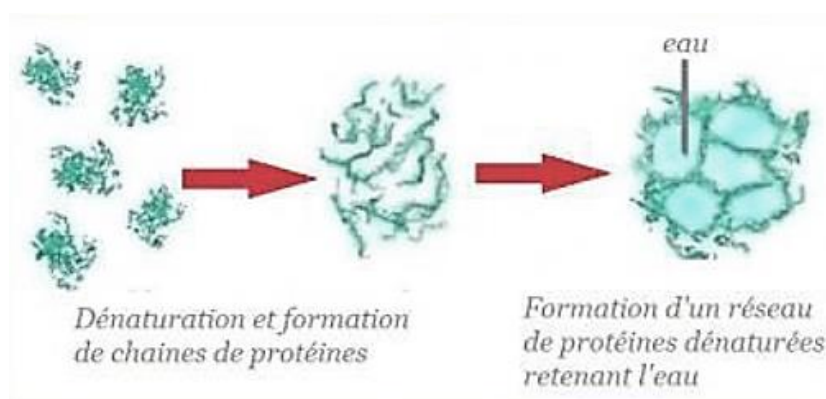


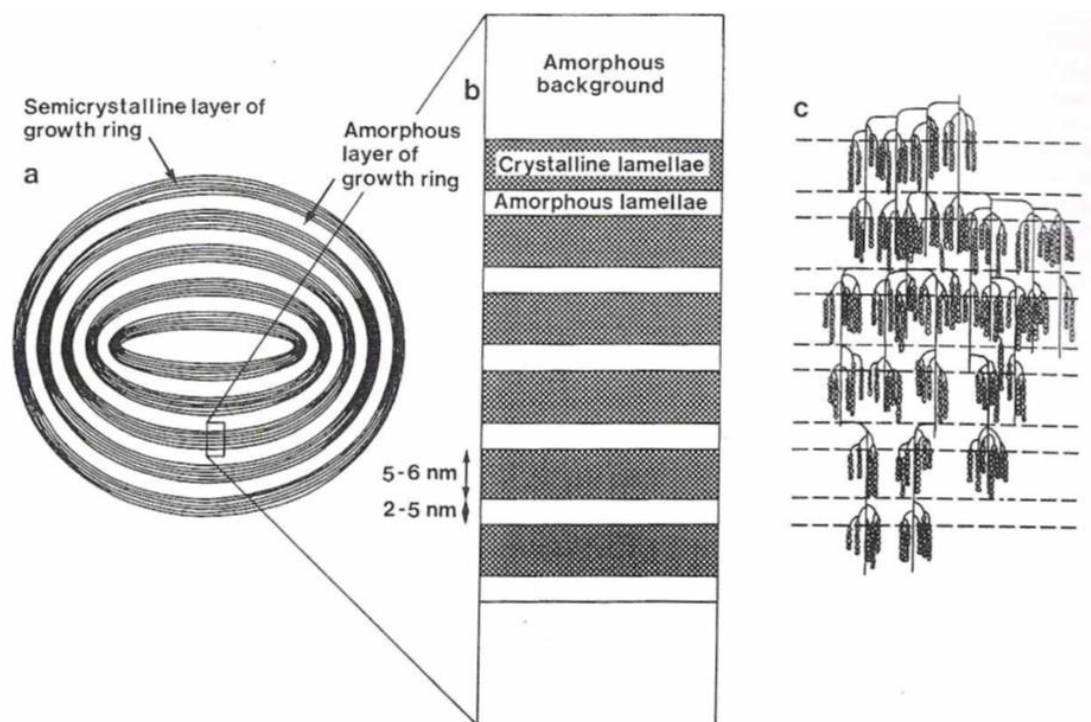
Figure 11 : Représentation schématique de la dénaturation des protéines

II.2.2.2. Modification structurale de l'amidon

L'amidon est un glucide complexe de la famille des polysaccharides. Ils sont formés de chaînes de D-glucose de formule chimique générale $(C_6H_{10}O_5)_n$. Les molécules sont liées par des liaisons α (1-4) pour l'enchaînement linéaire et des liaisons α (1-6) ou α (1-3) pour les ramifications.

Les glucides sont des hydrates de carbone, des polyalcools comportant une fonction aldéhyde ou cétone. Ils constituent un nutriment indispensable à la vie humaine car ils sont la base de notre énergie.

A l'état natif, le grain d'amidon se présente sous forme de granule semi-cristallin composé de zones cristallines et zones amorphes disposées en structure lamellaires concentriques. Les parties cristallines sont constituées de chaînes d'amylopectines organisées en double hélices. L'amylose et les points de ramifications des liaisons 1-6 des amylopectines forment les zones amorphes. [4]



a : granule d'amidon avec l'alternance des phases amorphes et semi-cristallines

b : aperçu sur les phases semi-cristallines

c : structure en pelote de l'amylopectine

Figure 12 : Représentation schématique de la structure de granule d'amidon [8]

Pendant la mouture de l'amande de blé lors de la fabrication de la farine, une partie des granules d'amidon subit un dommage mécanique comme des fissures ou des brisures. Elles augmentent le pouvoir d'absorption d'eau des farines.

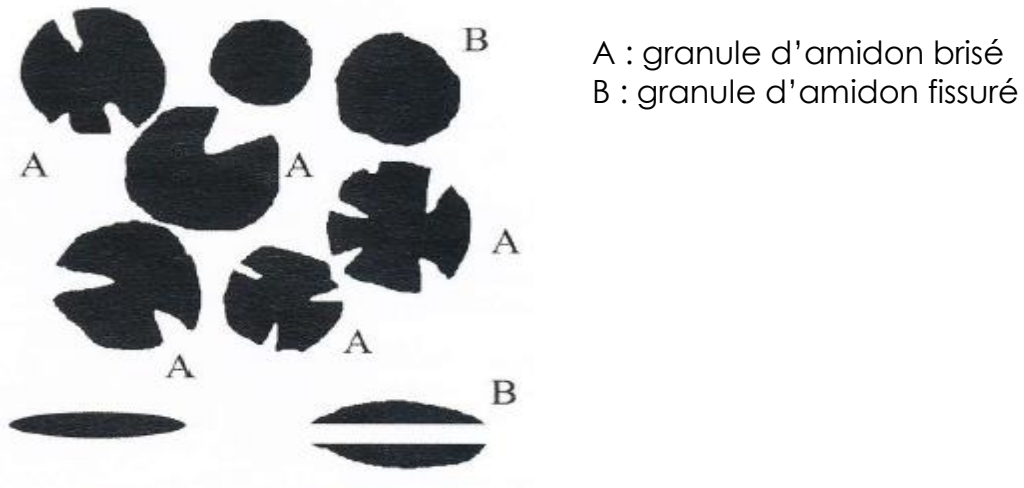
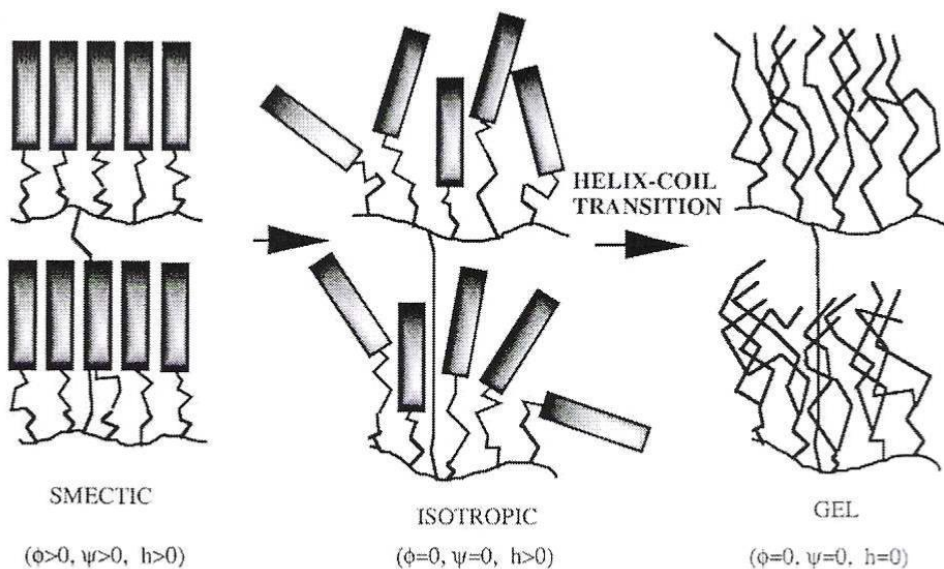


Figure 13 : Différents types d'endommagement des granules d'amidon

L'amidon se disperse dans l'eau et forme une solution colloïdale appelée empois d'amidon. Les grains absorbent l'eau et gonflent. La cuisson modifie la structure interne des granules d'amidon. Le phénomène de gélatinisation se produit. Il y a une augmentation de la viscosité et une modification de la texture de l'empois d'amidon. La phase cristalline perd son arrangement puis les brins d'amylopectine se dédoublent. La partie amorphe peu mobile et figée devient caoutchouteuse. En tout, les grains deviennent flexibles et certains éclatent et laissent diffuser l'amylose dans la solution. [11]



Φ : orientation radiale
 Ψ : existence de la structure lamellaire
h : hélicité des chaînes d'amylopectine

Figure 14 : Processus de la gélatinisation de la phase cristalline de l'amidon [13]

Au refroidissement, l'amylose dispersée dans le milieu forme un réseau et emprisonne l'eau et les granules éclatés. Après une longue durée de conservation, l'amylopectine recristallise. Ce phénomène s'appelle la rétrogradation. C'est la réorganisation de l'amylose et de l'amylopectine après la gélatinisation pour un nouvel équilibre structural.

II.2.2.3. Différence entre les feuilles de gaufrettes et les boules gaufrettes

Les boules gaufrettes sont les excès de pâte, qui débordent du plateau de cuisson des feuilles de gaufrettes, pour y garantir une dispersion complète de la pâte. La sortie de la pâte est provoquée par la pression due à l'évaporation de l'eau, la formation du gaz carbonique et l'expansion de la pâte entre les moules. Ainsi tout comme les feuilles de gaufrettes, les résidus de pâte qui forment les boules gaufrettes ont subi une augmentation de température. Même s'ils sont à l'extérieur du plateau, la température dans le four n'est pas néanmoins à négliger.

Les boules gaufrettes et les feuilles de gaufrettes subissent toutes les deux la dénaturation des protéines et la gélatinisation de l'amidon. Mais due à la différence de la température et de la pression à l'extérieur comme à l'intérieur du moule, l'humidité des deux produits se voit très différente. Les feuilles de gaufrettes sont considérées comme sèches à la sortie du four. Les boules gaufrettes sont constituées de 32% d'eau. En général, ces 32% d'eau sont retenus dans les liaisons de changement de structure des ingrédients. La présence importante de l'eau, dans l'empois d'amidon et des protéines dénaturées, provoque la texture caoutchouteuse des boules gaufrettes. Pendant la cuisson, les feuilles de gaufrettes ont évacué toute l'eau de la pâte y comprise celle entraînée dans des liaisons. Pendant l'évaporation de l'eau, la pâte devient aérée par les chemins des vapeurs d'eau et cette structure se fige après. La texture de la gaufrette devient cassante.

III.3. Estimation de pertes engendrées

III.3.1. Quantité de boules gaufrettes produites

Pour la société JB, pour une préparation de 120 kg de pâte destinée à la production de feuille de gaufrette, en moyenne, 6 kg de boules gaufrettes sont produits. Le potentiel de la société est de 64 préparations pour un jour. Dans un mois, elle peut arriver jusqu'à 1984 préparations. Mais pour des raisons d'arrêt de la production à cause des nettoyages des machines pendant les changements d'articles, la maintenance des machines, 1600 préparations sont effectuées.

Donc si pour une préparation, on obtient 6 kg de boules gaufrettes, pour 1600 préparations, on aura 9600 kg de boules gaufrettes en un mois. Pendant une année, la société peut donc avoir 115 200 kg ou 115,2 tonnes de boules gaufrettes. Pour l'année 2015, la masse totale de boules gaufrettes produites était de 97663,45 kg.

III.3.2. Détermination de la masse de la pâte à gaufrette perdue par la production de boules gaufrettes

III.3.2.1. Notion sur la perte au feu

La perte au feu est la perte de masse d'un produit pendant une augmentation de sa température. Des réactions chimiques et des changements à l'état gazeux se produisent :

- A 100°C : évaporation de l'eau,
- Vers 600°C : décomposition des substances organiques en dioxyde de carbone (CO₂) ou en graphite (C). [15]

Le pourcentage de la perte au feu se calcule par la formule :

$$perte\ au\ feu\ (\%) = \left(1 - \frac{m_f}{m_i} \right) \times 100$$

m_i : masse initiale

m_f : masse finale après chauffage

Ce phénomène se produit pendant la cuisson des feuilles de gaufrettes. La température ne dépasse pas les 170°C. La réaction susceptible de réduire la masse dans notre cas est donc l'évaporation de l'eau.

III.3.2.2. Calcul de valeur de la perte au feu pendant la préparation de la feuille de gaufrette

D'après les estimations, pour une feuille de gaufrette de 710 mm de longueur, 320 mm de largeur, et 3,4 mm d'épaisseur, pesant approximativement 105g, 275g de pâte sont utiles. La masse perdue pendant la cuisson pèse donc 170g. Elle se produit par évaporation d'eau, formation de dioxyde de carbone à partir des levures chimiques. Or, la masse des levures est minime, donc la production de gaz carbonique en est de même. En général, la masse d'eau évaporée est la plus considérée pendant le calcul de la perte au feu. [5]

$$perte\ au\ feu\ (\%) = \left(1 - \frac{m_f}{m_i} \right) \times 100$$

$$pour\ m_i = 275\ g$$

$$m_f = 105\ g$$

$$perte\ au\ feu\ (\%) = 61,82\ \%$$

La valeur de la perte au feu pendant la cuisson de la feuille de gaufrette est 61,82 %.

Une feuille de gaufrette est considérée comme sèche à la sortie du four. Puisque la perte au feu pendant la cuisson se présente sous forme d'évaporation de l'eau, la pâte liquide a donc évacué toute son eau pendant sa transformation en feuille de gaufrette. 61,82% peuvent être considérés comme la proportion en eau de la pâte.

III.3.2.3. Déduction de la pâte à gaufrette perdue par la production de boules gaufrettes

Les boules gaufrettes ont une humidité égale à 32,09 %. Les feuilles de gaufrette et les gaufrettes proviennent de la même pâte. La quantité de la perte au feu dans le cas des boules gaufrettes se déduit par soustraction entre la proportion en eau de la pâte avec l'humidité des boules gaufrettes. Elle vaut 29,73 %. En connaissant cette valeur ainsi que la masse finale de boules gaufrettes 6 kg, la masse initiale de la pâte peut être connue.

$$perte\ au\ feu\ (\%) = \left(1 - \frac{m_f}{m_i}\right) \times 100$$

$$\Rightarrow m_i = \frac{100 \cdot m_f}{100 - perte\ au\ feu\ (\%)}$$

$$pour\ m_f = 6\ kg$$

$$perte\ au\ feu\ (\%) = 29,73$$

$$\Rightarrow m_i = 8,54\ kg$$

Ainsi, pour 6 kg de boules gaufrettes, la masse initiale de la pâte avant la cuisson est de 8,54 kg. La masse de la pâte à gaufrettes perdue pendant la fabrication des feuilles de gaufrettes pour une préparation de 120 kg équivaut à 8,54 kg. En un mois, la société peut perdre 13 664 kg de pâte, et en une année 163 968 kg ou 163,968 tonnes.

CONCLUSION PARTIELLE

Cette première partie a permis de connaître le cadre général de l'étude afin de pouvoir envisager la valorisation des boules gaufrettes. Des études bibliographiques ont été menées sur les généralités à propos des charges et des biscuits, la technologie des gaufrettes. Il existe plusieurs catégories de charges utilisées dans divers domaines industriels. La production de biscuit en compte deux dans son rang : l'amidon et le recyclage des biscuits. La généralité sur les biscuits a déterminé son évolution dans le temps et a abouti sur une catégorisation vue la multitude des variétés. Le procédé de fabrication des gaufrettes est une technologie évoluée où tout est mécanisé, de la préparation des matières premières jusqu'à l'obtention des gaufrettes. La ligne de fabrication produit trois types de déchets : les déchets films, les recyclables gaufrettes, et les déchets boules gaufrettes.

L'analyse chimique des boules gaufrettes effectuée au laboratoire du CNRE a identifié les proportions des composants des boules gaufrettes. Quelques caractéristiques ont été déduites à partir de la composition des boules, en se référant aux recherches bibliographiques et à des analyses personnelles. Le calcul de la quantité de boules gaufrettes a donné la valeur de 115,2 tonnes par an de boules gaufrettes, soit de 164 tonnes de pâte à gaufrettes perdue.

DEUXIEME PARTIE :
ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre IV : PROCÉDES DE TRANSFORMATION DES BOULES GAUFRETTES EN POUDRE, AU LABORATOIRE

La difficulté de la valorisation des boules gaufrettes est sa manipulation. Par opposition au biscuit, elles ne peuvent pas être broyées ou dispersées dans l'eau. En effet, la valorisation des biscuits nécessite juste un broyage et puis une incorporation à la préparation des pâtes à biscuits. Les biscuits se ramollissent facilement aussi au contact de l'eau.

Les travaux pratiques ont été menés au sein du laboratoire de la R&D de la société JB.

IV.1. Objectifs et principes

Les travaux pratiques au laboratoire permettent d'étudier la faisabilité des procédés envisagés de la valorisation afin de prévoir l'extrapolation à une échelle plus grande. La quantité de produit engagé dans les essais étant minime, plusieurs possibilités peuvent être effectuées sans dépenser de grande ressource.

Dans leur état après la cuisson des feuilles, les boules gaufrettes ne sont pas utilisables. Elles sont insolubles dans l'eau, non miscibles dans la préparation de pâte à biscuit, non modelables, donc la réutilisation requiert un changement de forme. La forme de poudre a été envisagée pour faciliter la dispersion dans les préparations. La pulvérisation nécessite le broyage fin des boules gaufrettes. Pour cela, les boules gaufrettes, riches en humidité, molles et flexibles doivent être séchées pour devenir croquantes et broyables. Le processus général de transformation des boules gaufrettes peut être représenté par le diagramme suivant :

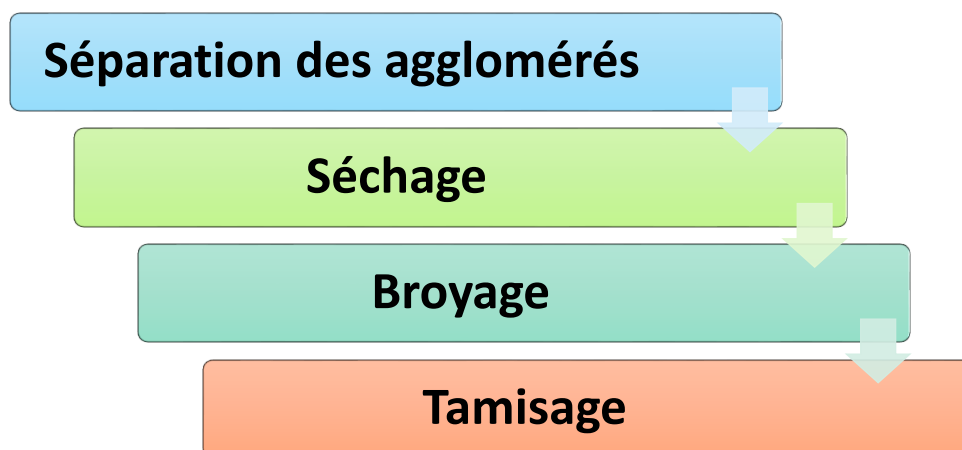


Figure 15 : Diagramme de la transformation des boules gaufrettes en poudre

IV.2. Matériels et méthode

IV.2.1. Séparation des agglomérés

A l'origine, les boules gaufrettes sont individuelles. Pendant le refroidissement au stockage, elles se collent les unes aux autres. L'agglomération est une barrière au séchage. Elle diminue la surface de l'interface entre les boules gaufrettes et l'environnement. Le temps de séchage est inversement proportionnel à cette surface. Ainsi, pour une surface spécifique minimale, le temps de séchage dure plus longtemps. Seule la surface externe de l'agglomération sèche tandis que l'intérieur garde son humidité. Une décomposition thermique peut se produire alors qu'au cœur du groupement, les boules gaufrettes restent riches en humidité. La séparation individuelle favorise l'augmentation de la surface afin de réduire le temps de séchage.

IV.2.1.1. Appareillage

L'appareillage permettant de séparer les boules gaufrettes est un batteur-mélangeur. Cet appareil, disponible au laboratoire, a un volume de 10 litres. Il est équipé d'une cuve en inox de 26,5 cm de diamètre et 22 cm de profondeur. On peut utiliser 3 types de pâle : le croc à pâte, la palette, et le fouet. Celui qui convient à la séparation des agglomérations est la palette. La vitesse de rotation est variable : 110 / 178 / 355 tours minutes. La rotation des pâles est provoquée par un moteur alimenté électriquement par un courant alternatif de 220 V, et de fréquence 50 Hz monophasé.



Figure 16 : Mélangeur-batteur ou pétrin de 10 L du laboratoire de R&D

La rotation de palette entraîne les boules gaufrettes. Leur frottement à la paroi de la cuve crée une résistance à la rotation. Les deux forces s'opposent et créent un étirement au sein de l'agglomération et chaque boule gaufrette se sépare les unes des autres.

IV.2.1.2. Influence du temps de repos

Pendant la première heure après sa formation, les boules gaufrettes sont collantes entre elles, caractère de la gélatinisation de l'amidon. La cristallisation pendant le phénomène de rétrogradation est encore en cours. On peut encore observer un fluide laiteux et visqueux lorsque les boules sont pressées. Elles peuvent être qualifiées de « fraîches ». Leur séparation dans le mélangeur ne peut s'effectuer. Une agglomération allant de deux jusqu'à une dizaine de boules peut exister. La séparation des boules gaufrettes requiert un temps de repos afin de stabiliser les effets dus à la gélatinisation. Ce temps dure au moins une heure pour les échantillons de 250g prélevés. Après, la séparation se fait correctement, plus ou moins facilement.

IV.2.1.3. Paramètres à respecter

La masse de boules gaufrettes à séparer est de 200 g. Cette valeur n'est pas la capacité maximale du mélangeur, mais lors du séchage, il y a superposition des produits sur le plateau pour une quantité plus élevée. La séparation dure 3 minutes dans le pétrin à une vitesse moyenne, c'est-à-dire la valeur « 2 » indiquée sur la manette de l'appareil.

IV.2.2. Séchage des boules gaufrettes

Le séchage est un traitement dont le but est l'élimination de l'humidité dans une matière, en totalité ou en partie. La matière se dit sèche même si elle contient encore une valeur de l'humidité minimale. Dans le cas des boules gaufrettes, l'eau est la plus considérée.

Il existe trois possibilités de la présence de l'eau dans un solide : en surface, dans les pores ou capillarités, ou dans les structures moléculaires. Dans les boules gaufrettes, elle peut se trouver sous les deux premières formes mais la plupart se situe dans les structures moléculaires de l'amidon gélatinisé ou les protéines dénaturées.

Deux techniques permettent l'élimination de l'eau dans un solide :

- mécanique : pressage, égouttage, essorage centrifuge,
- thermique : séchage à l'étuve, au four, à l'air libre,...

Le traitement mécanique traite surtout l'eau en surface et dans les pores. Il ne convient pas pour les boules gaufrettes. Le traitement thermique répond à l'attente qui peut éliminer toute l'humidité contenue dans les boules gaufrettes.

Le phénomène de séchage ne traite que les liaisons dites faibles de l'eau sur la matière sans décomposition du produit par rupture de liaison covalente de type $-H$ et $-OH$ pour former de la vapeur d'eau. La limite de processus est le début de la décomposition thermique du produit au cours du séchage, comme les réactions de Maillard qui contribuent à la coloration légèrement brunâtre du produit.

IV.2.2.1. Principe d'évaporation de l'eau

L'eau exerce une pression, dite pression de vapeur d'eau, pour toute température. Elle atteint sa température d'ébullition quand cette pression de vapeur équivaut à la pression ambiante. La courbe suivante montre la relation entre la température et la pression lors du changement d'état de l'eau :

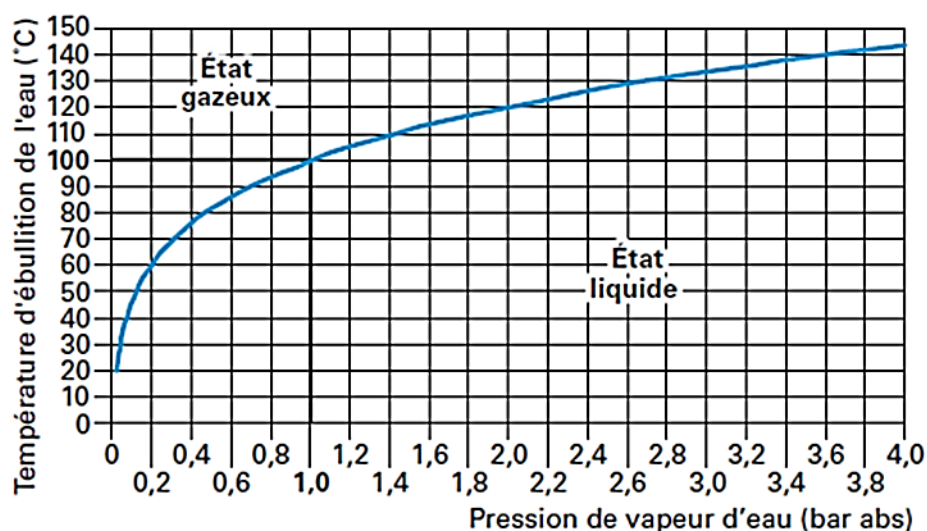


Figure 17: Courbe de la température en fonction de la pression de changement de l'état liquide à l'état gazeux

Le séchage des boules gaufrettes s'effectue avec évaporation de l'eau par augmentation de leur température. En considérant la pression atmosphérique qui est la pression minimale dans les boules gaufrettes, la température de séchage minimale est donc 100°C. [14]

IV.2.2.2. Mode opératoire du séchage

L'appareillage utilisé pour le séchage est un four à pâtisserie. Il a un volume de 15 litres. Il est ventilé pour favoriser la circulation d'air chaud à l'intérieur du four. La température maximale du four peut atteindre 250°C. Le four est doté d'un système de minuteur pour paramétrer le temps de marche de la machine. C'est un four électrique, alimenté par un courant alternatif de 220 V, et de fréquence 50 Hz monophasé.



Figure 18 : Four à pâtisserie du Laboratoire de R&D

Le four est préalablement chauffé à la température de séchage souhaitée. La température choisie pendant les expériences varie de 100° à 180°C. Un plateau sert à déposer et à éparpiller les boules gaufrettes sur sa surface. Une fois la température atteinte, le plateau est inséré dans le four. Le temps de séchage dépend de la température dans le four. Ceci dure entre 7 à 37 minutes selon le cas.

Tableau 8 : Relation entre la température et la durée de séchage des boules gaufrettes

Température du four	Temps de séchage [minute]
100 °C	37
110 °C	30
120 °C	25
130 °C	19
140 °C	15
150 °C	12
180 °C	7

Après, les boules gaufrettes sèches sont refroidies à l'air libre et emballées dans des sachets plastiques en attente du broyage.

IV.2.3. Broyage et tamisage

Le broyage divise un solide pour augmenter sa surface spécifique et sa réactivité. Il rend possible l'incorporation par dispersion des boules gaufrettes dans les préparations de biscuits. Le tamisage permet de séparer les poudres fines des plus grandes granulométries. Ces dernières repassent dans le broyeur avec le lot de boules gaufrettes à broyer ultérieurement.

IV.2.3.1. Broyage

Le broyage se fait en deux étapes : concassage, puis broyage. La première étape consiste à casser les boules gaufrettes. En effet, en les broyant directement, les boules gaufrettes pourraient endommager l'appareil du fait de leur projection sur la paroi du broyeur. Le concassage se fait manuellement à l'aide d'un mortier et d'un pilon.

La deuxième étape du broyage est faite à l'aide d'un mixeur-broyeur. Il est constitué de deux parties : la cuve de broyage et le moteur. La cuve est en acier inoxydable de volume 1 litre munie de deux lames, placées au fond et reliées au moteur, pour le broyage. Elle est fermée par un couvercle pour empêcher la sortie du produit pendant l'opération de broyage. Le moteur entraîne la rotation des lames. Il est alimenté par un courant alternatif de 220 V, 50 Hz monophasé.

La masse de boules gaufrettes concassée introduite dans la cuve pèse 50 g. Le temps de broyage dure 10 secondes et est réitéré 5 fois pour un lot. Ce procédé alterné est imposé par le mode d'emploi du broyeur.

IV.2.3.2. Tamisage

Le tamisage, une opération unitaire, permet la séparation solide-solide suivant la granulométrie. Habituellement, l'outil utilisé est un tamis où la granulométrie des grains séparés est bien décrite. A défaut, une passoire ronde, en plastique et maille en nylon, dotée d'un manche peut le remplacer. La dimension des mailles mesure 1 mm. Le diamètre des mailles de la passoire est encore assez grand. Les poudres tamisées sont conservées dans un récipient ou emballage. Celles retenues par les mailles sont broyées avec le lot suivant.

IV.3. Résultats et discussions

IV.3.1. Effet de la température sur le temps de séchage

Le tableau suivant récapitule les opérations de séchage en fonction de la température et du temps de séchage.

Tableau 9: Résultats des opérations de séchage des boules gaufrettes

Température de four [°C]	Masse initiale [g]	Masse finale [g]	Temps de séchage [min]	Humidité évaporée [%]
180	200,30	137,45	7	31,38
	200,75	136,39	7	32,06
	100,03	68,25	7	31,77
150	200,04	144,63	12	27,70
140	200,11	144,85	15	27,61
120	200,4	143,25	25	28,52
110	200,20	140,79	30	31,67
	200,41	147,74	30	26,28
	200,20	146,35	30	26,90
100	98,20	67,24	37	31,53
	200,13	137,74	37	31,17
	204,40	150,90	35	26,17
	204,61	146,96	35	26,74

Logiquement, plus la température s'élève, plus le temps de séchage diminue. Le choix des températures réside dans la capacité du four à utiliser pour les procédés de transformation à grande échelle. En effet, il existe deux possibilités pour le séchage des boules gaufrettes industriellement :

- les fours de cuisson des biscuits,
- un séchoir pour réduire l'humidité de certains produits.

180°C est la température pour la cuisson des biscuits. 110° et 100°C sont les capacités du séchoir.

Le temps de séchage peut durer jusqu'à 37 minutes. Pourtant la masse d'eau éliminée n'est que 70 g au maximum. Ceci justifie que l'eau dans les boules gaufrettes ne se situe pas simplement en surface ou dans les pores. Elle est liée dans les structures des molécules qui constituent les boules gaufrettes comme l'amidon gélatinisé ou les protéines dénaturées. Le travail d'évaporation de l'eau nécessite une quantité d'énergie pour augmenter la température non seulement de l'eau mais de tout l'ensemble, de la surface jusqu'au cœur des boules gaufrettes. Ce phénomène de séchage s'accompagne d'un changement d'état caoutchouteux à un état rigide des boules gaufrettes, qui les rend possibles à broyer.

Initialement l'humidité des boules gaufrettes était environ de 32%. Celle évaporée pendant l'opération équivaut à 26 – 32%. Il en reste donc moins de 6% quand les boules gaufrettes sont considérées comme sèches et broyables. Pour une valeur supérieure, la majorité des boules gaufrettes peuvent être broyées mais il se trouve que, quelques-unes résistent au broyage au mortier et ne se cassent pas. Il a été donc considéré une valeur de l'humidité où la totalité des boules gaufrettes peut être broyée, d'où la valeur 6%.

IV.3.2. Comparaison organoleptique des poudres de gaufrettes avec les autres charges

Dans les gaufrettes, ce sont les crèmes de fourrages qui définissent la saveur souhaitée. Donc afin de les mettre en valeur, la qualité organoleptique du support, c'est-à-dire des feuilles de gaufrettes, est préparée pour être neutre :

- goût : fade, légèrement sucré,
- odeur : sans arôme, inodore,...

Puisque les boules gaufrettes dérivent de la fabrication des feuilles, elles se ressemblent.

Par rapport aux biscuits pulvérisés pour être utilisés comme charge, elles ont moins de saveur. Par rapport à l'amidon, elles n'apportent pas une amélioration sur la texture du produit final.

Chapitre V : EXTRAPOLATION DE LA TRANSFORMATION A L'ECHELLE INDUSTRIELLE SUIVANT LES MACHINES DISPONIBLES

V.1. Collecte des boules gaufrettes

La formation des boules gaufrettes s'opère pendant la phase de cuisson des feuilles de gaufrettes. Un dispositif sert de racleur pour enlever les boules gaufrettes sur les extrémités des feuilles. Ainsi, elles tombent au fond du four. Un autre racleur regroupe toutes les boules gaufrettes tombées le long du fond du four, et les dépose dans un récipient à la sortie du four. Quand ce récipient est plein, les boules gaufrettes sont mises dans des sacs.

Cependant, il existe deux types de boules gaufrettes : les boules gaufrettes normales et celle calcinées. Le principal facteur est un temps prolongé dans le four. Certaines boules gaufrettes s'attachent au plateau de cuisson où règne une température élevée environnant la température de cuisson des feuilles à 170°C. Elles restent donc une dizaine de minute dans le four. Ceci conduit à leur déshydratation complète suivie de la décomposition thermique des molécules organiques. C'est pourquoi, les boules gaufrettes noircissent. Elles tombent au fond du four et se mélangent avec les autres boules gaufrettes.

Ces boules gaufrettes brûlées ne peuvent être valorisées dans l'alimentation. La consommation des produits carbonisés nuit à la santé, de plus elles ont un goût amer. Il est indispensable de les séparer avant la transformation des boules gaufrettes.

Normalement, les boules gaufrettes, non brûlées, sont celles séparées des feuilles de gaufrettes à la sortie du four. Celles carbonisées sont celles accrochées au moule de cuisson et ont demeuré pendant plusieurs minutes dans le four avant de tomber au fond du four. Leur séparation reste difficile. Les boules gaufrettes noircies sont dispersées dans les boules normales. Pendant leur refroidissement, les boules gaufrettes se collent entre elles. Celles noircies sont aussi retenues dans l'agglomération.

Pour éviter le mélange, les boules gaufrettes normales, séparées des feuilles à la sortie du four, ne doivent pas échouer au fond du four. Ainsi, le système de racleur, qui nettoie tout le fond du four des boules gaufrettes noircies et les débris de feuilles, ne les associe pas ensemble. Une barrière peut être placée en-dessous du séparateur des boules gaufrettes des feuilles pour les orienter directement dans un récipient. Une plaque métallique pourrait y palier.

V.2. Séparation des agglomérats

Comme démontré dans les travaux pratiques au laboratoire, étant groupé, le séchage des boules gaufrettes demeure difficile. Une unité d'agglomération pèse jusqu'à 20 kg. La séparation se passe toujours dans un mélangeur.

V.2.1. Description de l'appareil de séparation

La rotation de la palette d'un batteur mélangeur permet de créer des contraintes au sein des agglomérations afin de les disperser. L'appareillage disponible est un pétrin de 40 litres capable de contenir aussi jusqu'à 20 kg de boules gaufrettes. Comme pour le mélangeur au laboratoire, 3 catégories de vitesse modulent la rotation de la palette : une vitesse lente de 95 tours minute, une vitesse moyenne de 175 tours minute, et une vitesse rapide de 320 tours minute. Il existe trois types de pale : une palette, un crochet et un fouet. Il s'alimente à l'électricité.



Figure 19 : Batteur mélangeur de 40 L

V.2.2. Manipulation et résultats

Un temps de repos est toujours indispensable avant d'effectuer la séparation. Il dure plus longtemps dans l'extrapolation. L'agglomération est plus grande, donc l'aire de l'interface du produit avec l'environnement diminue. Les boules gaufrettes mettent du temps à refroidir, et le temps de rétrogradation après la gélatinisation de l'amidon augmente.

Tableau 10 : Opération de séparation des boules gaufrettes accolées

Temps de repos [h]	Masse à séparer [kg]	Vitesse de rotation de la palette	Temps de séparation [min]	Résultats
3	15	Moyen	-	Débordement des DB hors de la cuve
3	15	Lente	4	Existence de DB accolés
4	20	Lente	-	Débordement des DB hors de la cuve
4	15	Lente	4	Existence de DB accolés
6	15	Lente	3	DB séparés
8	15	Lente	3	DB séparés
10	15	Lente	3	DB séparés
12	15	Lente	3	DB séparés
12	10	Lente	2,5	DB séparés

DB : déchets boules gaufrettes

D'après les expériences, même après 3h de repos, il existe encore des groupements de boules gaufrettes après la séparation. Le temps requis va jusqu'à plus de 6h de repos. La production de boules gaufrettes est continue, mais le temps de repos est compté à partir de la mise en emballage quand le récipient dépôt est rempli.

La vitesse de rotation lente convient le mieux à la manipulation du batteur. Les vitesses supérieures provoquent le débordement des boules à l'extérieur de la cuve. La masse requise est inférieure ou égale à 15 kg. Pour une masse de plus de 15 kg, une sortie importante des boules gaufrettes se remarque surtout lors du démarrage. Le temps de séparation dure environ 3 minutes.

V.2.3. Amélioration du batteur

Pendant le commencement de l'opération, quelques boules gaufrettes sont projetées à l'extérieur de la cuve. Ceci produit une perte et une pollution par éparpillement de boules gaufrettes sur le lieu de travail. Pour y remédier, une barrière peut éventuellement être mise au-dessus de la cuve. Le modèle peut être inspiré du mélangeur batteur au laboratoire. La présence de cette barrière empêchera la sortie des boules gaufrettes. La quantité inférieure ou égale à 15 kg requise pourrait aussi être augmentée de quelques kilogrammes en considérant la capacité du batteur.

V.3. Séchage

La procédure de séchage élimine l'humidité, dans la structure des boules gaufrettes, qui empêche leur pulvérisation. Deux possibilités d'appareillage existent : le four de cuisson des biscuits ou le séchoir des articles extrudés. L'utilisation du premier implique l'arrêt de la production engendrant une très grande perte pour la société du point de vue économique. Par contre pour l'instant, la production des articles extrudés est alternée, d'où la possibilité de faire des essais pendant les temps d'arrêts et ainsi envisager l'organisation entre la valorisation et la production des biscuits.

V.3.1. Description du séchoir

Le séchoir utilisé est une étuve de séchage de produit alimentaire. Il comporte 3 couches de tapis métallique en mouvement entraînées par la rotation de rouleaux pour permettre un procédé continu. Le temps de séchage est donc en fonction de la vitesse de mouvement des tapis. La surface totale de séchage, fournie par les tapis, est 12 m². L'entrée des produits à sécher se situe à l'étage supérieur et la sortie des produits secs à l'étage inférieur. Des tubes en acier, placés en dessous des tapis, conduisent de l'air chaud qui accroît la température du compartiment. Un moteur à combustion, alimenté par un gaz combustible, réchauffe le courant d'air chaud qui sillonne les tubes. La température dans le sécheur est modulable selon le flux d'alimentation du moteur en combustible. Elle varie entre 20°C à 150°C. Le séchoir utilise en même temps l'électricité et le gaz. L'électricité sert à alimenter le fonctionnement en général de la machine. Le gaz est destiné pour la combustion.



Figure 20 : Séchoir à bande continue des produits alimentaires

IV.3.2. Manipulation du séchoir

Le débit d'entrée de boules gaufrettes est de 3 kg par minute. Le temps et la température de séchage des boules gaufrettes sont trouvés dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Paramètre de séchage des boules gaufrettes

Température [°C]	Température réelle [°C]	Vitesse	Durée de séchage [min]	Possibilité de broyage
100	96 - 101	F 11,5	39	-
110	105 – 117	F 11,5	39	-
120	115 – 123	F 11,5	39	+

La possibilité de broyage se détermine par la réalisation du broyage de quelques échantillons au mortier. De plus, la limite entre la déshydratation et la décomposition thermiques des produits organiques commence par la coloration brunâtre provoquée par la caramélisation des glucoses ou la réaction de Maillard. Bien que cette limite soit assez floue théoriquement, le commencement de ces réactions indique néanmoins un faible taux d'humidité des boules gaufrettes donc l'opération de broyage peut s'effectuer.

Le résultat des deux premiers essais ne remplit les conditions énumérées. Dans le troisième essai, une coloration brunâtre est remarquée en comparaison au produit de départ. De plus, le broyage au mortier est possible.

V.4. Broyage

Le broyeur capable de pulvériser les boules gaufrettes est un broyeur à marteau. Dans l'industrie, il est utilisé pour réduire les sucres en fine poudre. C'est un broyeur robuste, il n'aura aucun mal pour pulvériser les boules gaufrettes. Avec ce type d'appareillage, les problèmes sur la granulométrie des poudres gaufrettes disparaissent. La capacité des broyeurs au laboratoire qui est un broyeur à couteau n'est pas le même que le broyeur à marteau.



Figure 21 : Broyeur à marteau

C'est un broyeur à marteau en acier avec un tamis de calibrage pour paramétrer la granulométrie des poudres. Il est adapté au broyage des cristaux de sucre, du café, des céréales et des épices. Le broyeur peut réduire les cristaux de sucre jusqu'à 50 μm . Il peut bien microniser les boules gaufrettes sèches pour obtenir une poudre impalpable. Sa capacité de production est de 210 kg/h.

Chapitre VI : ESSAI D'INCORPORATION DE LA POUDRE DE BOULES GAUFRETTES DANS LES PREPARATIONS DE BISCUITS

Les études des utilisations de la poudre de boules gaufrettes comme charge dans les préparations des biscuits, ont été menées au Laboratoire de R&D de la société JB. Les objectifs sont :

- d'appliquer les procédés déjà définis pour les fabrications des biscuits en utilisant les poudres de gaufrettes,
- d'apporter des améliorations, si les procédés sont inadéquats à leur utilisation,
- de comparer les résultats obtenus par rapport aux procédés standards,
- de trouver une proportion où l'utilisation de la poudre de boules gaufrettes ne serait pas remarquable sur le plan organoleptique.

Les outils de comparaison se portent sur la différence pendant les étapes de préparation des produits et puis sur la texture des produits finaux. Les appréciations sur le goût, en vue de la modification des proportions en matière première, ne seront pas traitées dans cette étude.

Les articles, qui conviennent aux propriétés de la poudre de boules gaufrettes, sont les biscuits enrobés et les sablés. Les autres articles, tels que les petits beurres, les crackers, sont inadéquats parce que la poudre de boules gaufrettes est caractérisée par une texture granulaire à la dégustation. Pourtant, les petits beurres et les crackers sont réputés pour être craquants puis fondants. L'étude sur plusieurs types d'articles multiplie les possibilités sur les valorisations des poudres de biscuits dans le secteur de la biscuiterie.

VI.1. Essai sur les biscuits enrobés

Un biscuit enrobé se compose de biscuits et d'une couverture habituellement en chocolat. Les biscuits peuvent être fourrés à la crème. L'utilisation des poudres de boules gaufrettes s'orientera en premier lieu sur la fabrication de l'enrobage, puis en deuxième lieu sur le biscuit.

VI.1.1. Chocolat d'enrobage

Le chocolat d'enrobage est la couverture qui fait le délice des produits enrobés. Il existe deux possibilités : soit du vrai chocolat, soit à partir de cacao en poudre. La première alternative est assez coûteuse par rapport au second. Souhaitant vendre un produit à la portée du pouvoir d'achat de la société malgasy, la société JB opte pour la transformation du cacao en poudre en chocolat pour l'enrobage.

VI.1.1.1. Procédés de fabrication du chocolat

Les matières premières nécessaires sont décrites dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Proportion des matières premières pour la préparation du chocolat d'enrobage

Matières premières	Masse [g]
Matière grasse	31
Charge épaississante	18
Cacao en poudre	4
Sucre	19
Arôme	0,05
Sel alimentaire	0,05
Emulsifiant	1
Recyclable biscuit	30

Les étapes du processus fabrication se passent dans un bain-marie permettant la fonte de la matière grasse et aussi l'incorporation des matières premières. Elles se déroulent comme le diagramme suivant le montre :

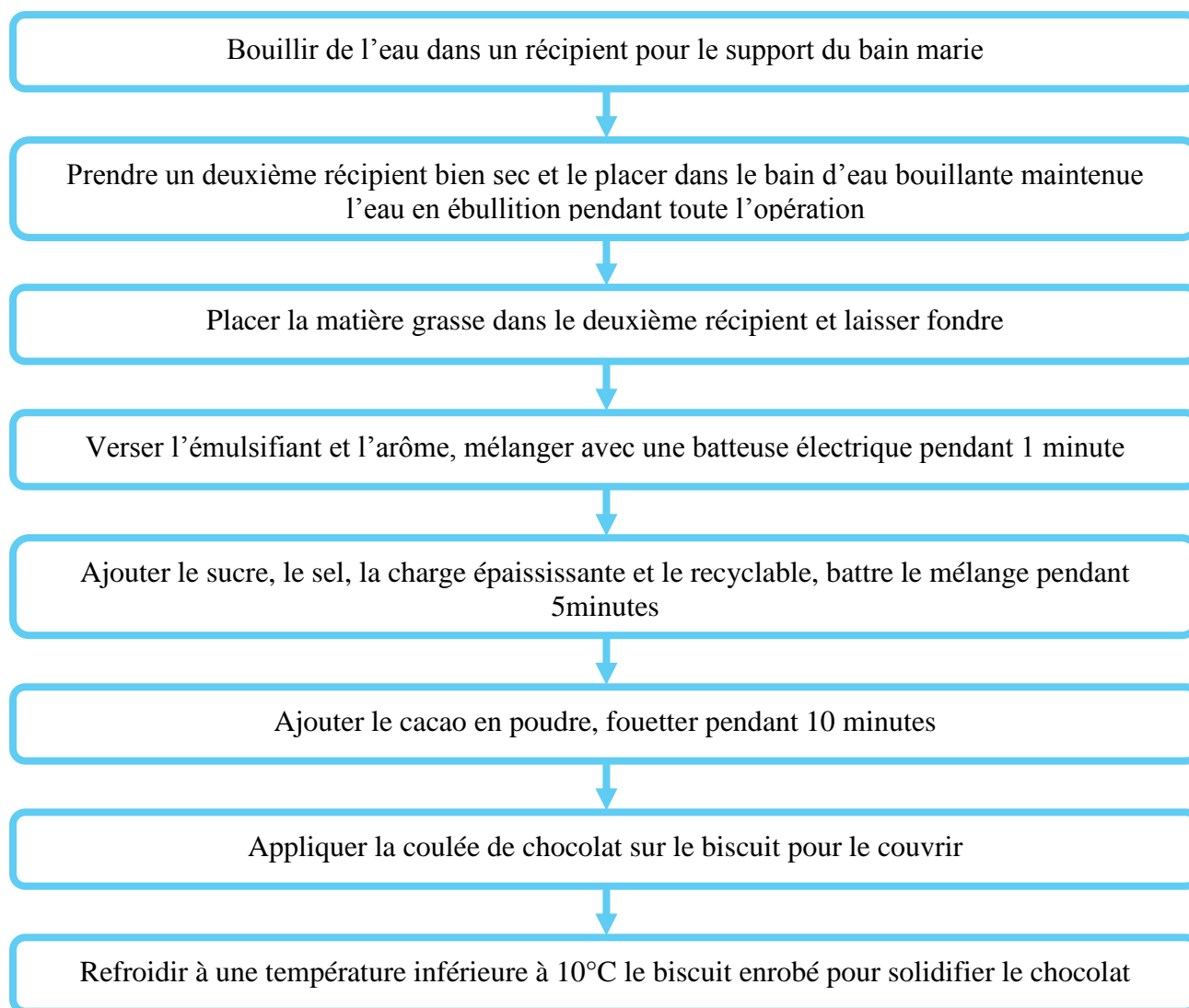


Figure 22 : Organigramme de la préparation du chocolat d'enrobage

VI.1.1.2. Utilisations de la poudre de boules gaufrettes dans la recette de chocolat d'enrobage

Le principe de l'utilisation des poudres de boules gaufrettes dans la recette du chocolat consiste à remplacer petit à petit les recyclables biscuits. La société produit même des biscuits rien que pour être broyés et utilisés dans la recette parce que la quantité de déchet de biscuits enrobés ne suffit pas. L'utilisation des poudres de boules gaufrettes diminue ou supprime la production de ces biscuits.

Le tableau suivant présente la quantité de matière première utilisée dans les essais :

Tableau 13 : Comparaison des proportions des matières premières utilisées pendant les essais d'utilisation de la poudre de boules gaufrettes dans les chocolats d'enrobage

Matière première	Standard	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
Matière grasse	31	31	31	31	31
Charge épaississante	18	18	18	18	18
Cacao en poudre	4	4	4	4	4
Sucre	19	19	19	19	19
Arôme	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Sel alimentaire	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Emulsifiant	1	1	1	1	1
Recyclable biscuit	30	22,5	15	7,5	0
Poudre de DB	0	7,5	15	22,5	30
Masse totale [g]	103,1	103,1	103,1	103,1	103,1

La quantité en matières premières principales reste inchangée. La charge en recyclable biscuit a été remplacée afin d'observer le comportement des poudres de boules gaufrettes et de déduire les proportions adéquates à garder. Les changements sont représentés en rouge dans le tableau ci-dessus.

La préparation du chocolat avec la poudre de boules gaufrettes poursuit le même mécanisme, et s'ajoute en même temps que le sucre, le sel et la charge épaississante. Par contre, pour bien apprécier la différence entre les différents essais, le chocolat est tout de suite refroidi après avoir obtenu la coulée. Il n'est pas appliqué sur les biscuits.

Cette utilisation de poudre de boules gaufrettes nécessite plus d'effort dans sa dissolution dans la matière grasse. Elle requiert un temps de mélange supérieur de 10 à 15 minutes après l'ajout du cacao en poudre en fonction de la quantité de poudres utilisées. A partir du troisième essai, des petits précipités de poudre se remarquent dans l'aspect du chocolat. Elle n'est pas assimilée dans le chocolat.

Dans tous les cas, la présence de la poudre de boules gaufrettes se fait sentir à la dégustation. Le chocolat n'arrive pas à masquer la nuance entre sa texture fondante et la texture granulaire des poudres de boules gaufrettes et des biscuits.

Dans les productions industrielles des biscuits enrobés, les recyclables biscuits ne se perçoivent pas parce que pendant le mélange des matières premières, la machine agit aussi comme un broyeur. Les proportions dans les essais numéro 1 et à la limite le numéro 2 pourraient bien être acceptées.

VI.1.2. Biscuits à enrober

La couverture en chocolat et la crème de fourrage caractérisent la saveur des produits enrobés. Le biscuit sert de support pour les accompagner. Il est donc préparé pour avoir une saveur neutre, c'est-à-dire peu sucrée et peu d'arôme, comme les feuilles des gaufrettes.

VI.1.2.1. Procédés de fabrication du biscuit

Les matières premières du biscuit sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 14 : Proportion de matière première pour la préparation des biscuits à enrober

Matière première	Masse [g]
Farine de blé	270
Matière grasse	30
Sucre	60
Sirop de glucose	15
Emulsifiant	2
Recyclable biscuit	15
Agents levants	4
Arôme	0,05
Sel alimentaire	2
MBS	0,50
Eau	80

Les étapes de la préparation du biscuit sont représentées dans le diagramme suivant :

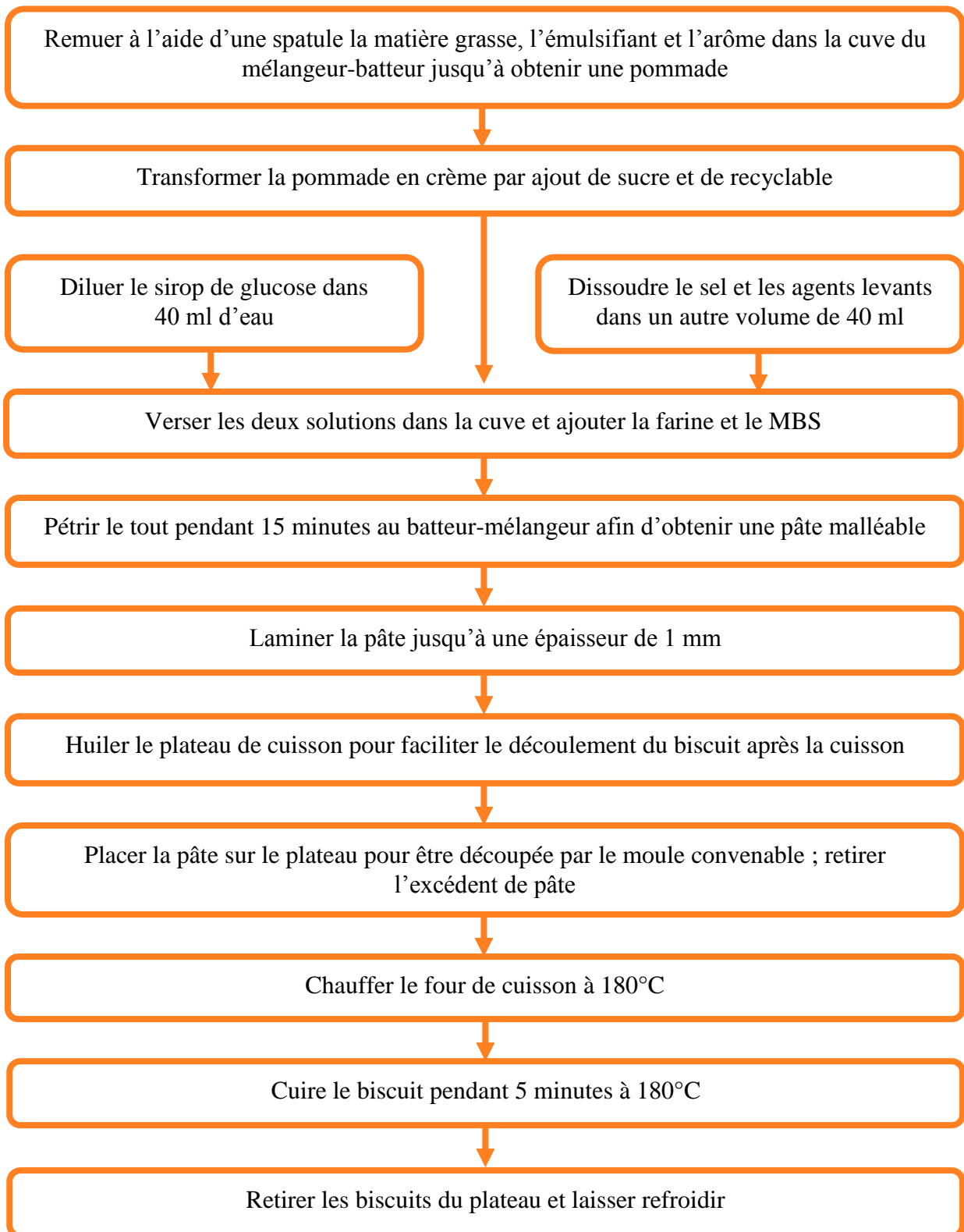


Figure 23 : Organigramme de la préparation du biscuit à enrober

VI.1.2.2. Utilisation de la poudre de boules gaufrettes dans la préparation des biscuits à enrober

Comme pour le chocolat, le changement dans la recette s'opère sur la substitution du recyclable biscuit par la poudre de boules gaufrettes. Le tableau suivant illustre la diminution des biscuits au profit de l'augmentation des boules gaufrettes :

Tableau 15 : Comparaison des proportions des matières premières utilisées pendant les essais d'utilisation de la poudre de boules gaufrettes dans les biscuits à enrober

Matière première	Standard	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Farine de blé	270	270	270	270
Matière grasse	30	30	30	30
Sucre	60	60	60	60
Sirop de glucose	15	15	15	15
Emulsifiant	2	2	2	2
recyclable biscuit	15	10	5	0
Agent levant	4	4	4	4
Arôme	0,05	0,05	0,05	0,05
Sel alimentaire	2	2	2	2
MBS	0,5	0,5	0,5	0,5
Eau	80	80	80	80
Poudre de DB	0	5	10	15
Masse totale [g]	478,55	478,55	478,55	478,55

Pendant la préparation de la pâte, pour les essais, sa coloration diffère de la pâte standard. Elle est plus brunâtre. Des petits débris de boules gaufrettes sont remarqués sur la pâte. Ce sont les poudres, de granulométrie proche de la dimension 1 mm de la maille, qui ne s'homogénéisent pas entièrement dans la pâte.

Pour l'essai 3, la texture granulaire de la poudre de boules gaufrettes se ressent beaucoup à la dégustation. Une sensation de présence de grain gêne la texture craquante puis fondante du biscuit. Cet effet diminue quand la quantité de poudre de boules gaufrettes baisse. Elle se distingue peu dans l'essai 1.

Les biscuits obtenus pendant les travaux pratiques sont tous enrobés par le chocolat d'enrobage standard. Encore pour l'essai 3, la texture typique de la poudre de boules gaufrettes ne peut être cachée. Mais dans l'essai 2 et l'essai 1, elle se fait moins ressentir.

VI.2. Essai sur les sablés

Les sablés sont des biscuits, friables et moelleux, riches en matière grasse. Ces caractéristiques résultent du procédé de fabrication des sablés qui diffère des biscuits. Leur pâte n'exploite pas le potentiel de la formation du réseau de gluten pour s'assembler. Elle l'évite même. D'où la texture friable et cassante des sablés. La société produit 3 catégories de sablé : parfum beurre, parfum chocolat, et un autre parfum chocolat muni de charge. Les deux premiers produits ne comportent aucune charge.

VI.2.1. Procédés de fabrication des sablés

En tant que biscuit sec, les sablés suivent l'agencement des grandes lignes de fabrication : formation de la pâte à biscuit, façonnage du biscuit et cuisson. Ils se préparent à partir des mêmes matières premières que tout autre biscuit :

- La farine de blé,
- La matière grasse, et l'émulsifiant,
- Le sucre,
- Les poudres levant et le sel alimentaire,
- L'eau,
- Les arômes et autres additifs conférant le goût du produit souhaité.

Pour les sablés, les grandes lignes se décrivent comme suit :

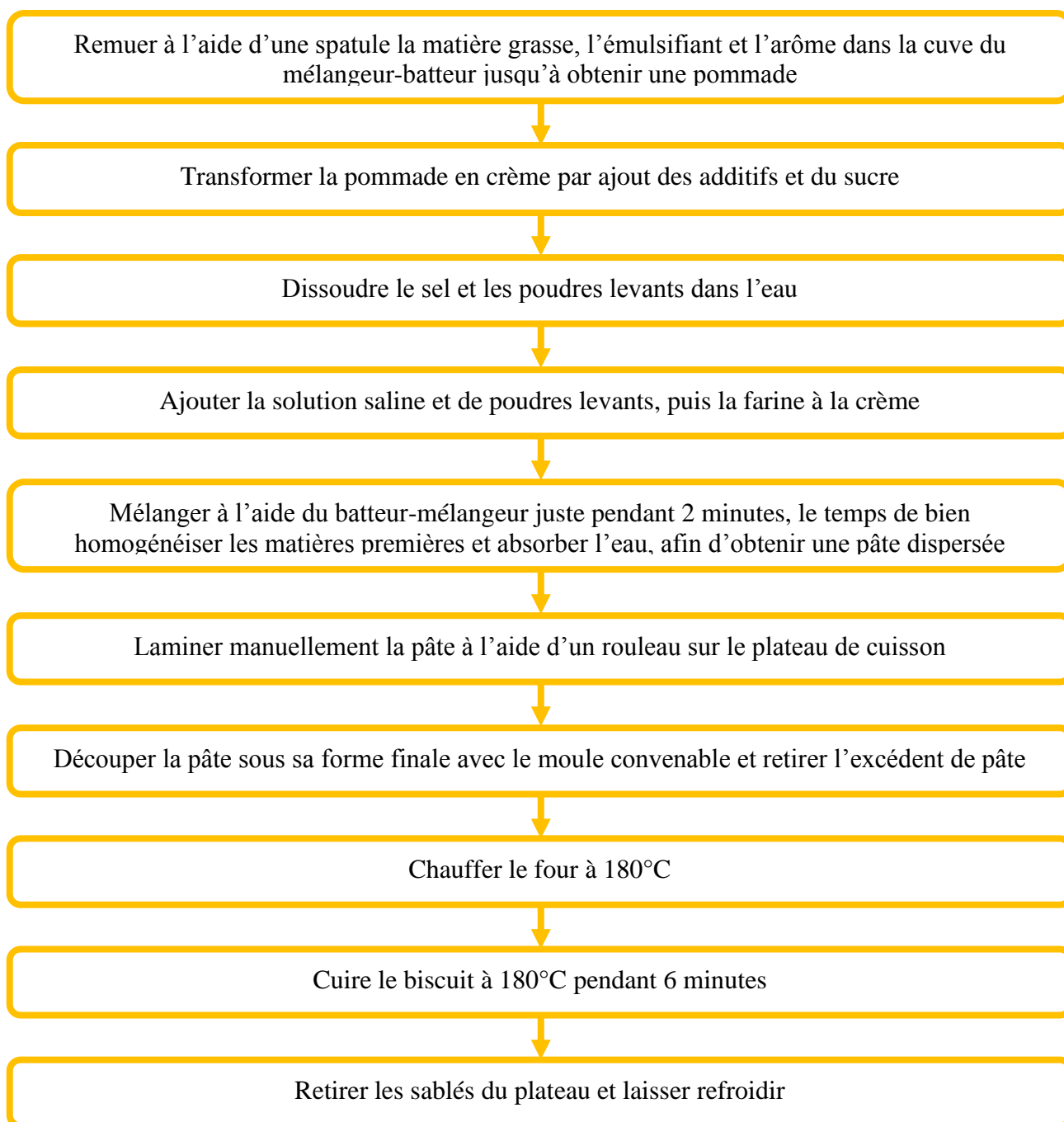


Figure 24 : Organigramme de la préparation des sablés

VI.2.2. Utilisation de la poudre de boules gaufrettes dans la fabrication des sablés parfum beurre

Le sablé parfum beurre est vendu sous le nom commercial de « Sablito Beurre ». Il ne comporte pas de charge dans les rangs de ses matières premières. L'ajout de charge telle que la poudre de boules gaufrettes augmente le rendement de la production. Les masses respectives des matières premières sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 16 : Comparaison des proportions des matières premières utilisées pendant les essais d'utilisation de la poudre de boules gaufrettes dans les sablés parfum beurre

Matière première	Standard	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
Matière grasse	70	70	70	70	70
Emulsifiant	4	4	4	4	4
Poudre de lait	35	35	35	35	35
Beure	7	7	7	7	7
Sucre	65	65	65	65	65
Charge épaississant	25	25	25	25	25
Arôme	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Farine de blé	270	270	270	200	270
Sirop de glucose	20	20	20	20	20
Agent levant	5	5	5	5	5
Sel alimentaire	2	2	2	2	2
Eau	60	60	60	60	60
Poudre de DB	0	10	20	70	10
Masse totale [g]	563,5	573,5	583,5	563,5	573,5

VI.2.2.1. Commentaire sur l'essai 1 et l'essai 2

Aucun changement n'est remarqué sur les résultats intermédiaires pendant les procédés de fabrication des essais par rapport à la méthode standard. La différence réside sur la texture des trois produits : le produit standard et les deux essais.

La texture granulaire de la poudre de boules gaufrettes est considérée similaire à la texture friable et dispersante en petit grain des sablés. La nuance se ressent cependant sur la ténacité des deux cas à la dégustation.

L'utilisation de la poudre de boules gaufrettes dans la fabrication des sablés met en exergue cette nuance. La texture du produit reste friable, la majorité fond mais une partie persiste et donne une sensation de petits grains dans la bouche. Elle se fait de plus en plus ressentir dans l'essai 2.

VI.2.2.2. Commentaire sur l'essai 3

L'objectif de cette manipulation est de remplacer une partie de la farine de blé par la poudre de boules gaufrettes. Pendant le façonnage du biscuit, le laminage de la pâte nécessite moins d'effort par rapport au procédé standard. Elle s'étale plus facilement et reste tout de même compact. Par contre après la cuisson, le diamètre du sablé de l'essai 3 est plus grand que le biscuit standard. Le diamètre de ce dernier mesure 50 mm, et celui de l'essai plus de 54 mm. Il est plus aéré que le sablé normal. Ce phénomène engendre un grand problème, dans l'extrapolation à la production industrielle, qui est la maîtrise des dimensions du produit. En effet, des dimensions ont été établies et doivent être impérativement respectées parce qu'elles correspondent aux paramètres des machines emballeuses. À la moindre erreur, soit les biscuits sont sous pression pendant l'emballage et se brisent, soit le film d'emballage se dévie de son axe de scellage. Les deux cas produiraient beaucoup de déchets.

VI.2.2.3. Commentaire sur l'essai 4

La différence entre l'essai 1 et 4 est que la poudre de boules gaufrettes a été tamisée une deuxième fois. Ce processus permet de séparer quelques grains dans la poudre de boules gaufrettes. Ils sont à l'origine de texture granulaire des poudres. La passoire utilisée pour le premier tamisage est encore utilisée pour le deuxième. Même s'il existe encore des grains dans la poudre, certains disparaissent. Ce résultat se remarque par une baisse de la sensation de grain à la dégustation entre l'essai 1 et l'essai 4. Elle pourrait sûrement disparaître si la granulométrie des poudres serait proche de celle de la farine, inférieure à 50 μm .

VI.2.3. Utilisation de la poudre de boules gaufrettes dans la fabrication des sablés parfum chocolat

L'industrie produit deux types de sablé parfum chocolat : le sablé sans charge appelé « Sablito choco » et le sablé avec charge appelé « Bisky choco ». Des expériences ont été menées pour chacun des deux produits.

VI.2.3.1. Essai sur les sablés parfum chocolat sans charge

Les essais ressemblent à ceux appliqués au parfum beurre. Ils se focalisent surtout sur la comparaison entre la texture du produit puisque les procédés sont les mêmes.

Tableau 17 : Comparaison des proportions des matières premières utilisées pendant les essais d'utilisation de la poudre de boules gaufrettes dans les sablés parfum chocolat sans charge

Matière première	Standard	Essai 1	Essai 2
Farine de blé	270	270	270
Sucre	120	120	120
Matière grasse	70	70	70
Poudre de cacao	15	15	15
Poudre de lait	5	5	5
Agent levant	7	7	7
Sel alimentaire	3	3	3
Emulsifiant	1	1	1
Arome et colorant	1,5	1,5	1,5
Eau	60	60	60
Poudre de gaufrette	0	10	10
Masse totale [g]	552,5	562,5	562,5

Les quantités de charge impliquée dans les expériences sont égales. Dans l'essai 2, les poudres sont tamisées une deuxième fois comme dans la quatrième expérience sur le sablé beurre. Comme remarquée sur tous les travaux menés auparavant, la texture granulaire des poudres de boules gaufrettes ne peut être masquée. Néanmoins, dans l'essai numéro 2, elle se fait moins ressentir que dans le premier, alors que les quantités sont les mêmes. Ces tests sur les « sablito choco » soutiennent les expériences déjà menées en ce sens que la granulométrie de la poudre influe sur sa texture quand elle est utilisée dans les biscuits.

VI.2.3.2. Essai sur les sablés parfum chocolat avec charge

Les poudres de boules gaufrettes utilisées sont celles tamisées une deuxième fois. Les quantités de matières premières dans la fabrication des « bisky choco » se présentent comme suit :

Tableau 18 : Comparaison des proportions des matières premières utilisées pendant les essais d'utilisation de la poudre de gaufrettes dans les sablés parfum chocolat avec charge

Matière première	Standard	Essai 1	Essai 2
Farine de blé	280	280	280
Matière grasse	50	50	50
Charge épaississante	20	20	20
Sucre	120	120	120
Poudre de cacao	10	10	10
Sel alimentaire	3	3	3
Agent levant	7	7	7
Arôme et colorant	1,5	1,5	1,5
Emulsifiant	1	1	1
Eau	80	80	80
Poudre de gaufrette	0	10	5
Masse totale [g]	572,5	582,5	577,5

La quantité en matière grasse a aussi diminué. Le biscuit est donc moins tendre et plus sec par rapport au « sablito ». De plus, puisque le produit contient déjà une charge, la quantité de la poudre de boules gaufrettes a été diminuée. Leur utilisation dans l'essai 1 accentue la texture rigide et sèche du produit par rapport au produit standard. La diminution de leur quantité dans le second essai le rapproche à la texture souhaitée du produit standard.

CONCLUSION PARTIELLE

Les études expérimentales ont permis d'établir le procédé de valorisation des boules gaufrettes en poudre recyclable. La transformation nécessite trois étapes : la séparation des agglomérats, le séchage et le broyage. Les travaux pratiques au laboratoire de la R&D de la société JB ont été incontournables pour déterminer la faisabilité d'un procédé et ainsi définir les paramètres pour chaque étape. L'extrapolation du procédé aux machines industrielles se base sur ces paramètres. La manipulation d'une grande quantité de matière modifie les données obtenues au laboratoire. De nouveaux paramètres ont été établis pour les machines industrielles. Des propositions de modification des machines ont été émises pour améliorer les résultats obtenus. Des essais ont été aussi réalisés sur l'utilisation des poudres de boules gaufrettes dans les biscuits enrobés et les sablés. L'incapacité du broyeur au laboratoire à microniser les poudres entraîne une texture granulaire aux produits dérivés.

TROISIEME PARTIE :
ETUDE ECONOMIQUE

L'étude économique s'orientera sur le calcul des dépenses nécessaires à la transformation des boules gaufrettes en poudre. Les boules gaufrettes ne peuvent être conservées plus de 2 jours. Leur valorisation doit se faire un jour après leur production. L'évaluation économique s'est donc basée sur les dépenses journalières pour déduire le coût pour la transformation de 1kg de boules gaufrettes.

1. Paramètres de l'étude économique

Pour un lot de préparation de 50 kg de pâte, 6 kg de boules gaufrettes sont produites. Pendant 24 heures, la société a pour objectif de faire 64 préparations, soit 384 kg de boules gaufrettes à valoriser. Les paramètres de fonctionnement des appareillages pendant la transformation sont énumérés dans le tableau suivant :

Tableau 19 : Paramètre de fonctionnement des appareillages

Désignation	Valeur
Débit de séparation des agglomérés	15 kg / 3 min
Débit de chargement des DB pendant le séchage	5 kg / min
Temps de séjour dans le séchoir	39 min
Débit de broyage	3,5 kg / min

Le temps requis pour la pulvérisation des boules gaufrettes est donc :

Tableau 20 : Durée de chaque procédé de la valorisation

Procédés	Durée [minute]
Séparation des agglomérés	77
Chargement des DB pendant le séchage	77
Séchage	39
Broyage	82
Durée totale	275

1.1. Le temps requis pour la séparation des agglomérés

Le débit de séparation des agglomérés est 15 kg par 3 minutes. La quantité de boules gaufrettes par jour pèse 384 kg. Le temps nécessaire pour la séparation des boules gaufrettes est donné par la formule suivant :

$$\text{Temps de séparation des agglomérés} = \frac{1}{\text{débit de séparation}} \times \text{masse de DB}$$

$$\text{Temps de séparation des agglomérés} = \frac{1}{\frac{15 \text{ kg}}{3 \text{ min}}} \times 384 \text{ kg}$$

$$\text{Temps de séparation des agglomérés} = 77 \text{ min}$$

1.2. Le temps de chargement pendant le séchage

Un tapis transporte les boules gaufrettes à l'entrée du séchoir. Le débit de chargement des boules gaufrettes est 5 kg par minute. Le calcul du temps de chargement pendant le séchage est similaire à celui de la séparation

$$\text{temps de chargement pendant le séchage} = \frac{1}{\text{débit d'entrée}} \times \text{masse de DB}$$

$$\text{temps de chargement pendant le séchage} = \frac{1}{\frac{5 \text{ kg}}{1 \text{ min}}} \times 384 \text{ kg}$$

$$\text{temps de chargement pendant le séchage} = 77 \text{ min}$$

1.3. Le temps de broyage

La capacité du broyeur est 3,5 kg par minute. La formule pour le calcul de la durée du broyage est la même que pour la séparation et le chargement. La masse de DB à considérer pour le broyage est la masse de boules gaufrettes sèches. Les boules gaufrettes sèches ont une humidité de 6 %. Elles ont donc évaporé 26 % d'humidité. La masse de boules gaufrettes sèches est alors 74 % de la masse de boules gaufrettes produites. Pour la production de 24h, elle pèse donc 284,16 kg. Le temps de broyage est :

$$\text{Temps de broyage} = \frac{1}{\text{débit de broyage}} \times \text{masse de DB secs}$$

$$\text{Temps de broyage} = \frac{1}{\frac{3,5 \text{ kg}}{1 \text{ min}}} \times 284,16 \text{ kg}$$

$$\text{Temps de broyage} = 82 \text{ min}$$

1.4. La durée journalière de la valorisation des boules gaufrettes en poudres

La durée totale utile par jour pour la valorisation des boules gaufrettes est la somme de la durée de chaque étape.

$$\text{durée totale} = \sum \text{durée par étape}$$

$$\text{durée totale} = 77 + 77 + 39 + 82$$

$$\text{durée totale} = 275 \text{ min}$$

Le temps requis pour la valorisation des boules gaufrettes est 275 minutes ou 4 heures et 35 minutes

2. Evaluation du coût de la valorisation

2.1. Dépenses en énergie

Les sources d'énergie utilisées pendant la valorisation sont l'électricité et le gaz. Le gaz est nécessaire seulement pendant le séchage. Tandis que l'électricité est utile pour toutes les opérations.

La consommation en électricité, des installations, par jour est 50 kWh. 1 kWh coûte 300 Ar.

Le séchoir consomme 15 kg par heure de gaz. La durée, de la combustion du gaz pendant le séchage, est détaillée dans le tableau suivant :

Tableau 21 : Durée de la combustion du gaz

Motifs	Durée [minute]
Chauffage du séchoir	4
Chargement des boules gaufrettes	77
Temps de séjour dans le séchoir	39
Durée totale	120

Le temps de la combustion du gaz pour le séchage des boules gaufrettes est 120 minutes, soit 2 heures. L'opération de séchage nécessite donc 30 kg de gaz combustible. 1 kg de gaz coûte 5000 Ar.

Le coût de la consommation en énergie de la valorisation des boules gaufrettes est donné par le tableau suivant :

Tableau 22 : Montant des énergies dépensées pendant la valorisation

Sources	Quantité	Prix unitaire [Ar]	Montant [Ar]
Electricité	50 kWh	300	15 000
Gaz	30 kg	5000	150 000
Montant total			165 000

2.2. Coût de la main d'œuvre

Le coût de la main d'œuvre est de 850 Ar par heure. La durée de travail a été déterminée dans les paramètres de l'étude économique. Elle est de 4 heures 35 minutes, soit arrondie à 5 heures en tenant compte des diverses manipulations à l'utilisation des appareillages. Le nombre de personne impliquée est de 2. L'évaluation du salaire des personnels est donnée par le tableau suivant :

Tableau 23 : Evaluation de coût de la main d'œuvre

Désignation	Salaire horaire [Ar]	Heure de travail [h]	Nombre de personnel	Montant [Ar]
Main d'œuvre	850	5	2	8 500

Le coût total de la valorisation des boules gaufrettes par jour pour une quantité de 384 kg est donné dans ce dernier tableau :

Tableau 24 : Evaluation de la dépense totale pour la transformation des boules gaufrettes en poudre

Désignation	Montant [Ar]
Energie dépensée	165 000
Main d'œuvre	8 500
Montant total	173 500

Le coût de la valorisation vaut 173 500 Ar / 384 kg de DB par jour, soit **452 Ar/kg de boules gaufrettes**.

L'utilisation de la poudre de boules gaufrettes en tant que charge pour la fabrication pourrait être bénéfique pour la société. Notons que 1kg d'amidon coûte au environ de 1500 Ar. Soit 1048 Ar de bénéfice par kilogramme de boules gaufrettes en poudre si elles sont valorisées.

CONCLUSION GENERALE

Face au rejet des boules gaufrettes occasionnées pendant la production des gaufrettes, les recherches menées sur leur valorisation ont pour objectif leur recyclage.

Afin de se situer sur l'orientation des recherches, les études sur le cadre général de l'étude ont permis d'obtenir des connaissances à propos :

- Des charges, et des différents types de charges dans la filière biscuiterie ;
- De l'évolution du biscuit à travers son histoire, des différents types de biscuits existants de nos jours et des variétés produites par la société JB ;
- Du procédé de fabrication des gaufrettes et des différents déchets qui en dérivent ;
- De la composition chimique des boules gaufrettes et des réactions pendant la cuisson des composants qui influent sur leur structure ;
- De la quantité de pâte perdue par la production de boules gaufrettes.

Dans la deuxième partie, les études expérimentales menées au laboratoire de R&D de la société JB ont permis d'établir le procédé de la transformation des boules gaufrettes en poudre qui peut répondre à la demande de l'utiliser comme charge dans la fabrication des biscuits. Il comprend la séparation des agglomérations de boules gaufrettes, le phénomène de séchage et enfin le broyage. Des paramètres sur les différentes étapes du procédé ont aussi été déterminés. La réalisation de la transformation à l'échelle industrielle a été régie à partir du procédé établi au laboratoire. La poudre obtenue au laboratoire a été utilisée dans la fabrication des sablés et des biscuits enrobés. La texture granulaire de la poudre à gaufrette a été remarquée à cause de la granulométrie des grains.

L'évaluation économique s'oriente sur le coût journalier de la transformation des boules gaufrettes en poudre à l'échelle industrielle. Il s'élève à 173 500 Ar pour une production journalière des boules gaufrettes de 384 kg, soit 452 Ar/kg de boules gaufrettes.

La suite de l'étude consistera à :

- Organiser l'emploi du temps d'utilisation des machines pour la valorisation parce qu'il faut noter que ces machines sont impliquées dans la production d'articles différents et se situent dans différents endroits de l'usine ;
- Réaliser les améliorations des machines, la qualité de la poudre obtenue en dépend ;
- Produire à l'échelle industrielle les biscuits avec l'utilisation de la poudre de boules gaufrette

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 **Abdoulaye SEYNI** - 11 décembre 2008 - *Propriétés physico-chimiques et d'usage de matériaux composites à charge dégradable produits par co-broyage* - thèse en vue de l'obtention du doctorat de l'université de Toulouse, Institut national polytechniques de Toulouse, discipline Génie des Procédés et Environnement

2 **Andrianasolo Hanitriniaina** - 11 mars 1996 – *Etude comparative des biscuiteries artisanales et industrielles d'Antananarivo : aspects technologiques et économiques, qualités organoleptiques des produits finis* – Mémoire pour le diplôme d'Ingénieur Agronome, option Industries Agricoles et Alimentaires, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo

3 **Enda-Graf (Sénégal), Gret (France)** - *Fabriquer des biscuits à base de farine composée (Blé avec mil, maïs, sorgho ou niébé)*, Afrique de l'Ouest, Sénégal, PME agroalimentaires, Biscuiteries

4 **F.U.S.A et CRA-W Gembloux** – février 2006 – *Livre Blanc « Céréales »*

5 **Franz HAAS** - October 2002 - *Handbook of wafer technologies* - third revised and extended edition

6 **Gérard Coutouly, Lisbeth Marcussen, John Schollar, Ognian Serafimov, Jill Turner** – *Biscuits et technologies*, module 3 – European Initiative for Biotechnology Education

7 **Jean-Louis CUQ**, 2006 – *Biochimie des protéines* – Département Sciences et Technologies des Industries Alimentaires 1ère année, Université Montpellier 2.

8 **Jenkins, P.J. & Donald, M.**, 1996. *Application of Small-angle neutron scattering to study of structure of starch granules*. Polymer, 25, 5559-5568.

9 **Le petit Larousse Illustré** – 2005 - 100ème édition

10 **MAHAIMANANA Rojo Arisoa** - juin 2012 – *Contribution à l'amélioration de la qualité organoleptique des gaufrettes BISC'OR* – mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome, option Industries Agricoles et Alimentaires, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo.

11 **Paul MALUMBA KAMBA** – 2008 – *Influence de la température lors du séchage sur les propriétés techno-fonctionnelles du maïs* – Thèse en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Académie Universitaire Wallonie-Europe, Communauté Française de Belgique

12 **Soulef BENKADRI** - le 23 février 2010 - *Contribution à la diversification de l'alimentation pour enfants cœliaques: fabrication de farines-biscuits sans gluten* - Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER en Sciences Alimentaires, Option : Biochimie et Technologies Alimentaires, Institut De La Nutrition De L'alimentation Et Des Technologies Agro-Alimentaires (INATAA), Université Mentouri De Constantine

13 **Waigh, T.A., Gidley, M.J., Komanshek, B.U. & Donald, A.M.** - 2000 - *The Phase transitions in starch during gelatinization: a liquid crystalline approach*. Carbohydrate - Research 328, 165-176.

REFERENCES WEBOGRAPHIQUES

14 www.techniques-ingenieur.fr/ (consulté le 13 juin 2016)

15 www.wikipédia.org/ (consulté le 25 mai 2016)

ANNEXES

ANNEXE 1 : Présentation de la société JB

La société JB est une société de fabrication et de distribution à Madagascar. Elle fabrique des produits alimentaires sous les marques de « GOUTY », « SALTO », « BOLO », « CRACKY », « BISKY », « OPERA », « PECTO », « TUTI ». Elle distribue aussi des produits alimentaires comme « JUMBO », « KOPIKO », « FERRERO », et des produits non alimentaires comme « NATIORA », « TONIDENT », « LYS », « NET'OI ». Pour cela, la société JB possède 5 sites :

- JBU : usine sise à Amboditsiry,
- JBD : entrepôt de Distribution à Tanjombato,
- JBS : siège commerciale à Tsaralalàna,
- JBH et JBF : entrepôt de stockage à Hazovato Tanjombato et Filâtex Tanjombato.

L'usine de production à Amboditsiry possède 2 plateformes de production :

- Plateforme biscuiterie,
- Plateforme confiserie et snacks.

La société JB appartient au groupe BASAN « BARDAY ASGAR ANIL » sous la direction générale de Monsieur Karim BARDAY. Le groupe possède 4 sociétés :

- JB : entreprise de production et de distribution de produits alimentaires et non alimentaires,
- Lecofruit : société de conservation de produit agricole, à Tanjombato
- OIM : Omnium Industriel de Madagascar, société de traitement du cuir à Anjeva
- TANJAKA FOOD : société de production de supplément alimentaire pour lutter contre la malnutrition infantile sous les marques « Plumpy Doz » et « Plumpy Nut », en partenariat avec le groupe NUTRISET.

ANNEXE 2 : CONTRIBUTION A LA DIMINUTION DE LA QUANTITE DE BOULES GAUFRETTES PRODUITES

La quantité de boules gaufrettes produites pour une préparation de 120 kg de pâte est 6 kg en moyenne. Cette valeur peut varier entre 5,5 kg à 6,5 kg, elle peut même peser jusqu'à 7kg. Afin d'analyser les causes de la quantité élevée de boules gaufrettes produite, la méthode des 5M a été adoptée.

La méthode des 5M permet une analyse minutieuse des causes d'un problème donné. C'est une méthode de travail structurée afin de décomposer la raison d'un problème sous différents angles et apporter des solutions adéquates à chaque situation. Les étapes de son élaboration sont :

- Déterminer le problème à étudier, dans notre cas, c'est la production de boules gaufrettes élevées ;
- Déterminer les différentes causes qui ont pour effet d'aboutir au problème à étudier ;
- Catégoriser les causes selon les situations où ils apparaissent à partir des 5M : Milieu, Méthode, Main d'œuvre, Matière, et Machine ;
- Tracer le squelette du diagramme d'Ishikawa sous la forme d'arêtes de poisson ;
- Incrire à chaque branche les facteurs selon leurs situations.

Ainsi, le diagramme d'Ishikawa sur l'analyse des causes de la production élevée des boules gaufrettes se décrit comme suit :

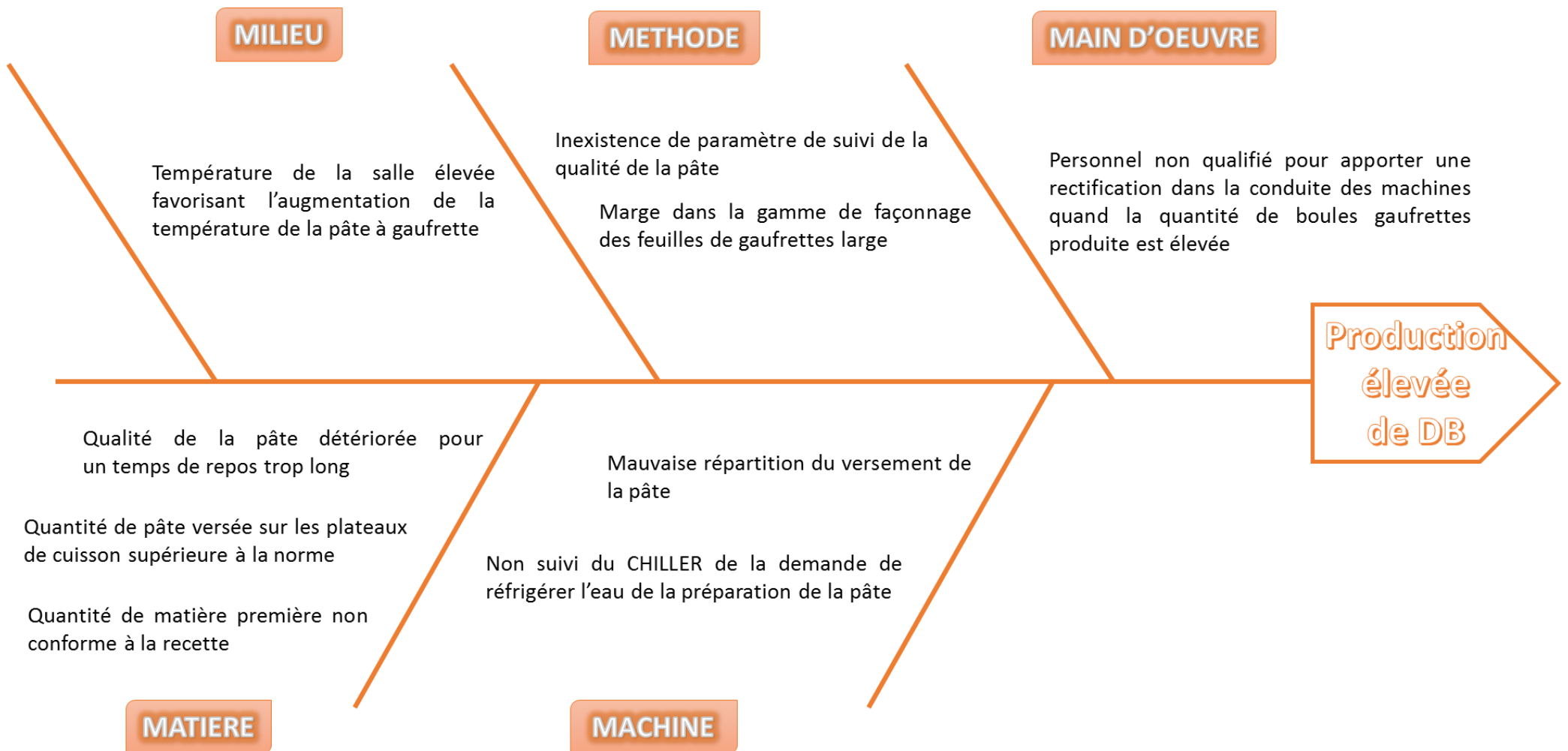


Figure 25 : Diagramme d'ISHIKAWA source de la production élevée des déchets boules gaufrettes

Des solutions sont proposées dans le tableau suivant afin d'apporter des améliorations sur la quantité de boules gaufrettes produites.

Tableau 25 : Analyse des causes de la production élevée de boules gaufrettes et proposition de solutions

CAUSES	SOURCES	SOLUTIONS
MILIEU		
Température de la salle élevée favorisant l'augmentation de la température de la pâte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inexistence de la gamme de température à respecter permettant de déterminer la valeur qui influe sur la qualité de la pâte, ▪ Salle non climatisée, d'où la valeur de la température ambiante varie selon le climat extérieur, ▪ Présence du four qui dégage une quantité de chaleur élevée dans le milieu, ▪ Insuffisance de la capacité des extracteurs d'air chaud pour refroidir la salle, 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Déterminer l'intervalle de température du milieu favorable au temps de repos de la pâte, ➤ Instaurer un système de réfrigération de la cuve de stockage de la pâte,
METHODE		
Inexistence de paramètre déterminant la qualité de la pâte à gaufrette	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Qualité de la pâte supposée être invariable du fait que le procédé de préparation est toujours le même, 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Instaurer une gamme pour le suivi de la qualité de la pâte et la conduite de machine respective pour chaque cas,
Marge dans la gamme de façonnage des feuilles de gaufrettes large	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Intervalle de versement de la pâte dans la gamme de conduite de machine trop espacée, 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Réduire l'intervalle dans la gamme de conduite de la machine sur le versement de la pâte,

CAUSES	SOURCES	SOLUTIONS
MAIN D'ŒUVRE		
Personnel non qualifié pour apporter une rectification dans la conduite des machines quand la quantité de boules gaufrettes produite est élevée	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aucune indication précise sur la qualité requise de la pâte, ▪ Aucune indication pour repérer la quantité de boules gaufrettes produites à part son pesage toutes les trois heures, 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fréquence de pesage des boules gaufrettes plus accrue, et affichage du résultat près du machiniste, ➤ Instaurer une gamme pour le suivi de la qualité de la pâte et la conduite de machine respective pour chaque cas,
MATIERE		
Qualité de la pâte détériorée pour un temps de repos trop long	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Augmentation de la température de la pâte sous l'influence du milieu environnant, favorisant le développement du réseau de gluten, ▪ Production interrompue, ▪ Temps d'action du MBS limité pour empêcher la formation de gluten, 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Instaurer un système de réfrigération de la cuve de stockage de la pâte, ➤ Ajuster la température du milieu pour ne pas influencer l'augmentation de la température de la pâte,
Quantité de pâte versée sur les plateaux de cuisson supérieure à la norme	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mauvaise qualité de la pâte induisant à des feuilles incomplètes, ▪ Vitesse des plateaux variés, ▪ Intervalle de versement de la pâte dans la gamme de conduite de machine trop espacée, 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Instaurer une gamme pour le suivi de la qualité de la pâte et la manipulation respective pour chaque cas, ➤ Vérifier le fonctionnement des plateaux, ➤ Réduire l'intervalle dans la gamme de conduite de la machine sur le versement de la pâte,
Quantité de matière première non conforme à la recette	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pesage des matières premières non rigoureux, 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Respecter à la lettre la quantité requise de matière première pour la préparation de la pâte,

CAUSES	SOURCES	SOLUTIONS
MACHINE		
Mauvaise répartition du versement de la pâte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tuyau de versement de la pâte sur les plateaux bouché, 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rinçage du tuyau à chaque arrêt de la production et pour un temps d'emploi long,
Non suivi du CHILLER de la demande de réfrigérer l'eau de la préparation de la pâte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Influence du climat qui augmente la température de l'eau à l'entrée du CHILLER, ▪ Intérieur du CHILLER recouvert de poussière, 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Nettoyage régulier du CHILLER,

ANNEXE 3 : METHODES DE DETERMINATION DE LA COMPOSITION BIOCHIMIQUE

Il existe trois méthodes de détermination de la composition biochimique d'un aliment :

- Méthode gravimétrique : humidité, cendre, lipide ;
- Méthode KJELDAHL : protéine ;
- Méthode de calcul : glucide, valeur nutritive.

1. Humidité :

L'humidité représente la teneur en matière susceptible de s'évaporer contenue dans l'échantillon. Elle se détermine par la méthode gravimétrique en respectant les étapes suivantes :

- Prise de 5g de l'échantillon,
- Séchage dans une étuve ou dessiccateur à 130°C jusqu'à une masse constante,
- Pesage du produit sec à l'aide d'une balance de précision.

$$H = \left(1 - \frac{m_s}{m_i}\right) \times 100$$

m_s : masse d'échantillon sèche

m_i : masse initiale de l'échantillon

2. Cendre :

C'est la teneur en matière minérale dans l'échantillon. Pour déterminer la masse de cendre et donc son pourcentage, l'échantillon passe par les étapes suivantes :

- Prise de 3 g de l'échantillon,
- Incinération dans un four à 900°C jusqu'à combustion totale de la matière organique et obtention d'un résidu blanchâtre,
- Pesage du résidu.

$$C = Ri \times \frac{100}{m_i(100 - H)} \times 100$$

Ri : masse du résidu après incinération

m_i : masse initiale de l'échantillon

H : humidité de l'échantillon

3. Lipide :

Les lipides sont les matières grasses dans l'échantillon. La détermination de la teneur en lipide se fait par les étapes suivantes :

- Prise de 30 g de l'échantillon,
- Libération des lipides liés aux protéines et aux glucides par hydrolyse de l'échantillon avec de l'acide chlorhydrique 4 M, pendant 1 h,
- Extraction de la matière grasse par l'hexane,
- Evaporation de l'hexane dans une étuve.

$$L = m \times \frac{100}{m_i(100 - H)} \times 100$$

m : masse du résidu lipidique

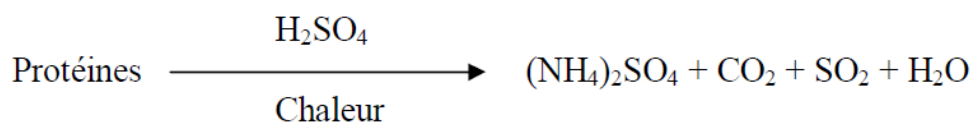
m_i : masse initiale de l'échantillon

H : humidité de l'échantillon

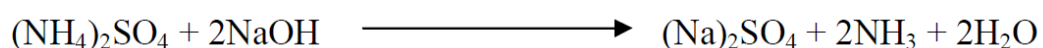
4. Protide :

C'est l'ensemble des matières protéiques de l'échantillon. La teneur en protéine est déterminée par dosage de l'azote total par la méthode de KJELDAHL.

- Minéralisation à l'aide de l'acide sulfurique (d=1,83) à chaud en présence de catalyseur de 5g de l'échantillon pendant 3h, elle permet l'oxydation de l'azote organique dans les protéines en azote minéral sous forme de sulfate d'ammonium,



- Alcalinisation du minéralisât par de la soude (10 N),



- Libération des molécules d'ammoniac par distillation, fixation de l'ammoniac dans une solution d'acide borique (4 %)
- Titration par l'acide sulfurique 0,01N de l'ammoniac.

La teneur en azote total « NT » est donnée par la formule :

$$NT = 14 \times D \times V \times N \times \frac{100}{m_i(100 - H)} \times 100$$

14 : masse molaire de l'azote

D : facteur de correction (coefficient de dilution de l'échantillon)

V : volume d'acide sulfurique titrant [l]

N : normalité de l'acide sulfurique

m_i : masse de l'échantillon

H : teneur en eau de l'échantillon

Le coefficient de conversion de l'azote en protéine varie selon le produit à analyser. Il est de 5,7 pour la farine de blé par exemple, ou 6,25 pour les légumes secs.

5. Glucide :

La teneur en glucide se déduit à partir des valeurs des autres composants déjà déterminées par la formule :

$$G = 100 - (H + C + L + P)$$

H : teneur en humidité

C : teneur en cendre

L : teneur en lipides

P : teneur en protéines

6. Valeur énergétique

La valeur énergétique est la quantité d'énergie que peut fournir un aliment pour le corps humain. Elle est apportée par les lipides, les glucides et les protéines. Sa valeur pour 100 g d'aliment est déterminée par la teneur de ces composants dans l'aliment. La teneur en glucide et en protéine est multipliée par 4. La teneur en lipide quant à elle est multipliée par 9. La valeur énergétique totale est la somme des valeurs obtenues après multiplication. Elle s'exprime en kcal pour 100 g de l'aliment considéré.

TABLE DE MATIERES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	iii
LISTE DES TABLEAUX	iv
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES ANNEXES	viii
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES	ix
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : CADRE GENERAL DE L'ETUDE	1
<i>Chapitre I : GENERALITES SUR LES CHARGES</i>	3
I.1. Définition	3
I.2. Nature des charges.....	3
I.3. Les charges dans la production de biscuit	4
I.3.1. L'amidon et ses dérivés.....	4
I.3.2.Les biscuits :	6
<i>Chapitre II : GENERALITES SUR LES BISCUITS</i>	7
II.1. Historiques	7
II.2. Définition.....	7
II.3. Classification des biscuits.....	8
II.4. Les biscuits produits par la société JB	8
<i>Chapitre III : LES DECHETS BOULES GAUFRETTES</i>	10
III.1. Technologie industrielle des gaufrettes	10
III.1.1. Matières premières des feuilles de gaufrettes.....	10
III.1.2.Procédés de fabrication des gaufrettes.....	15
III.1.3.Déchets de la fabrication des gaufrettes	22

III.2. Propriétés des déchets boules gaufrettes	25
III.2.1. Compositions chimiques.....	25
III.2.2. Structures internes des boules gaufrettes	27
III.3. Estimation de pertes engendrées	32
III.3.1. Quantité de boules gaufrettes produites	32
III.3.2. Détermination de la masse de la pâte à gaufrette perdue par la production de boules gaufrettes	32
<i>CONCLUSION PARTIELLE</i>	35

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE..... 36

Chapitre IV : PROCÉDES DE TRANSFORMATION DES BOULES GAUFRETTES EN POUDRE, AU LABORATOIRE..... 37

IV.1. Objectifs et principes.....	37
IV.2. Matériels et méthode	38
IV.2.1. Séparation des agglomérés	38
IV.2.2. Séchage des boules gaufrettes	40
IV.2.3. Broyage et tamisage.....	43
IV.3. Résultats et discussions.....	44
IV.3.1. Effet de la température sur le temps de séchage.....	44
IV.3.2. Comparaison organoleptique des poudres de gaufrettes avec les autres charges.....	45

Chapitre V : EXTRAPOLATION DE LA TRANSFORMATION A L'ECHELLE INDUSTRIELLE SUIVANT LES MACHINES DISPONIBLES..... 46

V.1. Collecte des boules gaufrettes	46
V.2. Séparation des agglomérés	47
V.2.1. Description de l'appareil de séparation	47
V.2.2. Manipulation et résultats.....	48
V.2.3. Amélioration du batteur	49
V.3. Séchage	49
V.3.1. Description du séchoir	49
IV.3.2. Manipulation du séchoir	50
V.4. Broyage.....	51

Chapitre VI : ESSAI D'INCORPORATION DE LA POUDRE DE BOULES

<i>GAUFRETTES DANS LES PREPARATIONS DE BISCUITS</i>	52
VI.1. Essai sur les biscuits enrobés	52
VI.1.1. Chocolat d'enrobage.....	53
VI.1.2. Biscuits à enrober	56
VI.2. Essai sur les sablés	59
VI.2.1. Procédés de fabrication des sablés	59
VI.2.2. Utilisation de la poudre de boules gaufrettes dans la fabrication des sablés parfum beurre	61
VI.2.3. Utilisation de la poudre de boules gaufrettes dans la fabrication des sablés parfum chocolat	63
<i>CONCLUSION PARTIELLE</i>	66

TROISIEME PARTIE : ETUDE ECONOMIQUE.....67

1.Paramètres de l'étude économique	68
1.1.Le temps requis pour la séparation des agglomérés.....	69
1.2.Le temps de chargement pendant le séchage	69
1.3.Le temps de broyage	69
1.4.La durée journalière de la valorisation des boules gaufrettes en poudres ...	70
2.Evaluation du coût de la valorisation	70
2.1.Dépenses en énergie.....	70
2.2.Coût de la main d'œuvre.....	71

CONCLUSION GENERALE.....73

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....74

REFERENCES WEBOGRAPHIQUES.....76

ANNEXES.....k

ANNEXE 1 : Présentation de la société JB	b
ANNEXE 2 : CONTRIBUTION A LA DIMINUTION DE LA QUANTITE DE BOULES GAUFRETTES PRODUITES	c
ANNEXE 3 : METHODES DE DETERMINATION DE LA COMPOSITION BIOCHIMIQUE	h
1.Humidité :	h
2.Cendre :	h
3.Lipide :	i
4.Protide :	i
5.Glucide :	j
6.Valeur énergétique	j

TABLE DE MATIERES.....k

Auteur : RAZAKANOELINTSOA Zo Andrianina

Nombre de page : 73

Nombre de tableaux : 25

Nombre de figures : 25



Titre : Contribution à la valorisation des déchets boules gaufrettes en charge pour biscuits

RESUME

Pendant la cuisson des feuilles de gaufrettes, l'excès de pâte, qui sort du moule de cuisson, forme des boules accrochées à ces feuilles d'où leur appellation « déchets boules gaufrettes ». La société JB par sa grande productivité d'articles gaufrettes, en émet également une quantité importante qui peut aller jusqu'à 115,2 tonnes par an. Cependant, la fabrication de biscuits comprend dans ses matières premières le recyclage de produits. Ils sont considérés comme charges. Afin de parvenir à une réutilisation, les boules gaufrettes subissent la séparation des agglomérations, puis le séchage et enfin le broyage. La caractéristique de la poudre obtenue oriente son utilisation dans les sablés et les biscuits enrobés. Economiquement, le coût de la valorisation vaut 452 Ar/kg.

Mots clé : boules gaufrettes, recyclage, charge, biscuits, opération unitaire.

Title: Contribution to waste wafers balls recycling for biscuits additives.

ABSTRACT

During the cooking of the wafer sheets, the excess dough, which leaves the cooking mold, forms balls hanging on these sheets, hence their name "waste wafers balls". The JB Company by its high productivity of wafer items also generates a large quantity that can go up to 115.2 tons per year. However, the manufacture of biscuits includes in its raw materials the recycling of the products. They are considered as additives. In order to achieve reuse, the wafer balls undergo the separation of the agglomerations, then the drying and finally the grinding. The characteristic of the powder obtained orientates its use in shortbread and coated biscuits. Economically, the recycling costs 452 Ar / kg.

Keywords: wafer balls, recycling, additive, biscuits, unit operation.

Rapporteur : Monsieur ANDRIAMANAMPISOA Tsiry Angelos

Encadreur : Madame ROBIJAONA Baholy

Adresse de l'auteur : Lot A 101 ter H Ambohitrarahaba

E-mail: razakanoelintsoa@gmail.com