

Revalorisation du marc de pommes en vue de la fabrication de cornets sans gluten pour crèmes glacées

Auteur : Seutin, Laurent

Promoteur(s) : Blecker, Christophe

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en management de l'innovation et de la conception des aliments, à finalité spécialisée

Année académique : 2021-2022

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/15729>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



Travail de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en
Management de l'Innovation et de la Conception des Aliments

**Revalorisation du marc de pommes en vue de la
fabrication de cornets sans gluten pour crèmes glacées**

Laurent Seutin & Jeanne Verhaegen

Master 2 MICA

Année académique 2021-2022

Promoteur : Professeur Christophe Blecker (ULiège)

Co-Promoteur : Professeur Philippe Parmentier (HeCh)

Parrain industriel : Monsieur Maximilien Petit (Exploitation de Vergers Hesbignons)

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier le professeur Blecker, notre promoteur, d'avoir cru en notre projet et de nous avoir guidé dès son commencement.

Merci également aux professeurs Malumba, Parmentier, Léonard et Goffin pour leurs précieux conseils donnés à des moments cruciaux de notre travail.

Nous tenons à remercier très sincèrement Marjorie, Sandrino, Jean-François, Lynn, Adrien, Alain et toute l'équipe du laboratoire du professeur Blecker, qui nous ont accueillis au sein de leur laboratoire et aidés tout au long de la concrétisation de notre projet.

Merci à l'Exploitation de Vergers Hesbignons et plus particulièrement à monsieur Petit qui nous a permis de le rendre réel en nous fournissant notre matière première.

Laurent & Jeanne

Abstract

The management of apple pomace, a by-product of juice and cider production, is currently a complex issue for producers. At the same time, the number of people following a gluten-free diet is increasing.

The primary objective of this project is to develop a gluten-free ice cream cone made from upcycled apple pomace.

In order to produce this innovative product, fresh apple pomace is collected and dried in an oven at 80°C for 24 hours. The dried pomace is then ground to a powder using a hammer mill with a 500 micron sieve. The powder obtained is then incorporated into the formulation of the cones.

Following the realisation of different formulations, including one where the entire flour is replaced by apple pomace powder, the selected product contains 26% apple pomace by mass and is complemented by gluten-free flours (buckwheat and corn). It was studied and compared with existing reference cones on the market. Texture, water activity, residual moisture and shelf life tests were performed and validated. The cone was also found to be particularly appreciated by consumers in hedonic tests.

In conclusion, the cone fulfils the essential aspects set out in the requirements document, namely :

- The **Service** and **Society** aspect : the cone is resistant to being held in the hand and to the placing of a scoop of ice cream.
- **Safety** aspect : the product respects and is below the authorised limits for microbiological tests.
- **Health** aspect : the cones have 3 important qualities: they are gluten-free, lactose-free and high in fiber.
- The **Satisfaction** aspect : the cone, because of its properties, offers a qualitative solution to people who do not eat gluten. These people no longer have to choose the small tub at the ice cream parlour by default.

La gestion du marc de pommes, sous-produits de la production de jus et de cidre, reste actuellement complexe pour les producteurs. Parallèlement à cela, le nombre de personnes suivant un régime sans gluten ne fait qu'augmenter.

L'objectif premier de ce projet consiste donc en la conception d'un cornet pour crème glacée, sans gluten et issu de la revalorisation du marc de pommes.

Afin de réaliser ce produit innovant, le marc de pommes frais est récupéré, il est séché à l'étuve à 80°C durant 24 heures. Ensuite, le marc séché est réduit en poudre à l'aide d'un broyeur à marteau avec un tamis de 500 microns. La poudre obtenue est ensuite intégrée dans la formulation des cornets.

A la suite de la réalisation de différentes formulations, dont une où l'entièreté de la farine est remplacée par de la poudre de marc de pommes, le produit retenu contient 26% de marc de pommes en masse et est complété par des farines sans gluten (de sarrasin et de maïs). Il a été étudié et comparé à des cornets de références existant sur le marché. Les tests de texture, d'activité de l'eau, d'humidité résiduelle et de conservation ont été réalisés et validés. Le cornet s'est également révélé être particulièrement apprécié par les consommateurs lors de tests hédoniques.

En conclusion, le cornet répond aux aspects essentiels établi dans le cahier des charges, à savoir :

- L'aspect **Service** et **Société** : le cornet est résistant à la prise en main et à la pose d'une boule de crème glacée.
- L'aspect **Sécurité** : le produit respecte et est inférieur aux limites autorisées pour les tests microbiologiques.
- L'aspect **Santé** : les cornets présentent 3 qualités importantes : ils sont sans gluten, sans lactose et à haute teneur en fibres.
- L'aspect **Satisfaction** : le cornet, de par ses propriétés, offre une solution qualitative aux personnes ne consommant pas de gluten, ne devant plus choisir par défaut le petit pot chez le glacier.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	11
PARTIE A : ETUDE DE LA LITTÉRATURE	13
CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART	14
1.1. Les déchets, sous-produits et coproduits : contexte et définitions	14
1.2. Législation : poudre ou farine de marc de pommes ?	15
1.3. Le marc de pommes	16
1.3.1. Définition.....	16
1.3.2. Valorisation actuelle	16
1.3.3. Impact en tant que déchet	19
1.3.4. Propriétés et contenu du marc et de la poudre	20
1.4. Le gluten	24
1.4.1. Définition.....	24
1.4.2. Intérêts et fonctions.....	25
1.4.3. Les maladies liées au gluten	26
1.4.3.1. La maladie cœliaque	26
1.4.3.2. L'allergie au blé.....	29
1.4.3.3. La sensibilité au gluten	30
CHAPITRE 2 : SOLUTIONS AUX FORMULATIONS SANS GLUTEN	31
CHAPITRE 3 : FABRICATION DU PRODUIT	35
3.1. Poudre de marc de pommes	35
3.1.1. Diagramme de fabrication.....	35
3.1.2. Description des étapes	36
3.1.2.1. Réfrigération.....	36
3.1.2.2. Triage.....	36
3.1.2.3. Transport	36
3.1.2.4. Stockage	36
3.1.2.5. Séchage	36
3.1.2.6. Broyage.....	39
3.1.2.7. Conditionnement	39
3.2. Cornets sans gluten	39
3.2.1. Définition.....	39

3.2.2.	Fabrication : étapes et diagramme	40
3.2.3.	Étude des ingrédients	42
CHAPITRE 4 : ETUDE DES TESTS.....		54
4.1.	Introduction	54
4.2.	Texture	54
4.3.	Activité de l'eau.....	59
CHAPITRE 5 : ETUDE DE MARCHÉ ET MARKETING		61
5.1.	Introduction	61
5.2.	Habitudes alimentaires en Belgique.....	61
5.2.1.	Les tendances actuelles	61
5.2.2.	Le marché de la crème glacée.....	62
5.2.3.	Le marché du « sans gluten »	63
5.3.	Analyse SWOT	65
5.4.	Business Model Canevas.....	66
5.5.	Enquêtes marketing et analyses.....	70
5.5.1.	Matériel et méthode	70
5.5.1.1.	Enquête quantitative	70
5.5.1.2.	Enquête qualitative et d'estimation du prix psychologique	75
5.5.2.	Analyses des résultats.....	78
5.5.2.1.	Analyse des résultats de l'enquête quantitative	78
5.5.2.2.	Analyse des résultats des enquêtes qualitative et d'estimation du prix psychologique.....	83
5.6.	Étude de la concurrence	85
5.6.1.	Concurrence directe	85
5.6.2.	Concurrence indirecte.....	87
5.6.3.	Différenciation	87
5.7.	Conclusion de l'étude de marché	88
PARTIE B : CAHIER DES CHARGES		89
CHAPITRE 1 : SANTE ET VALEURS NUTRITIONNELLES		90
1.1.	Allégations de santé.....	90
1.2.	Allergènes.....	90
1.3.	Valeurs nutritionnelles	91

CHAPITRE 2 : SECURITE : LE PLAN HACCP	93
2.1. Les dangers biologiques	93
2.2. Les dangers chimiques	95
2.3. Les dangers physiques	97
2.4. Les CCP et PrPo identifiés	97
CHAPITRE 3 : SERVICE ET SOCIETE.....	101
3.1. Utilisation	101
3.2. Cahier des charges de l'emballage	101
3.2.1. Fonctions primaires de l'emballage primaire	102
3.2.2. Fonctions secondaires de l'emballage primaire	102
3.2.3. Étude de marché des emballages	103
3.2.4. Projet d'emballage	105
3.2.5. Idées de matériaux	107
3.2.6. Étiquetage	108
CHAPITRE 4 : SATISFACTION	110
4.1. Satisfaction sensorielle	110
4.2. Conservation	112
4.3. Caractéristiques dimensionnelles	112
PARTIE C : DEVELOPPEMENT DU PRODUIT.....	113
CHAPITRE 1 : MATERIEL ET METHODE.....	114
1.1. Fabrication de la poudre de marc de pommes	114
1.1.1. Diagramme de fabrication	114
1.1.2. Réception du marc de pommes	114
1.1.3. Transport	115
1.1.4. Congélation	115
1.1.5. Séchage	115
1.1.6. Broyage	115
1.1.7. Conditionnement	115
1.2. Fabrication des cornets	116
1.2.1. Diagramme de fabrication	116
1.2.2. Formulation des cornets	116
1.2.3. Cuisson	120
1.2.4. Roulage	121
1.2.5. Conditionnement	121

1.3.	Analyses de laboratoire	122
1.3.1.	Caractérisation de la poudre de marc de pommes.....	122
1.3.1.1.	Dosage des sucres	122
1.3.1.2.	Dosage des fibres	124
1.3.1.3.	Dosage des protéines	126
1.3.1.4.	Dosage de la matière sèche	126
1.3.1.5.	Dosage des cendres	126
1.3.2.	Capacité de rétention d'eau.....	127
1.3.3.	Dosage des polyphénols	127
1.3.4.	Microbiologie de la poudre de marc de pommes	128
1.3.4.1.	Dénombrement des levures et moisissures totales	128
1.3.4.2.	Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale	128
1.3.4.3.	Dénombrement des bactéries lactiques	129
1.3.5.	Tests du produit fini	130
1.3.5.1.	Texturomètre	130
1.3.5.2.	Activité de l'eau.....	131
1.3.5.3.	Teneur en humidité.....	132
1.3.5.4.	Colorimètre	132
1.4.	Analyses sensorielles	133
1.4.1.	Test hédonique d'acceptabilité	133
1.4.2.	Test d'évaluation des préférences	133
CHAPITRE 2 : RESULTATS ET ANALYSES.....		134
2.1.	Poudre de marc de pommes	134
2.1.1.	Séchage	134
2.1.2.	Broyage.....	136
2.1.3.	Caractérisation.....	136
2.1.4.	Dénombrement des microorganismes.....	138
2.1.5.	Capacité de rétention d'eau.....	138
2.2.	Cornets.....	139
2.2.1.	Cornets de référence.....	139
2.2.2.	Formulation de cornets avec gluten.....	141
2.2.3.	Formulation de cornets sans gluten	144

2.2.3.1. Cornets sans gluten avec substitution totale de la farine par du marc de pommes	144
2.2.3.2. Cornets sans gluten avec substitution partielle de la farine par de la poudre de marc de pommes.....	145
2.2.4. Tests de vieillissement.....	146
2.2.4.1. « Cornets 26% »	146
2.2.4.2. « Cornets 63% »	148
2.3. Déclaration nutritionnelle	150
2.4. Analyses sensorielles	152
CHAPITRE 3 : PACKAGING	157
3.1. Emballage	157
3.2. Nom de marque et logo	161
3.3. Étiquetage.....	161
DISCUSSION	164
CONCLUSION	168
BIBLIOGRAPHIE	170
ANNEXES	178

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Photo de marc de pommes frais	16
Figure 2 : Crackers Resurrection (Crackers Resurrection, 2021)	18
Figure 3 : Composition du marc de pommes frais	20
Figure 4 : Composition du grain de blé (Biesiekierski, 2017)	24
Figure 5 : Pathologies liées au gluten et leurs maladies les plus communes (Reenaers, C., 2021)	26
Figure 6 : Susceptibilité génétique de la cœliaquie	27
Figure 7 : Signes histologiques de la maladie cœliaque sur la muqueuse intestinale (Popp & Mäki, 2019)	29
Figure 8 : Diagramme de fabrication de la poudre de marc de pommes selon Zlatanovic....	35
Figure 9 : Évolution du contenu en eau dans le marc de pommes séché dans un four à air chaud en fonction de la température, de l'humidité relative et du temps (Fernandes et al., 2021).	38
Figure 10: Presse mécanique (Advanced Technology 12 Head Ice Cream Cone Maker, s. d.)	40
Figure 11 : Processus de roulage.....	41
Figure 12 : Diagramme de fabrication de cornets (Tiefenbacher, 2018).....	42
Figure 13 : Représentation de l'amidon	45
Figure 14 : Représentation de l'amylose et de l'amylopectine	45
Figure 15 : Fécule de maïs	46
Figure 16 : Teneur en humidité absolue de l'air (AH) en g/m ³ à 100 % d'humidité relative (RH) (Tiefenbacher, 2018).....	55
Figure 17 : Isotherme de l'activité de l'eau (isotherme de sorption) (Tiefenbacher, 2018)....	55
Figure 18 : Isotherme de sorption d'une gaufrette (Tiefenbacher, 2018)	57
Figure 19 : Sorption d'humidité d'une gaufrette à 97% d'humidité résiduelle, 15°C (Tiefenbacher, 2018).....	57
Figure 20 : Les 5 zones de la section transversale d'une gaufrette (Tiefenbacher, 2018)....	58
Figure 21 : Échelle de l'activité de l'eau (Novasina (2006)).....	59
Figure 22 : Sorption d'humidité et texture des gaufrettes (Tiefenbacher, 2018)	60
Figure 23 : Répartitions des pertes sur l'ensemble de la chaîne alimentaire	61
Figure 24 : Taille du marché mondial des aliments sans gluten, 2015 - 2025 (USD Million, Kilo Tons) (Global Gluten Free Food Market Size, Share & Industry Forecast 2018–2025, 2020)	63
Figure 25 : Code couleur du Business Model Canvas.....	66
Figure 26 : Distribution des âges des répondants	78
Figure 27 : Répartition des différentes catégories d'âge	79
Figure 28 : Répartition des genres des répondants.....	79
Figure 29 : Répartition des zones d'achat de glace	80
Figure 30 : Habitudes en matière de fréquence de consommation de crèmes glacées	80

Figure 31 : Répartitions des préférences en matière de contenants.....	81
Figure 32 : Répartition des régimes alimentaires	81
Figure 33 : Sensibilité des consommateurs au gaspillage alimentaire.....	82
Figure 34 : Médianes des sensibilités au gaspillage alimentaire en fonction de la catégorie d'âge.....	83
Figure 35 : Avis de la population pour l'idée générale	83
Figure 36 : Questions relatives à la détermination des risques (Dalcenserie, V., 2021)	98
Figure 37 : Schéma de l'emballage primaire.....	106
Figure 38 : Diagramme de fabrication de la poudre de marc de pommes	114
Figure 39 : Diagramme de fabrication des cornets, avec et sans gluten	116
Figure 40 : Appareil à cornets	120
Figure 41 : Variations de température du gaufrier en fonction du temps	120
Figure 42 : Moule à cornets.....	121
Figure 43 : Schéma (Tiefenbacher, 2018) et photo du texturomètre mis en place.....	130
Figure 44 : Signification des valeurs L*, a* et b*.....	132
Figure 45 : Évolution de la teneur en humidité en fonction du temps.....	134
Figure 46 : Graphique de la force en fonction du temps des cornets de références Miran.....	139
Figure 47 : Graphique de la force en fonction du temps des cornets de références Boni.....	140
Figure 48 : Graphique de la force en fonction du temps des cornets de références Le Vésuve	140
Figure 49 : Graphique de la force en fonction du temps de la formulation C (avec gluten avec marc)	143
Figure 50 : Données relatives à la texture des cornets de la formulation D.....	144
Figure 51 : Force de rupture en fonction du temps des cornets 26% marc de pommes	146
Figure 52 : Activité de l'eau en fonction du temps des cornets 26%.....	147
Figure 53 : Humidité résiduelle en fonction du temps des cornets 26%	148
Figure 54 : Force de rupture en fonction du temps des cornets 63% marc de pommes	149
Figure 55 : Activité de l'eau en fonction du temps des cornets 63%.....	150
Figure 56 : Humidité résiduelle en fonction du temps des cornets 63%	150
Figure 57 : Répartition des âges des testeurs	152
Figure 58 : Filmeuse à cloche manuelle MINIMA EVO.....	159
Figure 59 : Ensacheuse horizontale Flowpack GSP45 S	159
Figure 60 : Simulation de la palettisation par le logiciel Stackbuilder.....	160
Figure 61 : Logo et nom de marque de notre produit	161
Figure 62 : Étiquette du produit fini	162
Figure 63 : Représentation finale du packaging.....	163

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Émissions de gaz à effet de serre selon différents scénarios de gestion du marc de pommes (Gassara et al., 2011).	19
Tableau 2 : Émissions de gaz à effet de serre selon différents scénarios pondérés en équivalent CO ₂ par an.	19
Tableau 3 : Comparaison des taux de fibres alimentaires et de potassium dans différentes farines (Zlatanović et al., 2019a; Gorjanovic et al., 2020)	22
Tableau 4 : Présence des différents marqueurs de la maladie coélique en fonction de sa forme (Kneepkens et Blomberg, 2012)	28
Tableau 5 : Taux de séchage, temps de séchage et humidité finale en fonction de l'humidité relative et de la température (Gorjanović et al., 2020).	37
Tableau 6 : Ingrédients utilisés dans la fabrication de 4 cornets sans gluten	43
Tableau 7 : Composition moyenne en amidon de différentes farines (Vitali et al., 2010).	44
Tableau 8 : Composition des farines et de l'amidon probables pour la production de nos cornets.	46
Tableau 9 : Indice d'iode de différentes matières grasses (Tiefenbacher, 2018)	47
Tableau 10 : Valeurs recommandées pour la production de cornets au sucre roulés	50
Tableau 11 : Texture, humidité et activité de l'eau de gaufrettes (Tiefenbacher, 2018)	58
Tableau 12 : Analyse SWOT	65
	67
Tableau 13 : Business Model Canvas	67
Tableau 14 : Valeurs nutritionnelles de deux types de cornets sans gluten	91
Tableau 15 : Pourcentage de substitution de farine par de la poudre de marc de pommes dans différents produits	92
Tableau 16 : Dangers biologiques (Commission Européenne, 2005; Daube, G., 2021)	94
Tableau 17 : Dangers chimiques : les mycotoxines (Commission Européenne, 2006)	95
Tableau 18 : Dangers chimiques : la patuline (Commission Européenne, 2006)	95
Tableau 19 : Dangers chimiques : les métaux lourds (Commission Européenne, 2006)	96
Tableau 20 : Dangers chimiques : les contaminants environnementaux (Commission Européenne, 2011b, 2013a)	96
Tableau 21 : Dangers chimiques : les molécules liées à la cuisson (Commission Européenne, 2011a, 2013b)	97
Tableau 22 : risque d'un danger en fonction de sa fréquence et de sa sévérité (Delcenserie, V., 2021).	97
Tableau 23 : Liste des CCP et PRPo de la production de cornets sans gluten	99
Tableau 24 : Dates de durabilité minimales de cornets sans gluten	112
Tableau 25 : Dimensions de cornets sans gluten	112
Tableau 26 : Ingrédients et quantités des cornets avec gluten sans marc de pommes (GAUCHE) et des cornets avec gluten avec marc de pommes (DROITE)	117
Tableau 27 : Ingrédients et quantités des cornets sans gluten sans marc de pommes	118
Tableau 28 : Ingrédients et quantités des cornets sans gluten avec marc de pommes	118

Tableau 29 : Ingrédients et quantités des « cornets 63% ».....	119
Tableau 30 : Paramètres préfixés du texturomètre TA.XTPlus	131
Tableau 31 : Teneur en équivalent d'acide gallique selon le type et le temps de séchage	135
Tableau 32 : Comparaison au colorimètre des poudres lyophilisées et séchées à l'étuve..	135
Tableau 33 : Résultats de caractérisation des lots 1 et 2 et comparaison avec les données de l'étude Zlatanovic	137
Tableau 34 : Dénombrement des microorganismes dans les lots 1 et 2 de marc de pommes	138
Tableau 35 : Capacités de rétention d'eau en fonction des granulométries des poudres ...	138
Tableau 36 : Données relatives à la texture des cornets de références	139
Tableau 37 : Activité de l'eau des cornets de référence	140
Tableau 38 : Humidité résiduelle des cornets de référence	141
Tableau 39 : Données relatives à la texture des cornets avec gluten	141
Tableau 40 : Humidité résiduelle des formulations A et B	142
Tableau 41 : Données relatives à la texture des cornets avec gluten à différents taux de substitution	142
Tableau 42 : Humidité résiduelle en fonction du pourcentage de substitution de farine de blé par de la poudre de marc de pommes	142
Tableau 43 : Données relatives à la texture des cornets de la formulation C	143
Tableau 44 : Humidité résiduelle de la formulation C	143
Tableau 45 : Données relatives à la texture des cornets de la formulation D (tableau 29) ..	144
Tableau 46 : Comparaison d'une simple et d'une double cuisson de la formulation totale ..	144
Tableau 47 : Données relatives à la texture de cornets sans gluten, avec et sans gomme de guar	145
Tableau 48 : Humidité résiduelle et activité de l'eau en fonction de l'ajout de gomme de guar	145
Tableau 49 : Évolution des données texturales des cornets 26% en fonction du temps	146
Tableau 50 : Activité de l'eau et humidité résiduelle en fonction du temps des cornets 26%	147
Tableau 51 : Évolution des données texturales des cornets 63% en fonction du temps	148
Tableau 52 : Activité de l'eau et humidité résiduelle en fonction du temps des cornets 63%	149
Tableau 53 : Valeurs nutritionnelles du produit	151
Tableau 54 : Comparaison des valeurs nutritionnelles	151
Tableau 55 : Distribution des âges et des genres des testeurs.....	152
Tableau 56 : Moyenne des notes obtenues par cornet et par caractéristique	153
Tableau 57 : Cornet préféré des testeurs.....	154
Tableau 58 : Cornet le moins apprécié des testeurs	154
Tableau 59 : Détection de l'arôme de pommes dans les différents cornets.....	155
Tableau 60 : Comparaison des volumes occupés par cornets.....	157

<i>Tableau 61 : Matériaux d'emballage</i>	159
---	-----

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Polyphénols identifiés et quantifiés dans la poudre de marc de pommes en fonction de la variété (en mg/kg) (Gorjanovic et al., 2020)	178
Annexe 2 : Composition de la poudre de marc de pommes (Zlatanović et al., 2019a)	181
Annexe 3 : Définition de la hauteur de X selon le règlement (UE) n°1169/2011	181
Annexe 4 : Valeurs nutritionnelles de la farine de sarrasin.....	182
Annexe 5 : Valeurs nutritionnelles de l'huile végétale.....	182
Annexe 6 : Valeurs nutritionnelles du sucre	182
Annexe 7 : Valeurs nutritionnelles de la farine de maïs.....	183
Annexe 8 : Valeurs nutritionnelles de la fécule de pomme de terre	183
Annexe 9 : Valeurs nutritionnelles de la gomme de guar	183
Annexe 10 : Valeurs nutritionnelles de la lécithine de soja.....	184
Annexe 11 : Analyse sensorielle : questionnaire	185
Annexe 11 : Analyse sensorielle : classement des 4 types de cornets selon 4 caractéristiques (couleur, texture, tenue en main et goût).	191
Annexe 12 : Analyse statistique de l'ajout de gomme de guar dans les formulations	192
Annexe 13 : Analyse statistique du vieillissement des « cornets 26% »	193

INTRODUCTION

En tant que personne intolérante au gluten, le choix entre un cornet croustillant ou un petit pot ne se pose malheureusement pas. Notre projet vise à répondre à ce problème, en s'attaquant en parallèle à un autre secteur spécifique : la gestion du marc de pommes.

Nous désirions travailler avec le marc de pommes, sous-produit de l'industrie agro-alimentaire issu de la production de jus, pour différentes raisons. Tout d'abord car le marc de pommes est riche en nutriments. Également car sa gestion est, encore à l'heure actuelle, un problème quotidien pour les producteurs de jus. Malgré les nombreuses recherches en vue de sa valorisation, il est encore trop peu valorisé dans le secteur alimentaire.

Nous nous sommes également intéressés à un autre problème actuel et grandissant : les maladies liées au gluten et la difficulté qu'est actuellement de suivre un régime strict à vie sans gluten.

Notre projet s'attaque donc à deux secteurs spécifiques : la valorisation du marc de pommes, sous-produit de l'industrie agro-alimentaire, et la réalisation de cornets sans gluten pour crèmes glacées.

Ce sont sur base de ces **deux problématiques** que nous avons décidé de fabriquer une poudre après séchage et broyage du marc afin de réaliser des cornets, qui conviendraient aux personnes intolérantes au gluten, ne devant plus choisir, par défaut, le petit pot.

Notre projet s'inscrit parfaitement avec la vision et les valeurs de l'entreprise qui nous a soutenu tout au long cette l'année, L'Exploitation de Vergers Hesbignons (EVH) à Fernelmont. Cette entreprise est spécialisée dans la transformation de fruits belges en jus et en son conditionnement. EVH prône des valeurs « responsables » et c'est dans cette optique que l'entreprise valorise déjà le marc de pommes qu'elle produit, en biométhanisation.

Le marc de pommes gagnerait à être valorisé dans le secteur de l'alimentation, et c'est ce à quoi nous voulons aboutir au travers de ce projet. Les cornets seront destinés à une clientèle professionnelle et donc orientée Business-to-Business pour être ensuite proposés aux amateurs de crèmes glacées, intolérants ou non au gluten. Nous avons choisi de destiner notre produit au secteur Business-to-Business car la grande majorité des gens achète de la crème glacée directement chez le glacier.

Afin de mener à bien ce projet, nous avons divisé ce travail en trois parties.

La première, **la partie A**, est consacrée à l'étude de la **littérature**. Nous débuterons donc par un travail de recherche bibliographique où nous étudierons en détails les deux problématiques principales de notre projet : le marc de pommes, ce qu'est ce sous-produit ainsi que ses propriétés, et le gluten, les maladies qui y sont liées et les solutions à envisager lors de la formulation des produits n'en contenant pas. Nous étudierons ensuite la fabrication de la poudre et des cornets ainsi que les tests et analyses qui seront nécessaires à l'évaluation du produit. Nous clôturons cette première partie par un chapitre dédié au **marketing**, où nous réaliserons une étude de marché reprenant différents points tels que le Business Model Canvas et des enquêtes destinées à nos cibles marketing.

La deuxième partie, **partie B**, est dédiée au **cahier des charges**, basé sur les 5 aspects suivants : la **Santé**, la **Sécurité**, le **Service**, la **Société** et la **Satisfaction**. Le cahier des

charges est une partie essentielle au développement de notre produit puisqu'il visera à définir les caractéristiques de celui-ci.

Dans la troisième partie, **partie C**, nous travaillerons au **développement concret du produit**, en ce compris la transformation du marc de pommes en poudre et la fabrication des cornets sans gluten. Cette partie comprendra les matériels et méthodes ainsi que les analyses des résultats, en veillant donc au respect du cahier des charges. Nous commencerons par la fabrication de la poudre ainsi que sa **caractérisation**, suivi de la fabrication des cornets. Nous **analyserons le produit**, ses caractéristiques, sa durée de vie, sa microbiologie ainsi que son appréciation auprès des consommateurs. Le dernier chapitre sera dédié au développement du **packaging** et de **l'emballage** du produit fini.

Nous clôturons ce travail par une discussion et finalement par notre conclusion.

PARTIE A : ETUDE DE LA LITTERATURE

CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART

1.1. Les déchets, sous-produits et coproduits : contexte et définitions

Afin de définir le marc de pommes, nous commencerons par expliquer et définir plusieurs notions qui lui sont rattachées. Nous définirons ce que sont les sous-produits, les déchets et les coproduits. Afin de comprendre ces différences, nous nous référerons aux définitions législatives de ces trois termes. Le terme coproduit n'étant pas défini par la commission européenne, nous utiliserons la définition d'une Ordonnance française qui apporte une nuance importante pour sa différenciation.

Les déchets

Selon la directive 2008/98/CE, un déchet se définit comme *“toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se débarrasser”*. La directive 2008/98/CE précise également dans quels cas un déchet n'est plus considéré comme tel (Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives, 2008) :

“Les États membres prennent les mesures appropriées pour veiller à ce que les déchets qui ont subi une opération de recyclage ou une autre opération de valorisation soient considérés comme ayant cessé d'être des déchets s'ils remplissent les conditions suivantes :

- a) la substance ou l'objet doit être utilisé à des fins spécifiques;*
- b) il existe un marché ou une demande pour une telle substance ou un tel objet;*
- c) la substance ou l'objet remplit les exigences techniques aux fins spécifiques et respecte la législation et les normes applicables aux produits; et*
- d) l'utilisation de la substance ou de l'objet n'aura pas d'effets globaux nocifs pour l'environnement ou la santé humaine.”*

Les sous-produits

En ce qui concerne les sous-produits, ils sont distingués des déchets par la directive 2008/98/CE qui les définit comme suit (Commission européenne, 2008) :

“Les États membres prennent les mesures appropriées pour veiller à ce qu'une substance ou un objet issu d'un processus de production dont le but premier n'est pas de produire ladite substance ou ledit objet soit considéré non pas comme un déchet, mais comme un sous-produit, si les conditions suivantes sont réunies :

- a) l'utilisation ultérieure de la substance ou de l'objet est certaine;*
- b) la substance ou l'objet peut être utilisé directement sans traitement supplémentaire autre que les pratiques industrielles courantes;*
- c) la substance ou l'objet est produit en faisant partie intégrante d'un processus de production; et*
- d) l'utilisation ultérieure est légale, c'est-à-dire que la substance ou l'objet répond à toutes les prescriptions pertinentes relatives au produit, à l'environnement et à la protection de la santé prévues pour l'utilisation spécifique et n'aura pas d'incidences globales nocives pour l'environnement ou la santé humaine.”*

Le marc de pommes est bien repris dans la catégorie des sous-produits car il fait partie de la liste des différents sous-produits autorisés pour l'alimentation animale (Commission Européenne, 2013c).

Les coproduits

Les coproduits ne sont quant à eux pas définis juridiquement par la commission européenne et l'État belge. Nous pouvons néanmoins trouver une définition dans l'Ordonnance 2010-1579 du 17 décembre 2010 (France) qui définit un coproduit comme (Parlement français, 2010) :

“une substance ou produit résultant d'un processus de production qui n'est ni un produit, ni un résidu, ni un déchet, dont la valorisation économique est totale et qui dispose d'un marché adossé à une cotation. Des agents économiques spécialisés, différents des producteurs, interviennent fréquemment pour assurer sa distribution.”

Bien qu'il soit souvent qualifié de coproduit, le marc de pommes est défini en tant que **sous-produit** par la législation européenne. Il correspond à la définition de l'ordonnance française mais celle-ci n'est valable que pour la France et n'a aucune valeur au niveau européen.

1.2. Législation : poudre ou farine de marc de pommes ?

Afin de nommer le produit obtenu suite au séchage et broyage du marc, nous abordons dans ce paragraphe la législation des termes qui pourraient désigner ce produit, à savoir les termes farine et poudre.

Premièrement, il existe une importante différence au niveau de la définition du terme farine entre la législation belge et les règlements européen. Au niveau de la **Belgique**, l'Arrêté royal du 2 septembre 1985 relatif aux farines définit ce que l'on entend par ce terme comme suit :

*« La farine est le produit obtenu par la mouture des **grains de céréales** et destiné à la consommation humaine ».*

Ensuite, au niveau **européen**, le terme farine est utilisé également pour des produits tels que la farine d'os, la farine de plumes, la farine de viande, la farine de sang et les farines d'appendices cutanés.

Notre produit, réalisé à partir de pommes **belges** et produit en **Belgique**, ne pourra donc pas s'appeler « farine de marc de pommes » puisque la pomme est un fruit et non une céréale. De plus, au niveau de la Belgique, il n'existe pas de législation relatif à l'utilisation du terme poudre.

Notre produit sera donc nommé « **poudre de marc de pommes** ».

1.3. Le marc de pommes

1.3.1. Définition

Le marc de pommes est donc un sous-produit. Il résulte du **pressage** de pommes entières pour la fabrication de jus de pommes ou de cidre. Le marc de pommes comprend la pulpe, la peau, les pépins ainsi que la tige. Il représente environ 25% du poids de la pomme (Zlatanović et al., 2019a).



Figure 1 : Photo de marc de pommes frais

Le marc de pommes, dans le cas du jus de pommes et du cidre, est un marc **cru**. Il en existe également du cuit. Ce dernier provient de la production du sirop, tel que le sirop de Liège. Les compositions de ces deux types de marc diffèrent du fait de la solubilisation plus importante dans le cas du marc de pommes cuit.

Les polyphénols et les fibres alimentaires présents dans le marc de pommes procurent plusieurs effets bénéfiques pour la santé tels que des **propriétés antioxydantes, cardioprotectrices, antidiabétiques et hypolipémiantes** (Zlatanović et al., 2019a).

1.3.2. Valorisation actuelle

Le marc de pommes frais se dégrade très vite par fermentation à cause de sa haute teneur en humidité et sa teneur élevée en sucres comme le glucose, fructose, sucrose et xylose (Jung et al., 2015).

Au vu de la composition du marc de pommes, sa réutilisation peut être très intéressante et permet un large éventail de choix. Bien qu'en pratique la valorisation du marc de pommes ne se limite qu'à certains domaines, les études à ce sujet sont en plein essor afin de l'intégrer dans différentes filières.

L'intérêt pour les entreprises de s'en débarrasser est avant tout d'éviter de payer des frais de déchèterie. A titre d'exemple, rien qu'aux USA, l'élimination du marc de pommes coûte 10 millions de dollars par an (Jung et al., 2015).

La production d'énergie

En Belgique, une grande partie du marc de pommes est utilisée dans la production de bioéthanol. Le bioéthanol est produit par fermentation anaérobie, ce qui permet de convertir environ 80% de la masse de marc de pommes en biogaz (Sudha, 2011).

C'est par exemple le cas de l'entreprise EVH, où l'intégralité de leur marc est valorisée de cette façon. Cela permet aux entreprises ayant de grandes quantités de marc de pommes de s'en débarrasser sans être contraintes de payer des frais de déchèterie. A l'heure actuelle, il n'y a pas de valorisation financière pour ce sous-produit, le marc de pommes est donné aux producteurs de bioéthanol et en contrepartie ceux-ci se chargent de venir le chercher et de l'acheminer jusqu'au site de production. C'est donc une opportunité pour les producteurs de jus de pouvoir réintégrer dans la filière agro-alimentaire un sous-produit et d'en tirer profit.

Des études sont encore en cours dans le but d'améliorer le rendement de transformation du marc de pommes en éthanol (Demiray, 2021).

L'alimentation animale

Le marc de pommes est actuellement revalorisé dans le secteur de l'alimentation animale. En effet, c'est le cas pour les animaux de rente, de laboratoire ainsi que pour les insectes. La richesse nutritive du marc de pommes et son prix le rendent très intéressant comme moyen de valorisation.

Il peut être donné aux bovins (ou autres polygastriques). Il est cependant nécessaire de faire attention à ne pas dépasser une certaine limite. En effet, à partir d'une certaine dose, le marc de pommes peut provoquer une diminution de l'appétence et des troubles digestifs dû à sa richesse en pectines (Roy & Desnoux, 2013).

Chez les monogastriques tel que le porc, il est également conseillé de rationner la quantité distribuée car le marc de pommes est riche en cellulose et les monogastriques sont incapables de la digérer. Si elle est présente en trop grande quantité, elle va provoquer des désordres dans le système digestif (Roy & Desnoux, 2013).

Le marc de pommes continue de faire l'objet de recherches pour le traitement de certaines maladies telle que la stéatose hépatique non alcoolique (autrement appelée maladie du foie gras) chez des rats. L'ajout de marc de pommes dans la ration a permis de diminuer l'inflammation hépatique et de faire baisser la teneur en acides gras saturés et monoinsaturés, en plus de provoquer une diminution des molécules pro-inflammatoires hépatiques et adipeuses (Skinner, 2019).

L'épandage

Le marc de pommes peut également être utilisé dans du compostage ou de l'épandage par les agriculteurs.

L'agro-alimentaire

Actuellement, il existe très peu de produits commercialisés contenant du marc de pommes. La marque "Resurrection" propose cependant des crackers à base de marc de pommes ou de drêche de brasserie (Crackers Resurrection, 2021). Ils proposent plusieurs gammes de biscuits salés et ont pour objectif de montrer que certains produits considérés comme déchets peuvent présenter un intérêt nutritionnel pour l'homme.



Figure 2 : Crackers Resurrection (Crackers Resurrection, 2021)

Ce secteur semble extrêmement **prometteur** au vu des nombreuses études réalisées dernièrement. Ces études ont pour but de remplacer une partie de la farine de blé par de la poudre de marc de pommes ou par du marc de pommes entier dans des produits de boulangerie ou de biscuiterie. Des cookies ont été réalisés en remplaçant jusqu'à 75% de la farine de blé par de la poudre de marc de pommes (Zlatanovic, 2019a). Leur conservation et leurs propriétés sensorielles ont été étudiées et celles-ci demeurent très bonnes, avec des résultats optimaux qui semblent être atteints vers les 50% de substitution de farine de blé par de la poudre de marc de pommes. Ces valeurs sont élevées par rapport à d'autres études faites sur les cookies, où le taux de substitution se situait entre 5 et 25% (Usman, 2020).

Des farines de blé supplées avec de la poudre de marc de pommes ont également été testées dans des pains, autant sur du pain français (He & Lu, 2015) que sur certains pains traditionnels notamment le Sangak (pain iranien) où le taux de substitution allait jusqu'à 7% (Jannati et al., 2018).

La poudre de marc de pommes se mélange bien avec la farine de blé car il y a une interaction entre les fibres alimentaires et le gluten qui permet d'augmenter fortement la capacité de rétention d'eau du produit (Sudha, 2011).

Ces produits contenaient toujours une partie de farine de blé, et donc du **gluten**. D'autres études ont testé l'ajout de marc de pommes dans des produits sans gluten : par exemple la réalisation de gâteaux à base de poudre de marc de pommes, d'amidon et de gomme xanthane (Azari et al., 2020).

D'autres types d'utilisations dans le secteur agro-alimentaire sont également possibles, les levures de boulangeries sont jusqu'à présent cultivées essentiellement avec de la mélasse comme milieu nutritif, qui est un sous-produit de l'extraction de sucre. Cependant, au vu de la concentration élevée en sucres fermentescibles et en inhibiteur de croissance du marc de pommes, cela en fait un substrat prometteur pour remplacer la mélasse dans la croissance des levures (Sudha, 2011).

Le fractionnement

Au vu des composés restants dans le marc de pommes, il est également possible de procéder à son fractionnement afin d'en extraire directement certaines molécules. Les composés les plus extraits sont les pectines, qui peuvent jouer différents rôles en fonction de la variété de pommes, comme gélifiants/épaississants ou comme prébiotiques (Calvete-Torre, 2021). Les

études actuelles visent à améliorer ce rendement et en l'obtention d'un composé final le plus pur possible (Chen & Lahaye, 2021).

En fonction du moyen d'extraction, il est également possible de récupérer de la cellulose ou de l'hémicellulose des résidus par la suite (Chen & Lahaye, 2021).

1.3.3. Impact en tant que déchet

Le tableau 1 présente l'impact du marc de pommes sur les émissions de gaz à effet de serre en fonction des procédés utilisés. Les procédés pris en compte sont la nutrition animale, l'enfouissement en décharge, l'incinération, la production enzymatique et le compostage (Gassara et al., 2011).

Scénario (tonnes de CO ₂ équivalent par an)	Nourriture animale	Enfouissement	Incineration	Production enzymatique	Compostage
Émissions de GHG durant le transport	62,15	27,75	221,98	221,98	110,99
Émissions de CO ₂	PPC	201,13	8498,91	684,83	57,79
Émissions de CH ₄	901,23	1612,69	PPC	PPC	PPC
Émissions de N ₂ O	PPC	PPC	50,24	PPC	1105
Récupération d'énergie	PPC	PPC	7649,01	PPC	PPC

Tableau 1 : Émissions de gaz à effet de serre selon différents scénarios de gestion du marc de pommes (Gassara et al., 2011).

PPC : Pas pris en compte

Il est difficile de comparer tous les scénarios sans les présenter en tonnes d'équivalent CO₂ par an, qui correspond à une pondération des différentes molécules émises par rapport au CO₂.

Scénario	Nutrition animale	Enfouissement	Incineration	Production enzymatique	Compostage
Tonne de CO ₂ équivalent/an	963,38	1841,00	1122,10	906,81	1273,00

Tableau 2 : Émissions de gaz à effet de serre selon différents scénarios pondérés en équivalent CO₂ par an

Voici les procédés et leur impact sur les émissions de gaz à effet de serre, allant des moins polluants aux plus polluants :

- 1) **La production d'enzymes ligninolytiques** est le processus le plus respectueux de l'environnement selon les recherches de Gassara et al. (2011). Il se fait par une fermentation aérobie et libère du CO₂ et non du CH₄. Étant donné l'impact moins élevé du CO₂ sur l'effet de serre, cela explique cette valeur basse.
- 2) **La nutrition animale** (porcs, bovins et moutons) présente également des valeurs assez basses sur son impact sur l'effet de serre. Cependant, cette donnée ne reprend que la production d'aliments pour animaux et non les conséquences qu'elle aura. Les émissions du fumier liées à la consommation ne sont pas prises en compte et faussent ainsi les résultats. Le fumier émet du CH₄ et du N₂O, qui sont deux gaz contribuant de

manière significative à l'effet de serre. Si ces derniers étaient pris en compte lors des calculs, la valeur ferait partie des valeurs les plus polluantes (Zhao et al., 2009).

- 3) **L'incinération** se trouve en troisième position. En effet, un système de récupération du CO₂ est utilisé, sans celui-ci l'incinération serait le plus polluant des procédés.
- 4) **Le compostage** émet des gaz à effet de serre provenant de la dégradation aérobie du marc de pommes, les émissions de méthane ont donc pu être négligées. La consommation des machines nécessaires au retournement du compost a également été prise en compte dans les calculs.
- 5) **L'enfouissement en décharge** est également un procédé hautement polluant par rapport aux autres scénarios. En effet, étant donné que les déchets sont enterrés, ils seront privés d'oxygène et entraîneront de ce fait une fermentation anaérobie, celle-ci menant à la production de méthane, faisant monter fortement sa valeur.

Il est possible de récupérer ce méthane dans les décharges mais pour cela, les décharges doivent être équipées de systèmes de récupération représentant un coût financier supplémentaire. Ils permettent néanmoins de récupérer plus de 84% du méthane émis (Spokas et al., 2006) et donc de limiter grandement l'impact sur les émissions et permet de réutiliser ce gaz par la suite.

1.3.4. Propriétés et contenu du marc et de la poudre

Le marc de pommes contient environ **75% d'eau**. C'est pourquoi il est essentiel de le **sécher** en vue de sa conservation et de son utilisation ultérieure. Cette étape est délicate car, au vu du nombre de composés présents, nous ne pourrions pas nous permettre d'utiliser des températures trop élevées pour ne pas prendre le risque de détruire toutes les molécules d'intérêts présentes. En effet, les propriétés nutritives, l'activité biologique des phénols et les fibres alimentaires sont thermosensibles (Zlatanović et al., 2019a).

Le marc de pommes est composé de 70 à 75% de chair, de 2 à 3,3% de pépins et de 0,4 à 1% de tiges. Le reste est représenté par la peau (Sudha, 2011). Bien que souvent écartée de l'agro-alimentaire, la peau de pommes contient encore beaucoup de composés favorables à la santé humaine (Wolfe et al., 2003). La figure 3 présente de manière visuelle la composition du marc de pommes frais.

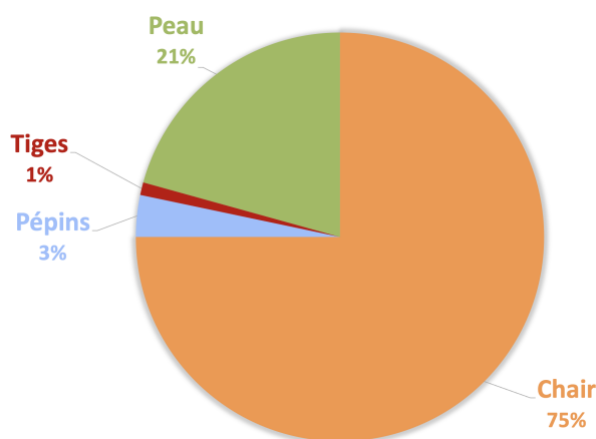


Figure 3 : Composition du marc de pommes frais

Les **propriétés techno-fonctionnelles** du marc de pommes sont les suivantes (Zlatanović et al., 2019a) :

- Les propriétés de gonflement
- La capacité élevée de rétention d'eau et d'huile
- L'effet positif sur la texture
- Les propriétés sensorielles des aliments

La stabilité des composés polyphénoliques est inversement proportionnelle à l'activité de l'eau (a_w) du marc de pommes, il est donc essentiel de la diminuer le plus rapidement possible une fois celui-ci produit (Lavelli & Corti, 2011).

Les polyphénols les plus importants dans les pommes sont les suivants (Podsędek et al., 2000) :

1. Les épicatechines, catéchines et leurs stéréo-isomères, et la procyanidine
2. L'acide chlorogénique et ses isomères
3. La quercétine-3-O-galactoside et ses mono-glycosides et di-glycosides
4. Le xyloglucoside de phlorétine et phloridzine
5. La cyanidine-3-galactoside et autres cyanidines glycosides

Ces molécules sont toutes de puissants antioxydants. Leurs concentrations peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs tels que la variété, la récolte, le stockage et le traitement des pommes. Il y aura également une différence en fonction des différentes parties de la pomme, comme la chair ou la peau (Boyer & Liu, 2004). Ces polyphénols se retrouvent en grande partie dans le marc de pommes issu de la production de jus, il serait intéressant de les doser dans notre produit fini, car ce sont eux qui détermineront la majorité de l'activité antioxydante. La concentration de la totalité des polyphénols est reprise dans l'annexe 1.

Lorsque l'activité de l'eau est à son plus haut point, la stabilité des composés phytochimiques est la suivante : phloridzine > acide chlorogénique > quercétine 3-O-galactoside > épicatechine > procyanidine B2 et cyanidine 3- O-galactoside. La phloridzine est donc le composé le plus stable et a un potentiel antidiabétique reconnu (Lavelli & Corti, 2011). La phloridzine permet de diminuer l'hyperglycémie chez des patients diabétiques, mais ne corrige pas l'hypoinsulinémie. Elle se fixe sur les pompes Na^+ /glucose et empêche le glucose de passer dans le sang (Masumoto et al., 2009).

La poudre de marc de pommes

La poudre de marc de pommes est riche en **fibres alimentaires** et en **antioxydants** (permettant d'améliorer le péristaltisme intestinal et la flore intestinale). Cette poudre peut donc permettre de compléter des rations alimentaires où il manque de fibres alimentaires et d'antioxydants. La poudre de marc de pommes va également permettre de réguler le taux de glucose et de lipides dans le sang (Zlatanović et al., 2019a).

Contrairement aux farines à base de céréales, la poudre de marc de pommes ne contient pas d'acide phytique. L'acide phytique est un facteur antinutritionnel (Zlatanović et al., 2019a). Les facteurs antinutritionnels réduisent la biodisponibilité du calcium, du magnésium, du zinc et du

cuivre. Cela peut aggraver certaines carences car certains de ces composés, tel que le potassium, ne sont pas suffisamment présents dans nos régimes occidentaux.

La teneur en calories de la poudre de marc de pommes est 15 à 20% inférieure à celle des farines traditionnelles (Zlatanović et al., 2019a).

La poudre de marc de pommes réalisée par Zlatanović et al. (2019a) contient 12,5 fois plus de fibres alimentaires que celle de blé, 20 fois plus que celle de maïs, 10 fois plus que celle de sarrasin et 16 fois plus que celle de riz. Cette concentration en fibres alimentaires sera d'autant plus importante car les produits sans gluten en contiennent majoritairement très peu. Un régime avec de hautes teneurs en fibres permet d'avoir des effets antidiabétiques et hypolipémiants en plus de fonctions antioxydantes et cardioprotectrices (Gorjanović et al., 2020). Des études ont également montré l'effet positif de la consommation de marc de pommes sur la résistance à l'insuline et l'hyperglycémie chez des patients atteints de diabète de type 2 (Podsędek et al., 2000).

La concentration en potassium dans la poudre de marc de pommes est 4 à 7 fois plus élevée que dans la farine de riz et 3 à 4 fois plus élevée que dans la farine de blé et de maïs. Le potassium réduit le risque d'accident vasculaire cérébral, de maladie coronarienne et est impliqué dans la prévention du diabète. Il est donc important d'en avoir un apport suffisant dans son régime alimentaire (Gorjanović et al., 2020). Le tableau 3 présente la comparaison des taux de fibres et de potassium dans différentes farines.

	Marc de pomme	Blé	Riz	Maïs	Sarrasin	Farine sans gluten à base d'avoine
Fibres alimentaires (g/100g)	42,5	3,45	2,62	2,18	4,05	0,43
Potassium (mg/kg)	5520	1500	974	1487	/	/

Tableau 3 : Comparaison des taux de fibres alimentaires et de potassium dans différentes farines (Zlatanović et al., 2019a; Gorjanovic et al., 2020)

La poudre de marc de pommes contient 1,5 fois plus de composés phénoliques que la farine de sarrasin, 8 fois plus que la farine de maïs, 50 fois plus que la farine de riz, 60 fois plus que la farine de blé (Zlatanović et al., 2019a).

La majorité des composés phénoliques présents dans la pomme se trouve dans la peau. C'est donc pour cela que le marc de pommes est très riche en composés phénoliques. Les polyphénols sont également le constituant principal des pépins (Gorjanović et al., 2020). Leur concentration dans le marc de pommes dépend de plusieurs facteurs :

- La variété de pommes utilisée
- La technique de pressage
- Les conditions de conservation
- Les conditions de séchage

La présence de composés phénoliques dans les aliments permet également d'augmenter la capacité antioxydante de ceux-ci en limitant l'oxydation des lipides dans les denrées alimentaires en contenant (Gorjanović et al., 2020). L'effet antioxydant est majoritairement

apporté par l'acide chlorogénique, les flavonoïdes, la quercétine et la phlorizine (Gorjanović et al., 2020).

Les propriétés antioxydantes des composés phénoliques sont stables au cours du temps et il n'est donc pas nécessaire d'ajouter des anti-agglomérants dans la farine (Zlatanović et al., 2019a).

Propriétés de la poudre de marc de pommes

La stabilité thermique de la poudre de marc de pommes (38°C) est nettement supérieure à la température de stockage (22°C), sa structure ne se modifiera donc pas pendant le stockage. Il conservera sa consistance, sans s'agglomérer et gardera ses propriétés organoleptiques intactes (Zlatanović et al., 2019a).

La capacité de rétention d'eau/d'huile est la masse d'eau/d'huile qu'un produit peut absorber par rapport à sa masse. Elle est exprimée en g d'eau/d'huile absorbée/g de produit. La capacité de rétention d'eau (WHC : Water Holding Capacity) élevée de la poudre de marc de pommes aura une influence durant la cuisson. En piégeant l'eau présente dans la pâte, la gélatinisation de l'amidon sera partielle et il en restera donc une partie qui ne pourra être digérée par les enzymes digestives (Alongi et al., 2019). Cela aura pour conséquence de diminuer l'indice glycémique du produit.

La capacité de rétention d'eau augmente le poids des selles et ralentit la vitesse d'absorption des nutriments dans l'intestin (Sudha, 2011).

Ces valeurs sont relativement élevées pour la poudre de marc de pommes en raison de la quantité de fibres alimentaires présentes, en effet celles-ci vont permettre de former un réseau tridimensionnel capable de capter les molécules d'eau ou d'huile présentes. C'est la structure poreuse des polysaccharides qui va permettre d'augmenter la rétention d'eau grâce aux liaisons hydrogènes (Sudha, 2011).

La présence de fibres alimentaires solubles et la capacité de rétention d'eau élevée induisent une augmentation de la viscosité de la pâte. Les fibres alimentaires solubles comprennent les pectines et les gommes et les fibres alimentaires insolubles comprennent la cellulose, l'hémicellulose et la lignine (Paquot, N., 2021).

Les céréales ont des taux plus élevés de fibres alimentaires insolubles, contrairement aux fruits où ce sont les fibres solubles qui seront majoritaires (Sudha, 2011). En ce qui concerne le marc de pommes, le rapport des fibres insolubles sur les fibres solubles est de 1 pour 3 (Alongi et al., 2019). Ce rapport est important car il va modifier des propriétés comme la capacité de gonflement qui sera reliée à la proportion de fibres insolubles.

Le rapport fibres insolubles sur fibres solubles impacte également la digestion. Les fibres solubles vont former un bol alimentaire plus visqueux, cette propriété est intéressante car elle permet à l'amidon d'être protégé des enzymes amylolytiques et donc de diminuer l'index glycémique car celui-ci sera plus difficile à digérer (Alongi et al., 2019). Les fibres alimentaires insolubles vont quant à elles permettre d'accélérer l'avancement du bol alimentaire dans le tractus digestif en augmentant le volume du bol alimentaire. Elles vont également permettre de diminuer le risque de diabète de type 2 (Alongi et al., 2019; Paquot, N., 2021).

Influence de la granulométrie de la poudre de marc de pommes

D'après l'étude de Sudha, M. L. (2011), si la granulométrie de la poudre de marc de pommes diminue, cela affecte ses propriétés. La capacité de rétention d'eau et d'huile serait directement proportionnelle à la taille des particules, contrairement au pouvoir et à la stabilité émulsifiante qui lui sont inversement proportionnelles. Il sera donc important de trouver une granulométrie satisfaisante afin de garder une pâte homogène et qui retiendra suffisamment les molécules d'eau libre.

Cependant, il y a bien une variation des propriétés en fonction de la granulométrie mais d'autres facteurs en sont aussi responsables comme la variété, les conditions de stockage, la méthode de séparation du marc de pommes et la qualité du produit. Les résultats sont donc à modérer en fonction de la méthode utilisée (Grover et al., 2003).

1.4. Le gluten

1.4.1. Définition

Le codex alimentarius définit le gluten comme (Codex Stan 118-1979, 1979) : *“fraction protéique du blé, du seigle, de l'orge, de l'avoine ou de leurs variétés croisées et de leurs dérivés, à laquelle certaines personnes sont intolérantes et qui est insoluble dans l'eau et dans le NaCl à 0,5 M.”*

La **gliadine** est la prolamine du blé. Le codex alimentarius la définit comme : *“fraction du gluten qui peut être extraite à l'aide d'éthanol à 40%-70%. La prolamine du blé est la gliadine, celle du seigle la sécaline, celle de l'orge l'hordéine et celle de l'avoine l'avénine.”*

Le gluten est la principale protéine de stockage du blé et représente environ 85% des protéines totales. On retrouve 2 familles principales : les gliadines et les gluténines. Elles représentent, avec les albumines et les globulines, la totalité des protéines présentes dans le blé. Les proportions sont les suivantes : 40-45% de gliadines, 40-45% de gluténines, 10-15% d'albumines et 5% de globulines (Saadoun-Cousin et al., 2002). Un gramme de farine de blé contient 120 mg de protéine et 102 mg de gluten (Beaudouin et al., 2007).

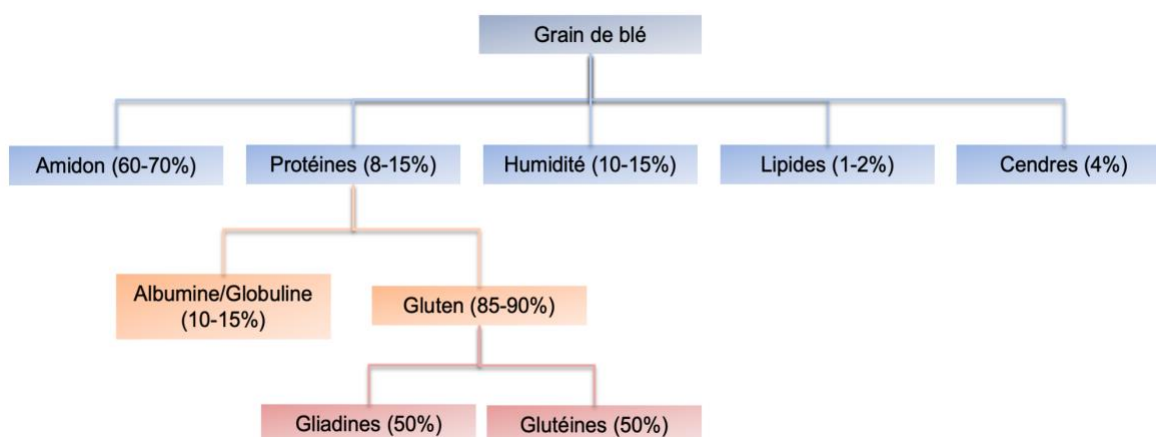


Figure 4 : Composition du grain de blé (Biesiekierski, 2017)

Les gliadines et les gluténines sont séparées en fonction de leur solubilité : les gliadines sont solubles dans une solution eau-éthanol (60%) alors que les gluténines y sont insolubles (Wieser, 2007). Les gliadines sont majoritairement responsables de l'extensibilité et de l'élasticité des pâtes formées alors que les gluténines ont quant à elles des propriétés cohésives et élastiques ce qui donnera l'élasticité et la résistance à la pâte. Durant la préparation de la pâte, ce sont les liaisons entre différents acides aminés de ces deux protéines qui vont aider à donner cette consistance au gluten (Wieser, 2007).

La quantité moyenne de gluten consommé par jour dans les régimes occidentaux serait de 10,4 grammes. La commission du codex alimentarius définit un aliment "sans gluten" comme contenant moins de 20 ppm de gluten (ppm = partie par million, équivalent à des mg par kg). Le seuil de sécurité peut varier fortement d'une personne à l'autre, il peut aller de 10 à 100 mg/jour.

Les gliadines contiennent des séquences de peptides (proline et glutamine) résistant aux sucs digestifs, ces peptides ne seront donc pas digérés. Ce sont ces résidus riches en proline qui provoquent des réactions immunitaires chez les personnes atteintes de la maladie cœliaque en passant intacte dans les intestins.

Les inhibiteurs de l'amylase et de la trypsine seraient les responsables de la sensibilité au gluten non cœliaque. Une partie de ceux-ci provoquerait une libération de cytokines pro-inflammatoires.

Le gluten n'est pas seulement la résultante de la présence de gliadine et de gluténine, il faut également ajouter à cela de l'énergie et de l'amidon afin de former le réseau de protéines (Wieser, 2007).

1.4.2. Intérêts et fonctions

Si le gluten est autant présent dans notre alimentation ce n'est pas un hasard. En effet, il présente un grand nombre de propriétés utiles dans la formation des aliments que nous consommons comme le pain ou les pâtes. Voici quelques propriétés qui rendent son utilisation difficilement remplaçable :

La rétention d'eau

Les protéines du gluten sont insolubles dans l'eau et sont reliées entre elles par des liaisons covalentes et non-covalentes, permettant la formation d'une masse viscoélastique cohésive.

Sa capacité à absorber rapidement l'eau et à la retenir augmente les rendements des produits dans lesquels elle est intégrée et prolonge la durée de conservation en diminuant l'activité de l'eau (Day, 2011). C'est pour cette raison que l'on en retrouve sous forme pure dans divers aliments ne contenant pas pour autant des céréales.

Les propriétés rhéologiques

Lorsque le gluten est humide, les protéines forment une matrice cohésive élastique permettant de piéger les bulles de gaz formées dans la pâte et ainsi créer des textures aérées (Day, 2011). Sans le gluten, le gaz pourrait s'échapper et réduire le volume du produit une fois cuit. Pour éviter cela, certains produits sont enrichis en gluten afin d'assurer la formation d'un produit avec une texture aérée.

La solubilité

Le gluten n'est pas soluble dans l'eau sous sa forme naturelle mais peut l'être s'il est obtenu par modification enzymatique, permettant son utilisation dans des boissons notamment. (Flambeau et al., 2016).

Le goût

Le gluten n'a pas un goût marqué. C'est pour cette raison qu'il est facile de l'introduire dans différentes denrées alimentaires sans en affecter les propriétés organoleptiques. En revanche, dans le cas d'un mauvais stockage et avec une trop grande concentration en lipides, le gluten peut développer un goût désagréable de rancissement par l'oxydation des lipides (Day, 2011).

1.4.3. Les maladies liées au gluten

Les pathologies liées au gluten sont multiples et peuvent toucher différents organes ou systèmes du corps. La figure 5 présente les différentes pathologies liées au gluten.

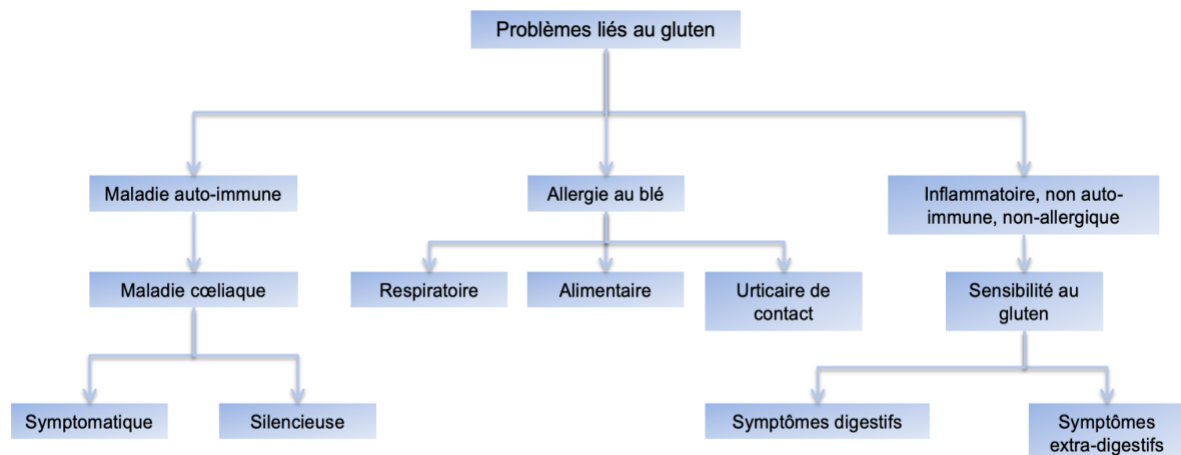


Figure 5 : Pathologies liées au gluten et leurs maladies les plus communes (Reenaers, C., 2021)

1.4.3.1. La maladie cœliaque

La maladie cœliaque est une **maladie auto-immune** qui survient suite à la consommation de gluten. C'est la partie gliadine du gluten qui est responsable de cette atteinte, ainsi que les prolamines d'autres céréales comme l'orge ou le seigle (Fasano & Catassi, 2001). La maladie cœliaque toucherait environ 1% de la population. Ce pourcentage est très certainement sous-évalué car il ne comprend que les cas diagnostiqués (Verkarre & Brousse, 2013).

La maladie cœliaque est une entéropathie génétique chronique caractérisée par une mortalité accrue due à ses complications, principalement la maladie cœliaque réfractaire, le carcinome de l'intestin grêle et le lymphome abdominal (Biagi et al., 2014). L'âge du diagnostic et la qualité du régime sans gluten sont des facteurs de risque.

Pour exprimer la maladie cœliaque, plusieurs facteurs doivent être remplis (Sapone et al., 2012; Reenaers, C., 2021) :

- 1) Être porteur du **gène de prédisposition**, qui exprime les antigènes leucocytaires humains (HLA) de classe II HLA-DQ2 et HLA-DQ8 dans respectivement 95 et 5% des cas (Kneepkens et Blomberg, 2012).
- 2) **Consommer du gluten**. Si la consommation de gluten n'a pas eu lieu, le patient ne présentera pas de symptôme.
- 3) Être porteur de l'**auto-anticorps anti-transglutaminase tissulaire**
- 4) **Avoir une grande affinité entre le gluten et les cellules de l'immunité adaptative**

Si un de ces quatre facteurs n'est pas rempli, nous ne pouvons pas parler de maladie cœliaque.

Si l'on veut résumer brièvement la maladie cœliaque, il s'agit donc du résultat d'une réponse immunitaire médiée par les cellules T contre le gluten ingéré (Fasano & Catassi, 2001).

Le traitement de la maladie cœliaque est un **régime sans gluten strict et à vie**. La dose tolérable est fixée à 50 mg/jour. Cette dose ne permet pas d'écart en tant que tel mais prend en compte une consommation accidentelle ou des contaminations croisées. Le codex alimentarius donne comme limite 20 mg/kg pour des aliments dits exempt de gluten (Codex Stan 118-1979, 1979).

La maladie cœliaque peut être de plusieurs types : la maladie cœliaque symptomatique, la maladie cœliaque silencieuse ou asymptomatique et la maladie cœliaque latente ou potentielle. La figure 6 résume ces différents types.

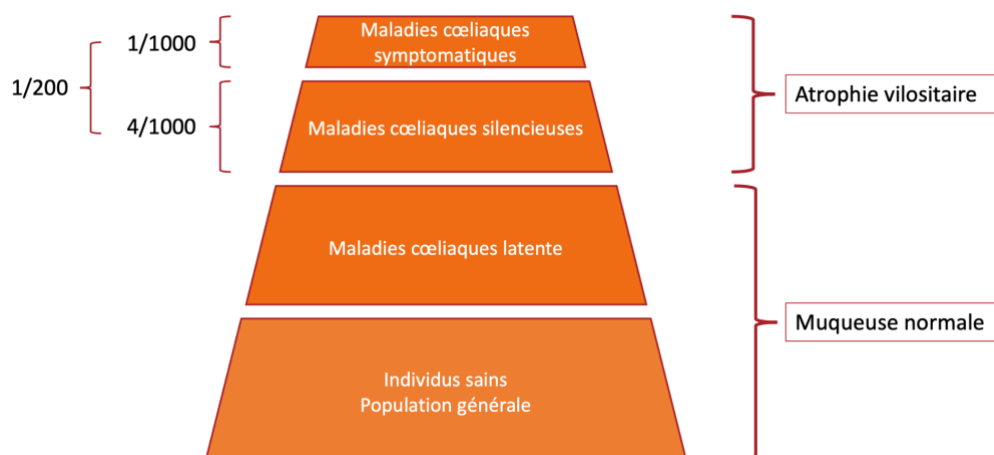


Figure 6 : Susceptibilité génétique de la cœliaquie

- La maladie cœliaque symptomatique (1/1000)

Elle se caractérise par des symptômes gastro-intestinaux comme une diarrhée chronique, des vomissements, une distension abdominale ou par d'autres conséquences à ces symptômes comme un retard de croissance chez les enfants, une anorexie, de la fatigue ou une malabsorption (Fasano & Catassi, 2001). La malabsorption conduit souvent à des carences telles l'anémie ferriprive, l'hypoalbuminémie, l'hypocalcémie ainsi que des carences en vitamines.

Des symptômes plus rares sont également retrouvés, comme de l'ostéoporose, des douleurs articulaires, des aphtes buccaux, un retard pubertaire ainsi qu'une ménopause précoce (Kneepkens et Blomberg, 2012).

- La maladie cœliaque silencieuse ou asymptomatique (4/1000)

Ces patients montrent une présence positive aux anticorps lors des analyses sérologiques mais n'expriment pas les symptômes aussi fortement que les malades présentant la forme symptomatique. La muqueuse intestinale est également touchée et la mise en place d'un régime sans gluten améliore les capacités physiques et intellectuelles du patient.

- La maladie cœliaque latente ou potentielle

Cette catégorie de maladie cœliaque regroupe les personnes ayant des biopsies normales mais présentant des risques accrus de développer la maladie cœliaque (Popp & Mäki, 2019). Ces patients peuvent néanmoins présenter des symptômes extra-intestinaux similaires aux autres types avant que les intestins ne soient atteints. Il est important pour ces patients de suivre un régime sans gluten aussi strict que dans les autres cas car ils peuvent souffrir des mêmes complications. La difficulté se retrouve dans le diagnostic.

Dans ces 3 types de maladies cœliaques, le patient possède des **anticorps positifs**. Cependant, la présence de lésions histologiques au niveau de la muqueuse intestinale n'est retrouvée uniquement chez les formes symptomatiques et silencieuses.

Le tableau 4 montre que la condition nécessaire à la maladie cœliaque (et à toutes ses différentes formes) est la présence du DQ2 ou DQ8, mais que les autres marqueurs peuvent être retrouvés ou non lors des différentes phases. Il est important de comprendre, dans ce tableau, la difficulté d'écarter la maladie cœliaque même en cas d'absence d'anticorps, de lésions histologiques et de symptômes.

Marqueurs de la maladie cœliaque				
Forme de la maladie cœliaque	DQ2/8	Anticorps	Lésions histologiques	Symptômes
Symptomatique	Oui	Oui	Oui	Oui
Silencieuse	Oui	Oui	Oui	Non
Latente	Oui	Oui/Non	Non	Oui/Non
Potentielle	Oui	Oui	Non	Oui/Non

Tableau 4 : Présence des différents marqueurs de la maladie cœliaque en fonction de sa forme (Kneepkens et Blomberg, 2012)

La figure 7 illustre l'évolution de la maladie cœliaque au niveau intestinal. Nous pouvons observer les différents états qui peuvent être retrouvés chez un patient. De gauche à droite : morphologie normale de la muqueuse, inflammation de la muqueuse, hyperplasie des cryptes et atrophie villositaire (Popp & Mäki, 2019). L'état de la muqueuse intestinale permet de diagnostiquer la maladie et dans certains cas d'estimer le début de celle-ci. Une personne souffrant de la maladie cœliaque mais ne consommant pas de gluten aura une muqueuse tout à fait normale, comme une personne saine.

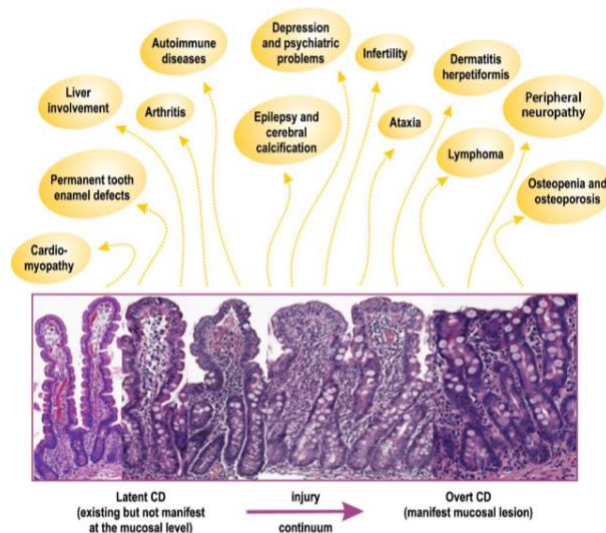


Figure 7 : Signes histologiques de la maladie cœliaque sur la muqueuse intestinale (Popp & Mäki, 2019)

En plus des symptômes rapportés, la maladie cœliaque augmente considérablement le risque de lymphomes T de haut degré de malignité (EATL), jusqu'à multiplier les risques par 80 en cas d'un régime sans gluten non respecté. Ce type de lymphome a un très mauvais pronostic vital à long terme (Kelly et al., 2015).

La maladie cœliaque favorise également le développement de maladies auto-immunes et d'autant plus si le patient a des antécédents familiaux. Dans ce cas également, un régime sans gluten permet de réduire considérablement ce risque (COSNES et al., 2008).

1.4.3.2. L'allergie au blé

L'allergie au blé se caractérise par une **réaction anormale du système immunitaire** suite à la présence de blé, et dans la majorité des cas, plus particulièrement de la gliadine (de Boissieu & Dupont, 2009). Cette pathologie est fréquemment retrouvée chez les enfants et guérit souvent spontanément avec le temps. L'allergie au blé est la 5^e allergie la plus répandue dans le monde (13,2% des allergies) et est en nette augmentation, elle regroupe 5,2% des anaphylaxies sévères relevées entre 2002 et 2005 (Beaudouin et al., 2007).

L'allergie au blé peut-être de 2 types :

- L'allergie au blé IgE-médiée :

Dans ce cas, les réactions sont provoquées très rapidement après l'ingestion de blé. Elle est similaire aux autres allergies alimentaires. Les premiers symptômes arrivent chez le nourrisson lors de l'introduction des céréales dans son alimentation, souvent au cours de la première année de vie.

Les symptômes sont des réactions de type urticaire, rhinoconjonctivite allergique ou bronchospasme et très rarement des réactions anaphylactiques sévères.

Il existe une forme particulière des allergies au blé IgE-médiée. Il s'agit de l'**anaphylaxie au blé induite par l'effort**. Cette forme se manifeste majoritairement chez l'adolescent et le jeune adulte. Elle ne survient que lorsque l'individu a consommé du blé dans les heures précédant un effort. Les symptômes sont beaucoup plus graves et peuvent mener à des réactions anaphylactiques sévères. Si l'individu consomme du blé et ne fournit aucun effort, aucune réaction n'aura lieu.

- L'allergie au blé non IgE-médiée

Cette allergie est fort semblable à la maladie cœliaque au niveau de symptômes qu'elle induit. Ces symptômes arrivent en général vers l'âge de 17 mois et son diagnostic se fait vers l'âge de 24 mois.

Les symptômes les plus fréquents sont une diarrhée chronique, une cassure dans la courbe du poids du nourrisson, des douleurs et des ballonnements abdominaux. Elle peut également mener à une malabsorption et une atrophie villositaire partielle au niveau du duodénum.

Le traitement des allergies au blé, aussi bien IgE-médié que non IgE-médié, est un régime d'éviction du blé et du gluten, de l'orge, de l'avoine, du seigle, de l'épeautre, du kamut et des dérivés du blé. Pour le cas particulier de l'allergie au blé induite par l'effort, ce régime doit être réservé aux heures précédant un effort physique.

1.4.3.3. La sensibilité au gluten

La sensibilité au gluten est une maladie liée à une **réponse immunitaire** qui survient lors de l'ingestion de gluten et qui provoque des symptômes intestinaux et extra-intestinaux et qui s'améliore lorsque le blé est retiré du régime alimentaire. Le diagnostic peut être posé une fois que la maladie cœliaque et que l'allergie au blé ont été écartées (Sergi et al., 2021).

Les symptômes extra-intestinaux de la sensibilité au gluten sont multiples et varient fortement d'un individu à l'autre. Parmi eux nous retrouvons de la fatigue, des éruptions cutanées, des infections gynécologiques, des douleurs articulaires et musculaires ainsi que des troubles neurologiques tels que la dépression ou la psychose.

Ces symptômes disparaissent normalement suite au passage à un régime sans gluten. C'est pour cette raison qu'elle peut être associée à la maladie cœliaque. Il est cependant important de pouvoir la discerner car la sensibilité au gluten est encore méconnue dans ces mécanismes d'action (Verkarre & Brousse, 2013).

CHAPITRE 2 : SOLUTIONS AUX FORMULATIONS SANS GLUTEN

Lors de la formulation d'une pâte sans gluten, il faut tenir compte des propriétés apportées par le gluten qu'il faut donc remplacer par l'ajout d'autres ingrédients.

Les ingrédients principaux des produits sans gluten sont d'une part la **farine sans gluten** et les **féculs**, permettant d'apporter du volume à la pâte et d'autre part l'**amidon**, qui est nécessaire durant la cuisson. En effet, l'amidon se gélatinise, comme dans une formulation classique avec gluten, mais la quantité d'amidon ajoutée est généralement plus élevée. La farine apporte, en plus de l'amidon, des protéines, un peu de lipides, des fibres, des vitamines et des minéraux. Les différences majeures entre les farines avec gluten et les farines sans gluten, mis à part la présence de ce dernier, sont les suivantes (ŠMídová & Rysová, 2022) :

- La différence de leur ratio d'amidon, c'est-à-dire le rapport entre la quantité d'amylose et d'amylopectine
- Leur teneur en protéines, qui est plus faible dans les farines sans gluten
- La taille des particules, pouvant modifier les propriétés de la farine (par exemple la rétention d'eau)

D'autres ingrédients sont nécessaires **pour substituer les propriétés apportées par le gluten**, en apportant un rôle à la fois technologique et nutritionnel. Plusieurs alternatives sont possibles telles que les hydrocolloïdes, les fibres provenant de fruits ou légumes, les graines de lin et de chia, le psyllium, de l'amidon modifié et des protéines. Le but de ces différents ingrédients est d'améliorer la texture, d'augmenter la viscosité et de stabiliser la pâte. Les pâtes sans gluten ont généralement un besoin plus élevé en eau. Celui-ci dépendra de la nature des ingrédients, de leur capacité de rétention d'eau mais également de leur granulométrie (ŠMídová & Rysová, 2022). Pour pouvoir remplacer la farine de blé (et le gluten qu'elle contient), il faut envisager l'utilisation d'une source de protéine, d'amidon et possiblement d'hydrocolloïde. En plus des ingrédients, des technologies peuvent permettre d'améliorer la pâte ou d'aider à substituer le rôle cohésif du gluten.

Pour remplacer le gluten dans les cornets, il y a plusieurs propriétés à prendre en compte (Tiefenbacher, 2018) :

- L'absorbance et la rétention d'eau
- Propriété thermodurcissable
- Liaisons, la formation de films et l'épaississement
- La stabilisation et la texture
- La participation au goût

La cuisson

Lors de la cuisson et de l'augmentation en température, les protéines se dénaturent et l'amidon se gélatinise. Il sera nécessaire d'avoir une pâte suffisamment résistante et flexible afin qu'elle soit capable de retenir les bulles de gaz formées et de se maintenir une fois le refroidissement terminé. Le gluten et le réseau qu'il forme permet d'apporter cette résistance et cette flexibilité dans des pains ou des produits traditionnels avec gluten. La farine sans gluten et l'amidon ne pouvant pas remplir ce rôle, l'ajout d'hydrocolloïdes est nécessaire par leur capacité de gonflement et leur capacité de rétention d'eau. Une bonne hydratation permet une meilleure conformation des polymères et aide à la bonne rhéologie de la pâte (ŠMídová

& Rysová, 2022). Un manque de protéines dans la pâte donnera un produit de couleur plus claire. Ceci est dû au manque d'acides aminés disponibles pour la réaction de Maillard.

Les fibres

Les fibres, grâce à leur capacité de rétention d'eau et leur capacité épaississante, forment un gel qui permet d'améliorer la texture, le volume, la viscosité, la consistance, les propriétés organoleptiques et la durée de vie (ŠMídová & Rysová, 2022).

Différents paramètres modifient l'impact que les fibres peuvent avoir, tels que leur longueur, le degré de polymérisation, le ratio fibres solubles/fibres insolubles et les différentes interactions des fibres avec les autres ingrédients.

Les protéines

Certaines protéines, comme les protéines d'œufs ou de soja, peuvent également permettre de régler les problèmes de produits sans gluten grâce à leur teneur en lysine et en méthionine.

L'apport de transglutaminase dans les formulations contenant ces protéines, permet de cliver les protéines et ainsi de créer des liens entre les groupements amines des résidus de lysine et les groupements carboxyles des résidus de glutamine (Marco & Rosell, 2008).

Les céréales étant déficitaires en lysine, et certaines en thréonine et tryptophane, il est dès lors recommandé d'utiliser différentes sources de protéines afin de combler ce déficit et d'améliorer la composition en acides aminés du produit et également en vitamines et minéraux. D'une manière plus générale, mélanger plusieurs farines permet d'améliorer le profil nutritionnel du produit (Ronie et al., 2021). Par exemple, dans l'étude de Korus et al. (2017), il est montré que la substitution d'une partie de la farine de maïs par un mélange de farine chanvre et maïs permet d'avoir un meilleur profil nutritionnel.

Dans le cadre de biscuits sans gluten, 2 sources de protéines sont régulièrement utilisées. Il s'agit du soja et du colza, qui peuvent apporter des effets bénéfiques sur le produit final. Leur apport permet d'améliorer la dureté et la cohésion des biscuits ainsi que de permettre de retenir le gaz. D'autres sources, telles que le lait et le carthame peuvent également avoir un rôle positif (Ronie et al., 2021).

L'amidon

L'amidon a plusieurs rôles dans une formulation sans gluten : épaississant, gélifiant, stabilisateur, rétenteur d'eau et agent anti-rassissement. Il modifie les produits sans gluten en 3 points spécifiques : souplesse de la pâte, améliorer la consistance de la pâte et permettre la gélatinisation de l'amidon durant la cuisson.

L'amidon varie en composition, en taille et en forme, en fonction de sa source. L'amylose forme des chaînes simples tandis que l'amylopectine aura tendance à se lier et à former des molécules de plus grandes tailles (ŠMídová & Rysová, 2022).

Quand la pâte est chauffée, l'amidon gonfle et se solubilise partiellement en perdant sa cohésivité. L'amidon gélatinise lorsque les liaisons se rompent, à des températures situées entre 50°C et 70°C, et forme une solution visqueuse à partir de la suspension. Suite à cela, durant le refroidissement, la viscosité augmente et de nouveaux liens entre les molécules se forment pour finalement former un gel. Le gel continue de se modifier durant le stockage en perdant de l'eau. Une fois le produit refroidi, l'amidon récupère sa structure cristalline, c'est ce qui s'appelle la rétrogradation de l'amidon. L'amylose subit ce phénomène plus rapidement

que l'amylopectine et donne un gel plus ferme alors que l'amylopectine est plus liquide (ŠMídová & Rysová, 2022).

Pour la fabrication de produits sans gluten, l'amidon avec une bonne valeur de rétention d'eau et une faible rétrogradation est préféré. Pour les produits de boulangerie utilisant de plus grands volumes d'amidon, ils peuvent présenter une coloration plus claire car la réaction de Maillard se produit moins fortement. Pour les pains sans gluten, la rétrogradation de l'amidon peut être réduite par les moyens suivants (ŠMídová & Rysová, 2022) :

- l'utilisation de préparation d'enzymes
- l'utilisation d'hydrocolloïdes
- l'utilisation de levures
- un emballage approprié

L'utilisation de préparations d'enzymes

Certaines enzymes peuvent être utilisées dans la formulation sans gluten pour leur capacité à modifier les propriétés fonctionnelles, nutritionnelles et sensorielles (Ronie et al., 2021).

Une des enzymes les plus utilisées est l'amylase, qui améliore la couleur du produit ainsi que son goût. Elle dégrade partiellement l'amylopectine et, par ce biais, modifie la cristallisation de l'amidon.

D'autres enzymes comme la transglutaminase ou la cyclodextrinase améliorent la viscoélasticité de la pâte. La transglutaminase permet également d'augmenter la « valeur de fracturabilité », c'est-à-dire la fragilité d'un produit, en plus d'augmenter la teneur en humidité. Cette augmentation de la teneur en humidité est due à la désamination de glutamine qui va produire des résidus d'acides glutamiques, un groupement chargé négativement, qui donne la capacité à la protéine de rétention d'eau. (Ronie et al., 2021)

L'utilisation d'hydrocolloïdes

Le terme hydrocolloïde regroupe différents polysaccharides et protéines capables de remplir diverses fonctions telles que des fonctions d'épaississement, de gélification de solutions aqueuses et d'émulsions. Les hydrocolloïdes peuvent être repris comme ingrédients comme c'est le cas pour les protéines d'œufs, la gélatine, l'amidon ou les pectines ou bien directement comme additifs comme les gommes de guar et de xanthane (Williams et Phillips, 2009).

Nous reprendrons le terme hydrocolloïde pour parler des différents additifs alimentaires capables de remplir une des fonctions citées plus haut.

Les hydrocolloïdes sont capables de contrôler la rhéologie et la texture des systèmes aqueux par la stabilisation d'émulsions, de suspensions ou de mousses. Ils comprennent divers polysaccharides solubles dans l'eau ayant différentes structures chimiques qui leur donnent des propriétés fonctionnelles. Ces différentes propriétés les rendent grandement utilisés dans l'industrie agro-alimentaire. Leur ajout dans des produits sans gluten améliore la texture, le volume, la couleur, l'apparence, le goût et l'acceptabilité en général. En fonction des hydrocolloïdes, différentes propriétés sont apportées au niveau de la rhéologie, de la texture et d'autres propriétés. Les hydrocolloïdes sont également capables de modifier la gélatinisation de l'amidon et d'améliorer la qualité d'un produit durant sa durée de vie. Certaines études ont montré l'effet d'hydrocolloïdes sur le remplacement des matières grasses (Anton et Artfield, 2008).

Tous les hydrocolloïdes interagissent avec l'eau en réduisant leur diffusion et en stabilisant celle-ci. La solubilité des différents hydrocolloïdes varie fortement d'un type à l'autre. Par exemple la gomme de xanthane, la gomme de guar et la carboxyméthyl cellulose sont solubles à froid, alors que le carraghénane et les alginates sont solubles à chaud.

Les interactions entre l'eau et les hydrocolloïdes se font par des ponts hydrogènes et vont donc varier en fonction de la pression et de la température. Une fois mis en présence d'eau, les hydrocolloïdes gonflent et forment un gel. Leur capacité de rétention d'eau va résulter en des produits avec des plus grandes teneurs en eau. Ils ont également un rôle après la cuisson en stabilisant la structure du produit, retenant l'eau et réduisant la rétrogradation de l'amidon.

Dans le cas de biscuits sans gluten, bien que le gluten n'ait pas un rôle primaire dans leur production, les formulations sans gluten mènent généralement à des biscuits de plus mauvaises qualités. Pour régler ce problème, les hydrocolloïdes sont généralement utilisés. Pour les biscuits sans gluten, c'est la gomme xanthane qui est la plus utilisée, suivi par la gomme guar et la gomme tragacanth. Ces 3 gommes ont montré des effets améliorant les qualités sensorielles et le contenu en humidité (Ronie et al., 2021).

Bien que les besoins soient différents pour la production de pain, selon (Herawati, 2019), il est recommandé d'utiliser de la gomme de guar à hauteur de 3%, ou 1% xanthane 1% carraghénane ou 1% xanthane et 1% pectine quand de la farine de maïs est utilisée, et de la pectine, de la gomme de guar et de la gomme xanthane pour de l'amidon de maïs et de pomme de terre. Pour chaque farine, certains hydrocolloïdes ou mélange d'hydrocolloïdes sont recommandés car les farines ont également des propriétés différentes les unes des autres. Si on envisage l'utilisation de plusieurs hydrocolloïdes, il faudra s'assurer de la synergie de ceux-ci. La synergie jouera aussi bien sur les propriétés de la pâte que sur l'acceptation du produit par le consommateur (Herawati, 2019).

Le guar est un épaississant et un stabilisant efficace. Il a la capacité d'imiter les propriétés viscoélastiques structurantes du gluten. Bien qu'elle y ressemble, la gomme de guar ne forme pas de gel mais des solutions thixotropiques. Lorsqu'il est placé dans de l'eau, il va former une solution pseudo-élastique très visqueuse. Il fonctionne très bien en synergie avec la gomme xanthane (Tiefenbacher, 2018).

Le problème de détérioration des produits sans gluten

Puisque les produits sans gluten contiennent plus d'eau, l'activité de l'eau de ces produits est supérieure à celle des produits classiques. Une activité de l'eau plus élevée rend la prolifération des microorganismes plus probable et pose donc un problème de conservation du produit au cours du temps. Des champignons, des levures et des bactéries sont susceptibles de s'y développer rendant le produit impropre à la consommation.

Certains procédés physiques peuvent permettre d'allonger la durée de vie des produits sans gluten tels que : les rayons ultraviolets, le traitement infrarouge, le chauffage micro-onde, l'ultra haute pression. L'utilisation de composés antimicrobiens est généralement efficace contre la prolifération des champignons.

CHAPITRE 3 : FABRICATION DU PRODUIT

Ce chapitre est consacré à l'étude des procédés pour produire la poudre de marc de pommes ainsi que les cornets. Chaque étape sera expliquée. Nous étudierons ensuite les ingrédients qui entrent dans la composition des cornets.

3.1. Poudre de marc de pommes

3.1.1. Diagramme de fabrication

Les étapes proposées par la méthode de Zlatanović et al. (2019a) afin d'obtenir cette poudre de marc de pomme est décrite ci-dessous et illustrée dans la figure 8.

1. Récupération du marc de pommes frais et humide
2. Transport vers un déshydrateur
3. Déshydratation par *déshydrateur solaris* (t° [45;55] $^{\circ}$ C pendant 4-6h)
4. Élimination de l'eau restante - stabilisation du marc déshydraté à une température de 20 à 25 $^{\circ}$ C inférieure à la température dans le déshydrateur, pendant 1 à 2 heures, permettant la condensation et l'élimination de l'eau
5. Broyage du marc déshydraté pour atteindre une taille de particules inférieure à 300 pm
6. Conditionnement de la poudre dans des enveloppes de *natron* multicouches. Cet emballage comprend plusieurs couches dont du papier kraft.
7. Stockage

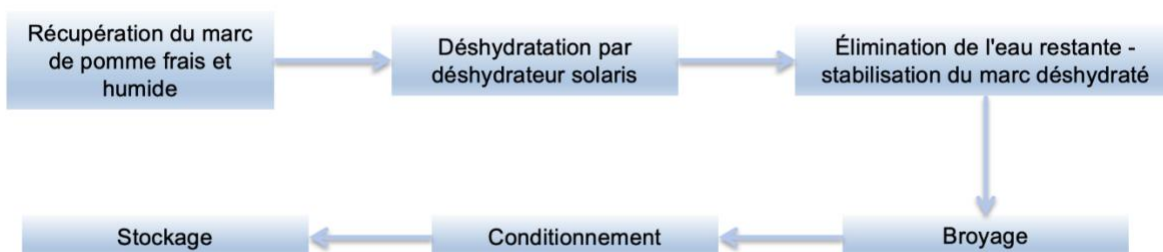


Figure 8 : Diagramme de fabrication de la poudre de marc de pommes selon Zlatanovic

La méthode de Zlatanović et al. (2019a) donne une indication des valeurs à atteindre pour la poudre de marc de pommes, sa composition est reprise dans l'annexe 2. Leur objectif était d'obtenir une poudre avec un taux d'humidité compris entre 4 et 6% d'eau en masse, une activité de l'eau entre 0,2 et 0,4 et une granulométrie inférieure à 300 pm. La méthode qu'ils ont utilisée pour obtenir cette poudre de marc de pommes est décrite dans la partie A – 3.1.2.

3.1.2. Description des étapes

3.1.2.1. Réfrigération

Il est nécessaire de refroidir le plus rapidement possible le marc de pommes après sa récupération afin de limiter au maximum le développement de germes, de levures et de moisissures. Le froid est maintenu jusqu'à l'étape du séchage où l'on pourra inhiber leur croissance en abaissant l'activité de l'eau.

Les températures de séchage pourront être suffisantes pour détruire certains germes mais dans le cas de la production de mycotoxines par des moisissures, ce ne sera pas suffisant, car la plupart résistent aux traitements thermiques, que ce soit le séchage ou la cuisson.

D'après la recherche de Jung et al. (2015), le marc de pommes récupéré directement chez le producteur de jus est congelé à une température de - 24°C et peut être conservé sous cette forme, et ce jusqu'à son utilisation.

3.1.2.2. Triage

Les pépins de pomme contiennent de l'amygdaline qui, une fois dans l'estomac, est transformée en cyanure (HCN). Ce composé étant mortel à certaines doses il est nécessaire de savoir la quantité présente dans un cornet afin d'être sûr de son innocuité. La concentration retrouvée dans un pépin de pomme est d'environ 3 mg/g de pépin (Bolarinwa et al., 2014).

La DL50 (dose létale pour 50% des individus) chez le rat est de 400 à 800 mg/kg de masse corporelle (Adewusi & Oke, 1985), chez l'humain elle est nettement plus basse et est estimée à 0,5 à 3,5 mg/kg masse corporelle (Jaszczak-Wilke et al., 2021).

Il faudrait consommer l'équivalent de plusieurs dizaines de pommes entières pour arriver à ces doses létales, il n'y a donc pas de risque pour le consommateur de consommer un produit à base de marc de pommes contenant toujours ses pépins.

3.1.2.3. Transport

Il est nécessaire que le transport soit réfrigéré afin de ne pas briser la chaîne du froid. En effet, l'élévation de température durant le transport provoquerait une prolifération des micro-organismes présents et rendrait inutile la réfrigération appliquée au marc de pommes directement après sa production et sa récupération.

3.1.2.4. Stockage

Selon la méthode de Zlatanović et al. (2019), où la poudre a été séchée jusqu'à atteindre un niveau d'humidité de 4 à 6%, la plupart des composés présents dans la poudre de marc de pommes restent stables après plus d'un an de conservation.

3.1.2.5. Séchage

Le séchage du marc de pommes est une étape primordiale car, sans celle-ci, il se dégradera très rapidement du fait de sa haute teneur en humidité et en sucres.

La réfrigération ou la congélation du marc de pommes est également possible. Cependant, ce n'est pas réalisable en pratique actuellement vu le coût économique que cela engendre

pour un sous-produit ne représentant actuellement aucune valeur pécuniaire à l'entreprise, et également par rapport à la place qu'il faudrait pour une entreprise qui produit d'importants volumes de jus de pommes ou de cidre.

Si le marc de pommes n'est pas refroidi, il faudra alors réduire son taux d'humidité en dessous de 10% pour prolonger sa durée de stockage et diminuer son volume pour ainsi faciliter son stockage et transport (Jung et al., 2015).

Il faudra porter une attention particulière aux températures utilisées car certains sucres réducteurs présents dans le marc de pommes peuvent contribuer à la réaction de Maillard, par exemple le fructose (Schmid et al., 2021).

- **Séchage à l'air chaud**

Il s'agit d'un type de séchage convectif où un courant d'air chaud est envoyé sur le produit afin de lui fournir la chaleur nécessaire à l'évaporation de l'eau et en entraînant la vapeur d'eau formée.

La méthode utilisée par l'étude de Gorjanović et al. (2020) est un séchage à des températures basses, comprises entre 45 et 55°C, durant 4 à 6 heures, permettant de descendre à un taux d'humidité entre 5 et 30%. Le marc de pommes est ensuite stabilisé à des températures de 20 à 25°C inférieure à celle du séchoir pendant 1 à 2 heures afin de permettre la condensation et extraire l'eau résiduelle.

A titre de comparaison, il faut plus de 24 heures pour arriver au même résultat avec les techniques d'air forcé et de lyophilisation (Gorjanović et al., 2020).

Le tableau 5 reprend les valeurs de séchage (Gorjanović et al., 2020), en faisant varier l'humidité relative du marc de pommes traité et la température de séchage.

Humidité relative (%)	Température (°C)	Ratio de séchage (Delta g/min)	Temps de séchage (h)	Humidité finale (%)
35,0	40	1,6	8,0	11,8
	60	2,2	6,8	5,1
	80	2,9	4,8	0,1
	100	3,5	3,6	1,3
60,0	40	1,0	9,9	13,9
	60	1,4	8,4	7,6
	80	1,6	6,2	1,3

Tableau 5 : Taux de séchage, temps de séchage et humidité finale en fonction de l'humidité relative et de la température (Gorjanović et al., 2020).

Le tableau 5 permet d'avoir une idée du temps de séchage et de la température à laquelle appliquer un échantillon pour un taux d'humidité voulu. Les taux d'humidité supérieurs à 10% seront à éviter pour ne pas diminuer la conservation du marc et de la poudre obtenue.

Pour des températures de séchage basses, il ne sera pas possible d'augmenter indéfiniment le temps de séchage sans ajouter des antimicrobiens pour contrer les processus de fermentation qui seront favorisés à ces températures (Fernandes et al., 2021).

La figure 9 montre la vitesse de séchage en fonction de l'humidité relative et de la température de séchage. Le ratio du séchage est favorisé par une humidité relative basse et une température de séchage élevée.

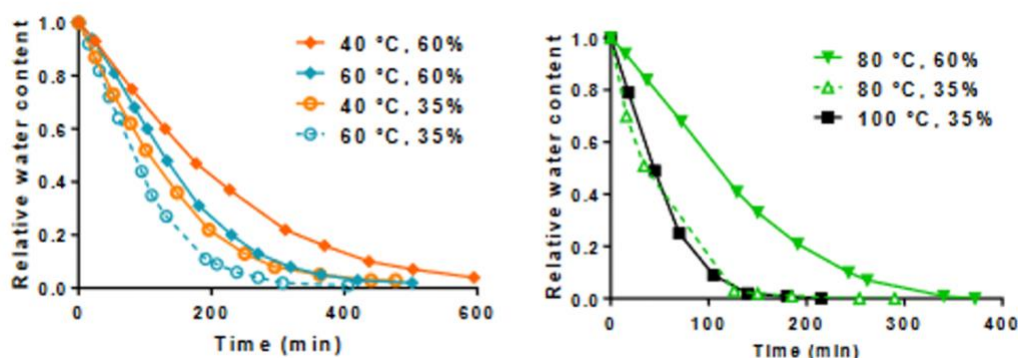


Figure 9 : Évolution du contenu en eau dans le marc de pommes séché dans un four à air chaud en fonction de la température, de l'humidité relative et du temps (Fernandes et al., 2021).

Le séchage à l'air chaud présente le désavantage suivant : à partir d'une certaine densité de marc de pommes, le ratio d'efficacité du séchage diminue significativement à cause de la réduction de la surface de contact entre l'air chaud et le marc de pommes (Fernandes et al., 2021).

Dans leur recherche, Jung et al. (2015) ont utilisé un séchoir Model STM 40 pour réaliser un séchage à l'air chaud à 40°C pendant environ 4 heures. Dans cette étude, ils obtiennent une composition en humidité de 2,23% à la fin du processus pour une activité de l'eau de 0,29.

- **Séchage sous vide**

Il est possible d'utiliser un séchoir sous vide pour retirer l'humidité résiduelle du marc de pommes, comme dans l'étude de Schmid et al. (2021) qui applique au marc une température de 25°C et une pression de 8 mbar (0,008 atm).

Cependant, selon les recherches de Lavelli et Corti (2011), le séchage à l'air à 60°C conserve mieux les anthocyanes et les flavanols que le séchage sous vide à 40°C car le marc de pommes est soumis moins longtemps à des valeurs d'activités de l'eau favorables à leurs dégradations.

- **Séchage par lyophilisation**

La technique de lyophilisation est très efficace pour conserver au maximum les propriétés du marc de pommes. Cependant, il s'agit d'un procédé très coûteux en termes d'énergie ainsi que de temps (Jung et al., 2015; Zlatanović et al., 2019a).

Une autre étude (Wang et al., 2019) a réalisé une poudre de marc de pommes par une lyophilisation (FFD-40 VirTis Freeze Dryer) précédée d'un blanchiment rapide (flash blanching). Le broyage est réalisé en utilisant un broyeur à moulin conique (197 Quadro-Comil) avec un tamis de 475 μm . Le blanchiment a été réalisé par un plongement de 10 secondes dans de l'eau bouillante suivi d'un bain dans de l'eau distillée durant 10 secondes. La poudre a ensuite été stockée à une température de -20°C. Ce procédé engendre une perte

de fibres solubles dans l'eau, leur teneur dans la poudre de marc de pommes est donc amoindrie par rapport au marc de pommes brut.

3.1.2.6. Broyage

La méthode de Zlatanović et al. (2019a) est de réduire le marc de pommes déshydraté en particules inférieures à 300 µm, avec une teneur en humidité comprise entre 4 et 6% et une activité de l'eau entre 0,2 et 0,4.

Une autre méthode est celle dans l'étude de Wang et al. (2019), qui utilise un broyeur à moulin conique (197 Quadro-Comil) avec un tamis de 475 µm.

3.1.2.7. Conditionnement

L'objectif principal sera de préserver la poudre d'éventuelles dégradations et essentiellement d'empêcher celle-ci de se réhydrater. Le procédé de Zlatanović et al. (2019a) utilise un natron multicouche (papier kraft) pour stocker la poudre.

3.2. Cornets sans gluten

3.2.1. Définition

Les cornets pour crème glacée sont des pâtisseries coniques servant de contenant pour les crèmes glacées ou les sorbets, permettant ainsi de les consommer sans nécessité de pot ou cuillère.

Selon le Codex Alimentarius, les cornets font partie de la catégorie d'aliments « 07.2.2 Autres produits de boulangerie fine (tels que doughnuts, brioches, scones et muffins...) ». Cette catégorie fait partie de la catégorie 07.2 « Produits de boulangerie fine (sucrés, salés, épicés) », faisant elle-même partie de la catégorie 07.0 « Produits de boulangerie » (Codex Alimentarius, 2019). Le codex Alimentarius définit la catégorie 07.2.2 comme suit :

« Inclut des produits qui peuvent être consommés comme dessert ou au petit-déjeuner.
Exemples : crêpes, gaufres, petits pains au lait sucrés et fourrés (anpan), pains aux raisins, gaufrettes ou cornets pour crème glacée, confiseries à la farine et diplomates. »

Il existe différents types de cornets. Les 3 sortes les plus couramment représentées sont les suivantes : les cornets à gâteau (ou cône moulé ou à fond plat), les cornets à gaufre et les cornets au sucre (*Types of Ice Cream Cones : Waffle, Cake, and Sugar*, s. d.; *Ice Cream Cone Manufacturing Setup*, 2019). Chaque type possède sa propre saveur, texture et ingrédients.

Les cornets à gâteau

Les cornets à gâteau sont légers et bruns dorés. Leur saveur est neutre et ils sont de texture croustillante. Leur fond est pointu ou plat. Ce type de cornet a la plus faible teneur en sucre, ils en contiennent moins de 5%.



Les cornets à gaufre

Les cornets à gaufre sont de couleur brun caramel, aromatisés au sucre. Ils sont coniques avec un fond pointu. Ils sont pressés dans un gaufrier spécial et roulés. Ces cornets ont une teneur en sucre plus élevée que les cônes à gâteau, ils sont en effet composés d'un tiers de sucre. Ils se caractérisent par un bord supérieur rugueux (non fini) (*How Ice Cream Cone Is Made - Making, History, Used, Parts, Product, Industry, Machine, History, Raw Materials*, s. d.).



Les cornets au sucre

Ils sont composés des mêmes ingrédients que les cornets à gaufre, et possèdent donc un tiers de sucre. Ils sont, comme les cornets à gaufre, coniques avec un fond pointu et sont fabriqués avec le même procédé, mais s'en différencient par leur bord supérieur fini.



Dans le cas de notre produit, vu le matériel mis à notre disposition il s'agira de cornets à gaufres.

3.2.2. Fabrication : étapes et diagramme

Il existe différents procédés de fabrication variant en fonction du type de cornets réalisé :

Les cornets à gâteau sont cuits dans leur forme finale de la manière suivante (Haas, F., 1985): la pâte est coulée dans un moule qui présente les caractéristiques et dimensions souhaitées. Elle est ensuite cuite dans le moule et après la cuisson, le cornet fini est extrait du moule. Il s'agit du **processus de presse mécanique**. Ce processus est utilisé pour les cornets à gâteau car ces derniers ne contiennent que très peu de sucre et peuvent donc être détachés du moule sans dommage pour le produit.



Figure 10: Presse mécanique (*Advanced Technology 12 Head Ice Cream Cone Maker*, s. d.)

Les cornets sucrés et les cornets à gaufre contenant quant à eux une importante proportion de sucre, sont fabriqués par le **processus de roulage** (Haas, F., 1985; *Ice Cream Cones Manufacturing and Production Project Report*, s. d.). Les pâtes sont cuites entre des plaques et sont encore déformables après leur cuisson. Cette propriété permet de façonner les pâtes cuites en cornets de forme conique avant de les laisser refroidir.



Figure 11 : Processus de roulage

La forme des produits finis dépend de la façon dont chaque gaufrette est roulée. Cette méthode présente un désavantage par rapport à celle utilisée pour les cornets à gâteau, celui d'engendrer des variations de longueur et de diamètre par exemple. Ces variations peuvent engendrer des problèmes par la suite, comme le conditionnement des cornets (Haas, F., 1985; *Ice Cream Cones Manufacturing and Production Project Report*, s. d.).

Les avantages des cornets roulés par rapport aux autres types de cornets sont les suivants (Tiefenbacher, 2018) :

- La cuisson sans pression et la texture vitreuse apportée par le sucre donnent au cornet une texture plus dense et une meilleure rigidité.
- La texture croquante se marie bien avec la crème glacée, et le cornet est un support facilement préhensible.
- La couleur et la saveur, qui viennent de la caramélisation du sucre.

La figure 12 présente le diagramme de fabrication de cornets (Tiefenbacher, 2018).

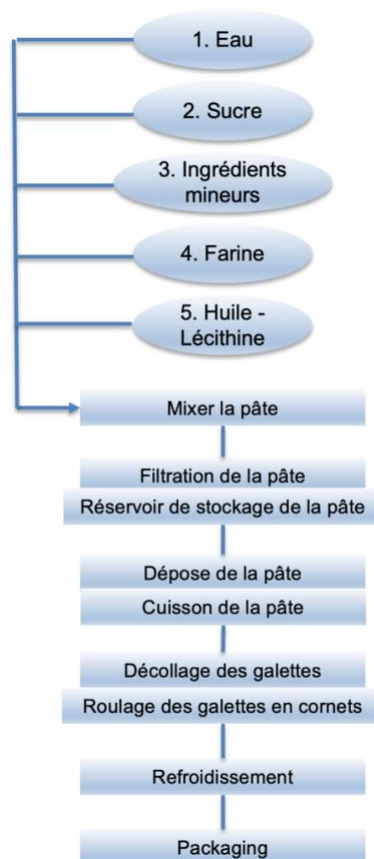


Figure 12 : Diagramme de fabrication de cornets (Tiefenbacher, 2018).

La température de cuisson devra se trouver entre **190 et 250°C** pendant une durée allant de **60 à 100 secondes** (Tiefenbacher, 2018).

Suite à la cuisson, les gaufrettes restent malléables en raison du sucre fondu. Cependant, elles vont rapidement durcir lors de leur refroidissement. Il faut donc effectuer un roulage rapide avant le séchage du sucre pour s'assurer de pouvoir donner une forme voulue aux gaufrettes. Le sucre est responsable de la texture vitreuse, dure et stable du cône.

Une fois les cônes moulés, ils devront être refroidis en dessous de 40°C - 45°C avant d'être emballés. Ce problème ne se posera pas pour nous à l'échelle du laboratoire mais il est nécessaire de le prendre en compte si nous voulons passer la production à une échelle industrielle. **Le taux d'humidité de ces cornets devra être d'environ 2%**. Si l'humidité est plus élevée, ça va conduire à des problèmes de conservation plus tard. Si l'humidité n'est pas uniforme dans la gaufrette, il va y avoir un équilibrage dans les semaines qui suivent qui va entraîner l'apparition de microfissures 1 à 2 semaines après leur préparation. Le cornet va perdre en stabilité et sera inutilisable (Tiefenbacher, 2018).

3.2.3. Étude des ingrédients

Les cornets pour crèmes sont composés d'une part d'ingrédients secs : farines et sucre, influençant la saveur sucrée, la couleur du produit fini et sa texture, et d'autre part d'eau, de matières grasses, de colorants, d'arômes et de sel.

Le biscuit constituant le cornet est particulier par rapport aux autres biscuits ou produits de boulangerie, c'est un produit à faible teneur en eau, ayant une texture croustillante et croquante. Il est formé par cuisson à partir d'une pâte liquide constituée principalement d'eau et de farine et avec des plus petits volumes de matière grasse.

Afin de choisir les ingrédients que nous allons utiliser dans la fabrication de notre produit, nous commençons par rechercher les ingrédients utilisés dans un cornet sans gluten déjà commercialisé sur le marché. Dans le tableau 6, nous retrouvons la liste des ingrédients utilisés pour 4 d'entre eux. Les ingrédients sont inscrits dans l'ordre décroissant de leur importance pondérale au moment de la mise en œuvre du produit. Les termes en gras soulignent les ingrédients qui sont utilisés pour remplacer le gluten dans ces formulations.

Céliane Gluten Free	Tivoli Gluten Free
Amidon de maïs	Amidon de pomme de terre
Fécule de pomme de terre	Sucre
Sucre de canne	Farine de pois chiches
Huile de coco	Farine de maïs
Émulsifiant : lécithine de tournesol	Huile de coco
Poudres levantes : carbonate de magnésium et bicarbonate de sodium	Émulsifiant : lécithine de soja
Sel	Sel
Arôme naturel	Arôme naturel
PaneRiso	HARRY'S
Amidon de pomme de terre	Farine de riz
Sucre	Sucre de canne
Amidon de tapioca	Amidon de pomme de terre
Huile de palme	Huile de noix de coco
Fibres diététiques (dérivées de pomme de terre)	Émulsifiant : lécithine de soja
Poudre de cacao	Sel
Émulsifiant : lécithine de soja	Poudre à lever : carbonate de magnésium
Sel	
Gomme xanthane	
Extrait naturel de vanille	

Tableau 6 : Ingrédients utilisés dans la fabrication de 4 cornets sans gluten

Les ingrédients

Les ingrédients que nous utiliserons dans la fabrication de notre produit seront probablement les suivants, tenant compte d'éventuelles modifications lors de la formulation des cornets :

a) Farine de blé

La farine de blé est la farine la plus utilisée dans les produits de boulangerie et de pâtisserie car les protéines qu'elle contient vont pouvoir former des liaisons entre elles et vont permettre d'améliorer la texture des produits. La farine de blé contient environ 80% d'amidon et 10% de protéines. Dans une formulation de cornet, la farine de blé permet d'apporter du volume et

aura une grande influence sur la texture, le goût, les valeurs nutritionnelles et les propriétés de stockage.

Les grains de blé seront réduits par un processus de mouture qui aura pour objectif de briser les cellules de l'endosperme, et de les réduire en une granulométrie assez basse qui sera adaptée à une hydratation rapide et au développement du gluten (Zhou, 2014).

Les performances technologiques de la farine de blé va varier en fonction du processus de mouture, du processus de raffinage et de la variété de blé utilisé.

La farine a pour rôle de permettre à la pâte d'absorber de grandes quantités d'eau et de l'empêcher de se briser durant les phases de levage et de cuisson. C'est la présence d'amidon et de gluten dans la farine qui lui donne son rôle fonctionnel. Elle est définie par des indices alvéographiques qui évalue son degré d'extensibilité et sa concentration en protéines insolubles (gluténine et gliadine). Mais également par sa capacité d'absorption de l'eau et de sa résistance à l'action mécanique, comme pendant le malaxage. Pour remplacer ses rôles, il sera nécessaire d'apporter des farines riches en amidon, de l'amidon tel quel ou bien l'enrichir en fibres ou en dextrine. L'ajout de fibres peut permettre d'aider à remplacer les propriétés du gluten dans la pâte.

b) Farines sans gluten

Le rôle d'une farine traditionnelle est d'améliorer la texture et l'élasticité de la pâte grâce au gluten qu'elle contient. Dans le cas d'une farine sans gluten, cette protéine sera absente, et ce rôle sera majoritairement apporté par l'amidon qu'elles peuvent contenir. Les difficultés de l'utilisation des farines sans gluten résident dans le manque de protéines viscoélastiques donnant des pâtes moins résistantes durant leur préparations et donc la nécessité d'utiliser des agents structurels, comme des additifs, pour obtenir cette viscoélasticité, ils sont relativement coûteux et augmentent donc le prix de ces produits.

Il sera donc intéressant de choisir une farine la plus riche possible en **amidon** afin de limiter l'ajout de fécule par la suite. Les farines de maïs et de sarrasin sont connues pour leur richesse en amidon. De plus, se diriger vers ces farines nous semble un choix intéressant du point de vue de l'aspect « local » s'intégrant dans le même état d'esprit que la valorisation du marc de pommes. Le tableau 7 reprend la composition moyenne en amidon de différentes farines.

Type de farine	Farine de blé	Farine de maïs	Farine de sarrasin	Farine de riz	Farine de pois chiche	Farine d'amarante	Farine de soja
Composition en amidon (g/100g de farine)	49,24	60,25	54,15	64,84	51,93	51,88	1,42

Tableau 7 : Composition moyenne en amidon de différentes farines (Vitali et al., 2010)

Il serait donc intéressant de tester les farines de maïs, de sarrasin et de riz car elles contiennent une grande concentration en amidon. Il existe d'autres farines sans gluten disponibles que nous pourrions utiliser telles que la farine de châtaigne, de lupin, de millet, d'amarante, de sorgho, de noix de coco, de souchet, de lentilles, de chanvre, de quinoa et de teff.

La farine de maïs et la farine de sarrasin présentent le même désavantage qui est d'avoir un goût plus marqué, ce qui limite leur utilisation dans plusieurs produits sans gluten comme le pain (Dogan et al., 2015).

c) Féculles

L'extraction des féculles est réalisée dans une féculerie. Les termes "amidon" et "fécule" sont souvent confondus. Ils désignent la même substance, présentée dans la figure 13. Lorsque cette substance est extraite des céréales, elle est appelée "amidon", et lorsqu'elle est issue de racines ou tubercules elle est appelée « fécule » (*Comprendre les féculles et les amidons.*, 2017). Les usines traitant l'amidon issu des céréales (par exemple le maïs et le blé) sont les amidonneries.

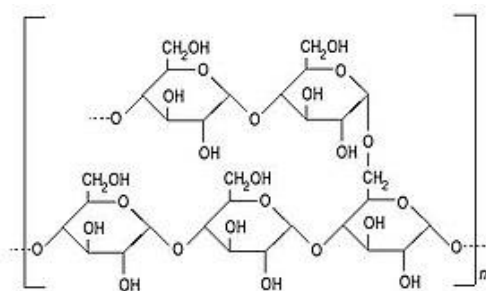


Figure 13 : Représentation de l'amidon

Les féculles sont donc composées d'**amidon**. L'amidon est le principal polysaccharide de stockage chez les végétaux. Ceux qui en contiennent le plus sont les céréales, les tubercules et les légumineuses.

L'amidon est composé d'amylose et d'amylopectine qui sont eux-mêmes des polymères du glucose. Durant les traitements thermiques, il sera capable de se gélatiniser, c'est-à-dire de modifier la taille et la cristallinité des granules présentes, résultant en une modification de la viscosité et de la texture du milieu aqueux dans lequel il sera présent (Malumba et al., 2011). Plus l'amylose est faible, plus le gonflement des granules d'amidon dans l'eau est élevé pendant le chauffage. La température de gélatinisation augmente parallèlement à la teneur en amylose (Tiefenbacher, 2018). Les féculles à température de gélatinisation basse peuvent améliorer la résistance du cornet, comme c'est le cas pour la fécule de pomme de terre.

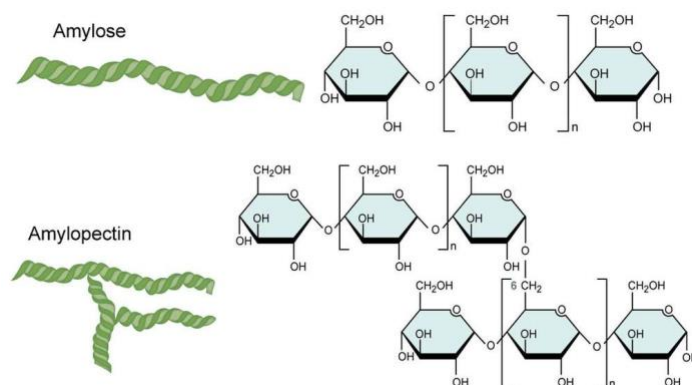


Figure 14 : Représentation de l'amylose et de l'amylopectine

Les propriétés peuvent varier en fonction de la source d'où il est extrait. Par exemple, la taille des granules (entre 5 et 25 μm pour le maïs et entre 15 et 100 μm pour la pomme de terre) a des conséquences sur ses propriétés macroscopiques.

L'amidon va permettre de fluidifier une pâte avec gluten en s'intercalant entre les protéines et en empêchant celles-ci de se lier entre elles. Elles permettent de diluer les particules de farine surtout dans le cas de farine à forte teneur en gluten ou en protéine (Tiefenbacher, 2018).

Nous pourrions utiliser différents types de féculs telles que de la fécule de pomme de terre, de la fécule de maïs ou de la fécule de tapioca. Le but de notre produit étant de revaloriser un sous-produit local, il nous paraît évident de privilégier des matières premières pouvant être produites localement. Nous excluons donc la fécule de tapioca de nos premiers tests.

La fécule se présente sous la forme de poudre plus blanche et plus fine que de la farine et présente l'avantage d'avoir peu de goût.



Figure 15 : Fécule de maïs

Elles sont utilisées pour modifier la texture des aliments de par leurs propriétés gélifiantes et épaississantes. En effet, les féculs peuvent être utilisées pour lier des sauces et des crèmes ainsi que pour aérer des pâtisseries telles que des cakes, des gâteaux et des biscuits, comme dans notre cas. Pour qu'une fécule allège la pâte, elle ne peut être utilisée seule, elle doit être mélangée avec une farine (*Comprendre les féculs et les amidons.*, 2017).

Les féculs ont donc un rôle très important dans les produits de boulangerie et de pâtisserie ne contenant pas de gluten, où elles sont donc utilisées pour lier la pâte et donner texture et structure aux pâtisseries (*Comprendre les féculs et les amidons.*, 2017).

Le tableau 8 reprend les compositions de plusieurs farines et de l'amidon.

	Type	Amidon (%)	Protéine (%)	Lipide (%)	Fibres (%)
Sarrasin	Farine	58	13	3,1	10
Maïs	Farine	75	6,8	2,8	3,2
Maïs	Amidon	88	0,3	0,1	0,9
Pomme de terre	Amidon	81	0,57	0,1	0,1

Tableau 8 : Composition des farines et de l'amidon probables pour la production de nos cornets

d) Matières grasses

La matière grasse aura pour rôle d'apporter de la saveur et de l'onctuosité au produit. Nous pourrions utiliser de la matière grasse d'origine animale ou végétale. Il faudra faire attention au point de fusion de la graisse, car si il est trop élevé on ne pourra pas l'incorporer lors du mélange de la pâte à température ambiante. Dans la liste des ingrédients des autres cornets sans gluten, on a pu retrouver plusieurs matières grasses différentes comme le beurre, l'huile de coco ou l'huile de palme. Il faut utiliser des huiles liquides ou fondues qui ne risquent pas de cristalliser dans la pâte. La présence de ces cristaux va réduire la stabilité du cornet final.

La matière grasse présente dans les cornets aura plusieurs rôles. Le premier est de faciliter le démoulage par la présence d'une fine pellicule d'huile entre la gaufrette et le gaufrier. Dans le but de faciliter le démoulage il est recommandé d'incorporer l'huile à hauteur de 3 à 9%. Une matière grasse de bonne qualité est également recommandée car elle influencera la production et le stockage des cornets.

L'indice d'iode des huiles est un paramètre utilisé pour quantifier les insaturations des acides gras. Il correspond à la masse de diiode pouvant se fixer sur ses insaturations, il est exprimé en grammes de diiode par 100g d'huile (Shimamoto et al., 2016)

Cet indice est directement corrélée avec la teneur en acides gras polyinsaturés qui sont propices à une dégradation rapide due à des réactions d'autoxydation et de polymérisation. Le tableau 9 reprend l'indice d'iode de plusieurs matières grasses.

Source	Limite inférieure (g/100g)	Limite supérieure (g/100g)
Huile de coco	6	11
Beurre	25	42
Huile de palme	50	55
Huile de colza	105	126
Huile de tournesol	118	141

Tableau 9 : Indice d'iode de différentes matières grasses (Tiefenbacher, 2018)

En cas de problème de démoulage ou de conservation il faudra se pencher sur l'utilisation d'huile avec des indices d'iode inférieures car il est recommandé d'utiliser des huiles avec des teneurs inférieures à 85. Ce sera surtout recommandé dans le cas d'utilisation de grandes quantités de matière grasse.

La matière grasse permet également une amélioration des saveurs du cornet en servant de support aux arômes et apporte une texture plus douce. Il faut faire attention aux réactions d'oxydation car elles apporteront un goût rance aux cornets.

e) Sucre

Quand le terme sucre est mentionné sans autre terme, il fait référence au saccharose, qui est un diholoside formé par une molécule de glucose et une de fructose.

Les fonctions technologiques du sucre dans les cornets sont nombreuses.

Premièrement, le sucre apporte un goût sucré au cornet. Contrairement à d'autres sucres ou édulcorant, le saccharose apporte une note sucrée très intense et qui va rapidement

disparaître. Ce goût est connu de tous depuis le jeune âge et c'est pourquoi nous n'apprécions pas lorsqu'un autre sucre est utilisé car son impression en bouche est différente.

Ensuite, le sucre dissout présent dans la pâte donne une solution avec une tension superficielle légèrement supérieure ce qui va influencer négativement le mouillage de la farine.

Le sucre en solution a une action antiplastifiante sur les granules d'amidon et sur le gluten. Une teneur élevée en sucre diminue la plastification ce qui demande des températures supérieures pour gélatiser l'amidon et dénaturer le gluten. Le résultat d'une pâte avec des teneurs en sucre plus élevée est la présence dans les cornets d'amidon non gélatinisé.

Il en résulte des deux points précédents que la diminution du mouillage de la farine et de la plastification de l'amidon et du gluten influence la viscosité de la pâte, il faut donc modifier le rapport eau/farine pour obtenir la même viscosité. Pour des teneurs en sucre plus élevée il faut diminuer ce rapport eau/farine.

Le sucre est le substrat pour la réaction de Maillard. La réaction entre des sucres réducteurs et les groupes amines des protéines crée des pigments et des molécules aromatiques qui donneront une couleur et des arômes caractéristiques. Le pH aura une influence sur l'intensité de ce brunissement, c'est pourquoi l'utilisation d'agent levant comme le bicarbonate de sodium intensifie cette réaction. Un autre phénomène est la caramélisation due à la dégradation thermique des hydrates de carbone.

Un autre point est l'influence d'une haute teneur en sucre (supérieur à 35%) qui permet d'obtenir une gaufrette molle après la cuisson et de pouvoir la rouler ensuite en forme de cornet. Le sucre se solidifie ensuite rapidement en refroidissant et rend le cornet rigide. Il faut donc rouler la gaufrette rapidement avant que le sucre ne durcisse. Le mélange de différents sucres permet de diminuer le point de fusion et donc de garder la gaufrette déformable plus longtemps, cela permet dans une autre mesure de diminuer le pourcentage total de sucre utilisé dans la recette. On recommande l'utilisation de 38 à 45% de sucre en masse de farine dans la pâte.

Pour finir, le sucre influe également sur la texture en donnant un aspect plus dur à la gaufrette et en ralentissant la vitesse de migration de l'humidité au sein de celle-ci. Le sucre joue également sur les arômes perçus, en masquant l'amertume, l'acidité ou le salé venant d'autres ingrédients ou de processus de fabrication (caramélisation, oxydation des lipides...) (Tiefenbacher, 2018).

Le degré de raffinage n'a pas de rôle technologique pour la production de cornets. On peut envisager l'utilisation de sucre plus économique, moins raffinés et du sucre roux. L'utilisation de sucre liquide est également envisageable (Tiefenbacher, 2018). Il existe plusieurs types de sucres disponibles : le sucre granulé (forme la plus répandue), le sucre brut (granulométrie supérieure au sucre granulé) et le sucre très fin (granulométrie inférieure au sucre granulé) (*Les types de sucre*, s. d.).

Il existe des sucres secs ainsi que des sucres liquides et des sucres invertis. Parmi les sucres secs, on retrouve par exemple le sucre cristallisé blanc, le sucre raffiné, le sucre semoule et impalpable, le sucre perlé, la mélasse, le sucre brute de canne, le sucre de canne biologique... (*Semoule et Sucre Impalpable*, 2018). Ces différents types de sucres répondent à différentes normes de qualité CE, ont une granulométrie spécifique ainsi que des applications propres. Ils possèdent également des caractéristiques qui leur sont spécifiques telles que : la rapidité de dissolution, la pureté, la coloration et le taux de cendres.

Lors de la fabrication des cornets, nous utiliserons un sucre faisant partie des sucres semoules et impalpables car ceux-ci sont utilisés dans l'industrie des viennoiseries, pâtisseries et biscuits. Il s'agit de sucre de très haute pureté, à taille de grain arrondie et uniforme. Il est d'aspect mat. Il est classé selon sa granulométrie (*Semoule et Sucre Impalpable*, 2018) :

- S0 : sucre glace : 0,08-0,1 mm
- S1 : sciure ultra-fine : 0,2-0,35 mm
- S2 : sucre semoule : 0,35-0,55 mm
- BD : Brillant Decor : 1,4-3,15 mm

Ces sucres ont les avantages suivants (*Semoule et Sucre Impalpable*, 2018) :

- S0 : sa blancheur et son effet neige
- S1 : sa dissolution rapide et ses cristaux blancs
- S2 : sa granulométrie régulière et sa dissolution rapide

Lors de l'élaboration de notre produit, nous utiliserons le **sucré semoule S2**.

f) Œufs

Les œufs sont utilisés dans les recettes traditionnelles, domestiques, et jouent un rôle d'émulsifiant. Puisque nous sommes dans un contexte d'une production industrielle, nous utiliserons un additif comme la lécithine de soja ou la lécithine de tournesol. Les lécithines sont définies et expliquées dans le point dédié aux additifs (point (i)).

g) Sel

Le sel est un condiment retrouvé dans la formulation de nombreux produits de boulangerie afin de rehausser le goût. L'ajout de sel dans la pâte permet de modifier les caractéristiques organoleptiques et de conférer une meilleure conservation des aliments par diminution de l'activité de l'eau. D'un point de vue technologique le sel n'est pas nécessaire, il aura tout de même un effet positif en interagissant avec les protéines présentes dans la farine.

h) Eau

L'eau aura pour but de mettre en solution tous les ingrédients présents afin de former une pâte homogène. Une partie de celle-ci sera piégée dans le réseau tridimensionnel formé par l'amidon, et une autre partie sera évaporée durant la cuisson (Malumba et al., 2011).

L'eau est un intrant majeur dans les entreprises alimentaires. En effet, en plus d'être utilisée pour des usages tels que le nettoyage, l'eau peut être utilisée directement dans le processus de fabrication des produits alimentaires comme dans le cas des cornets pour crèmes glacées. Les risques liés à son utilisation doivent donc être maîtrisés et l'eau doit satisfaire à des critères de qualité. Afin de satisfaire ces critères, il existe des exigences réglementaires et des directives en matière de contrôle des paramètres de qualité. L'instrument juridique principal est La directive 98/83/CE relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. (Directive 98/83/CE relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine., 1998).

Les 3 types de qualité d'eau sont les suivants, et correspondent à l'utilisation que l'entreprise alimentaire en fera :

- Qualité potable : eau devant satisfaire aux normes fixées par la réglementation
- Qualité propre : eau ne contenant ni de micro-organisme ni de substance nocive ou toxique ou de plancton marin toxique en quantités susceptibles d'avoir une incidence sur la qualité sanitaire des denrées alimentaires défini dans le Règlement (CE) N° 853/2004 c
- Qualité non potable : eau ne correspondant pas aux exigences de qualité des eaux potables ou des eaux propres

Nous utiliserons donc de **l'eau potable**, puisqu'elle sera utilisée comme « ingrédient d'un produit alimentaire ».

Plusieurs paramètres de l'eau auront une influence sur la qualité et les caractéristiques des cornets. On surveillera notamment la température de l'eau, sa dureté et sa valeur de pH.

La température aura un effet dans le contrôle de la température de la pâte et dans le développement du gluten. Une température plus élevée aura pour effet une dissolution plus rapide du sucre et donc de réduire le temps de mixage, et également de limiter la formation de cristaux de graisse dans le cas d'une graisse ayant un point de fusion plus élevé.

La dureté de l'eau a un effet sur la texture et le poids des cornets mais également sur la capacité de ceux-ci à être roulés. Elle est définie par la somme des concentrations des ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) en solution. On distingue 2 types de dureté, une temporaire liée à l'évaporation de CO_2 pendant le chauffage qui mènera au dépôt des bicarbonates de calcium et magnésium. Et la dureté permanente due à d'autres ions qui ne sont pas modifiés par le CO_2 (sulfate, chlorure et nitrate). Une eau trop dure mène également à un encrassement plus rapide du moule à gaufres par dépôt de calcaire.

Quant au pH, il a un effet sur l'action levante de la pâte.

Le tableau 10 présente les valeurs recommandées lors de la formulation de cornets au sucre roulés.

Paramètre	Recommandé	Toléré
Dureté de l'eau (mmol/L)	<1,3	0-1,6
Sulfate (mg/L)	<10	<20
Nitrate (mg/L)	<40	<50
pH	7-8	6,5-9,2

Tableau 10 : Valeurs recommandées pour la production de cornets au sucre roulés

Les fonctions de l'eau sont diverses :

1. L'eau est le solvant permettant la dilution des ingrédients dans la pâte. La pâte doit avoir une viscosité modérée pour limiter le développement de gluten durant le mixage. On cherche des valeurs de viscosité de 250-1200 mPa à 20°C.

2. La température de l'eau permet de contrôler la température de la pâte.
3. L'eau permet la répartition rapide et homogène de la chaleur durant la cuisson.
4. L'eau va permettre la gélatinisation de l'amidon. Un niveau suffisant d'eau sera nécessaire, si ce n'est pas le cas on observera une texture non homogène des gaufrettes reflétant différents niveaux de gélatinisation à cause d'un manque d'eau à différents endroits. A l'inverse, une trop grande quantité d'eau laisse les bords des gaufrettes mous à la sortie de la cuisson. Une faible quantité d'eau n'aura pas forcément pour effet de diminuer la quantité d'énergie nécessaire pour la cuisson.
5. L'effet croustillant des gaufrettes vient de l'évaporation rapide de l'eau en début de cuisson. En rajoutant de l'eau on forme des gaufrettes plus légères et plus fragiles.
6. La croustillance du cornet sera dépendante de son taux d'humidité, si à la sortie de cuisson cette caractéristique est très développée avec des valeurs d'humidité de 1 à 2%, avec le vieillissement du cornet et sa reprise en humidité (aux alentours de 4%) le cornet perd en croustillance. La limite se trouve aux environs de 6-7% qui doit donc être une limite d'humidité relative à la fin de la DLC du cornet.
7. Les paramètres de l'eau vont influencer la texture du cornet et le taux de sucre à ajouter pour un roulage acceptable. Ils vont aussi induire le dépôt de résidus dans le cas d'une eau trop dure.

La quantité recommandée d'eau dans la pâte est de 42-50% et en fonction de l'absorption de la farine (Tiefenbacher, 2018).

i) Additifs

Les cornets sans gluten disponibles sur le marché utilisent dans leur formulation, comme nous l'avons vu dans le tableau 6, des additifs. Ces cornets contiennent des émulsifiants tels que la lécithine de tournesol et la lécithine soja. Ils peuvent également contenir des **poudres levantes** telles que le carbonate de magnésium et le bicarbonate de sodium. Certains utilisent également la **gomme xanthane** et **gomme de guar**, qui sont des agents de textures. Ces dernières jouent un rôle de stabilisateur, d'épaississant et d'émulsifiant. Elles permettent de garder une pâte homogène vu la présence de matière grasse et d'eau. Elles sont solubles à froid et peuvent donc être ajoutées aisément durant l'étape de mélange (Tiefenbacher, 2018).

Dans notre produit, après évaluation de leur utilité, notre choix s'est porté sur l'utilisation d'un émulsifiant, d'un agent levant et d'un texturant.

• Les émulsifiants

Les émulsifiants font partie des agents tensio-actifs et permettent l'émulsion de deux liquides normalement non miscibles en réduisant l'énergie interfaciale. Les émulsifiants sont des composés gras bipolaires présentant des propriétés lipophiles et hydrophiles facilitant la dispersion d'une phase dans l'autre et stabilisant l'émulsion. Dans la boulangerie et la pâtisserie, les émulsifiants permettent d'améliorer les propriétés de manipulation de la pâte, d'augmenter le taux d'hydratation et d'absorption de l'eau, de permettre une meilleure tolérance au repos de la pâte, de permettre l'émulsion des graisses et d'augmenter la durée de conservation du produit (Tiefenbacher, 2018).

En fonction des émulsifiants, certains présentent plus de parties lipophiles ou hydrophiles, impliquant leur dilution dans l'eau ou l'huile préalablement à leur incorporation à la pâte.

La lécithine

La lécithine est un additif alimentaire utilisé comme émulsifiant. Ce sont des phospholipides polaires contenant du glycérol avec deux groupements acides gras et un groupement phosphate où il y a une liaison avec la choline. C'est la présence de ces différents groupes qui donne à la lécithine ses propriétés émulsifiantes.

La lécithine possède plusieurs rôles dans la préparation des cornets (Tiefenbacher, 2018) :

- Elle est présentée comme un émulsifiant mais vu le faible dosage de matière grasse dans les cornets ce ne sera pas son rôle majeur. En effet, elle agira principalement comme agent mouillant en étant adsorbée avec l'huile à la surface des particules de farine pendant la préparation de la pâte, et ensuite comme agent de démoulage après la cuisson. Son rôle dans le démoulage provient de sa propriété amphiphile, la partie hydrophile se fixera sur les structures amidon-gluten et sa partie lipophile, comme les matières grasses, agit sur le démoulage.
- Elle influence la libération de la vapeur durant la cuisson et permet d'aider à donner la structure aérée aux gaufrettes. Elle empêche que les matières grasses hydrophobes influent négativement le dégagement de vapeur.

Il faudra cependant être attentif car l'ajout de lécithine n'apporte pas que des bénéfices aux cornets, si elle est mal dosée elle peut apporter un goût non voulu aux cornets et également accentuer les différences de coloration dans la gaufrette.

- **Les agents levants**

Le bicarbonate de sodium

Le bicarbonate de sodium (NaHCO_3) est utilisé comme agent levant, il permet la production de bulle de gaz dans la pâte et par ce biais de donner une texture aérée au produit une fois cuit. La libération de gaz se fait à température ambiante en présence d'un acide ou de sucre et dans un milieu humide. Il permet également de corriger l'acidité de certains ingrédients (Tiefenbacher, 2018).

La présence de taches brunes sur le produit fini indique une mauvaise dissolution du bicarbonate de sodium dû à une granulométrie trop importante.

- **Les texturants**

La gomme de guar modifie la rhéologie et la texture de la pâte en stabilisant l'émulsion et en modifiant la gélatinisation de l'amidon. Ce point est développé plus en détail dans la partie ingrédients sans gluten (Tiefenbacher, 2018).

- **Le carbonate de magnésium**

C'est un additif hydrophobe, il facilite le démoulage et permet de protéger un peu les cornets de la migration d'humidité. On l'utilisera dans des quantités allant de 0,25-0,7% en masse de farine (Tiefenbacher, 2018).

j) Fibres

Les fibres de cellulose absorbent plus d'eau, il faut donc veiller à essayer de réduire cette capacité de rétention d'eau afin de ne pas dépasser 600% de prise en eau par rapport à la masse de fibres, Sinon l'eau ajoutée pour combler cette absorbance diminuera l'effet stabilisateur qu'apporte les fibres (Tiefenbacher, 2018).

La taille des fibres doit être comprise entre 30 et 300 μm pour qu'elles puissent être incorporées convenablement dans la pâte. Il est recommandé d'ajouter entre 1 et 1,5% du poids en farine pour un bon effet de stabilisation mécanique (Tiefenbacher, 2018).

k) Arômes

Nous pourrions, au besoin, ajouter un arôme naturel tel que l'arôme de vanille. Nous en ajouterons si le goût du produit fini n'est pas satisfaisant.

l) Lait

Certaines recettes domestiques de cornets sans gluten en utilisent mais il ne fait pas partie des ingrédients des cornets sans gluten industriels.

CHAPITRE 4 : ETUDE DES TESTS

4.1. Introduction

Il est essentiel que notre cornet conserve toutes ses qualités d'origine à travers le temps. Par exemple, il ne serait pas envisageable que le cornet passe de croustillant à moelleux lorsqu'il est laissé un certain temps à température ambiante ou qu'il se ramollisse lorsqu'une boule de glace y est posée. Ces changements dans la texture du produit fini impactent sa qualité ainsi que ses caractéristiques spécifiques.

La susceptibilité d'un cornet à se casser est un paramètre d'une grande importance, à la fois du point de vue des glaciers, mais également du point de vue des consommateurs de crèmes glacées. La rupture des cornets peut avoir lieu lors de la pause d'une boule de crème glacée et lors de sa manutention (stockage des cornets et transport). Le stockage des cornets est, la plupart du temps, fait par empilement de ceux-ci. Cette disposition permet de gagner de l'espace dans l'emballage. Les cornets doivent donc être suffisamment résistants afin de ne pas casser lors du transport, car dans le cas contraire, ils seront impropres à la vente.

La plupart des processus de détérioration sont dus au déplacement de l'humidité dans le produit. Les cornets sont **hygroscopiques**, c'est-à-dire qu'ils ont la propriété d'absorber l'humidité de l'environnement, principalement celle de l'air, et de la retenir. Les matériaux hygroscopiques sont sensibles à une humidité relative et à une activité de l'eau élevée. Dans une atmosphère humide, les matériaux hygroscopiques absorbent donc l'humidité menant à la perte de leur croustillance. Les **humectants**, comme le fructose et le glycérol, sont fortement hygroscopiques. Ils sont ajoutés aux aliments pour maintenir une forte teneur en eau à une activité de l'eau aussi faible que possible (Tiefenbacher, 2018).

Les mesures de texture des cornets sont importantes afin d'obtenir des résultats objectifs et reproductibles, qui seront complétés par des tests hédoniques et organoleptiques.

4.2. Texture

La texture des cornets dépend de leur **teneur en eau**. Les cornets, comme d'autres produits **secs**, ont une très faible teneur en humidité: l'activité de l'eau est inférieure à 0,1, correspondant à une humidité relative inférieure à 10%. Les contacts avec l'air d'une humidité relative plus élevée entraînent une reprise d'humidité engendrant une modification de la texture du cornet. Le contrôle de la teneur en humidité et de l'activité de l'eau est donc nécessaire en parallèle des mesures de la texture. La teneur en humidité **critique** est de **7%** d'humidité (Tiefenbacher, 2018).

Pour rappel, l'humidité relative exprime la relation entre la teneur en humidité de l'air à une certaine température et la teneur en humidité de l'air saturée à la même température. Elle est exprimée en pourcentage de 0 (correspondant à un air sec, sans humidité) à 100 (correspondant à l'air saturé) (Tiefenbacher, 2018).

L'humidité absolue se rapporte à la quantité d'humidité dans l'air. Elle est exprimée en g/m³ et dépend de la température.

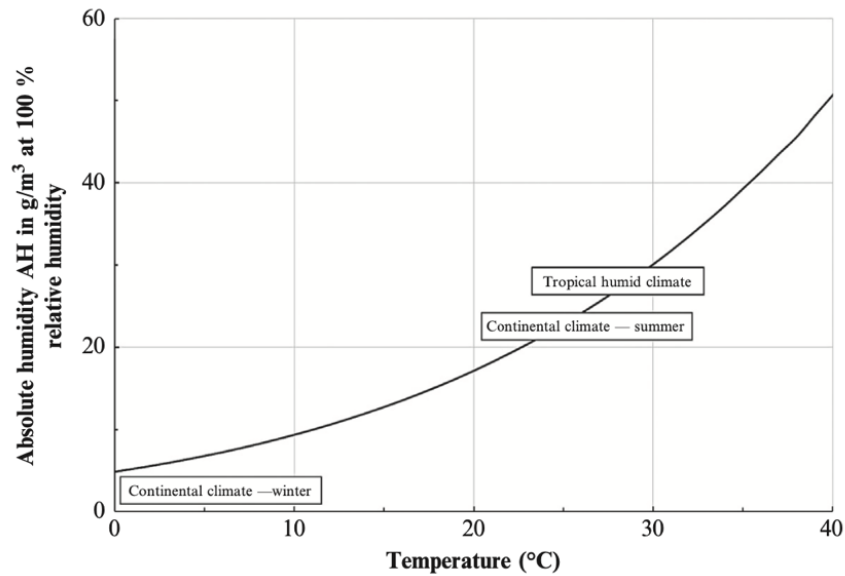


Figure 16 : Teneur en humidité absolue de l'air (AH) en g/m^3 à 100 % d'humidité relative (RH)
(Tiefenbacher, 2018)

La mesure de l'activité de l'eau des aliments varie dans une fourchette allant de 0 (aucune humidité disponible) à 1,0 (l'eau pure).

La figure 17 présente le schéma d'un isotherme d'activité de l'eau (**isotherme de sorption**), et illustre donc la valeur d'équilibre de la teneur en eau en g/100 g de produit en fonction de l'activité de l'eau. Nous pouvons donc observer que si l'on ajoute ou que l'on élimine de l'humidité, on observera des **changements structuraux non réversibles**. L'activité de l'eau augmente avec la température et la pression (Tiefenbacher, 2018).

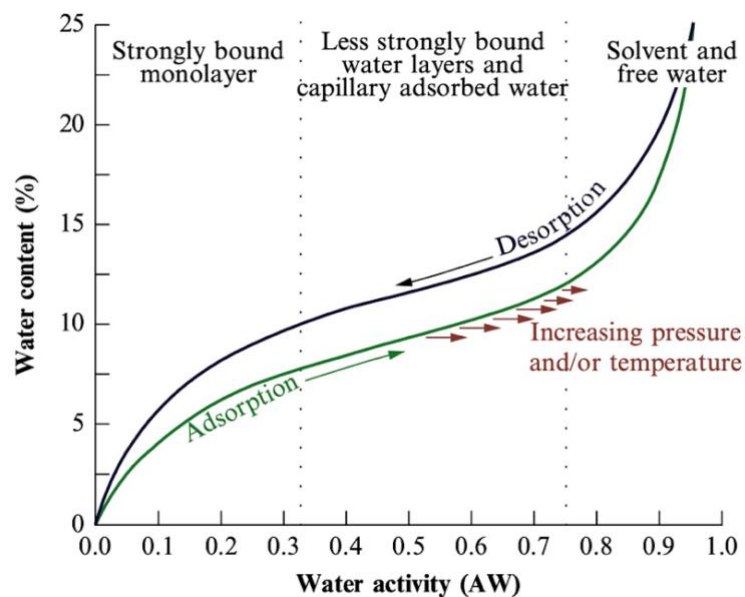


Figure 17 : Isotherme de l'activité de l'eau (isotherme de sorption) (Tiefenbacher, 2018)

Nous pouvons distinguer 3 zones sur la figure :

- Dans la première, où l'activité de l'eau va jusqu'à environ 0,33, un cornet absorbera rapidement l'humidité. Cette eau est fortement liée et ne s'élimine pas facilement, le croustillant doux se transformera en un croustillant plus dur, donnant une texture mécaniquement plus solide.
- Dans la deuxième zone, l'activité de l'eau va de 0,33 à environ 0,75. Dans un premier temps, la texture va continuer de se renforcer. Ensuite, un effet lubrifiant apparaîtra. Pour un cornet, atteindre une activité de l'eau de **0,45** à température ambiante conduit à ce que l'état vitreux et croustillant se transforme progressivement en un état caoutchouteux.
- Dans la troisième zone, l'activité de l'eau est élevée : l'eau libre est disponible pour les effets de solvant. Le cornet devient mou et flexible. À une activité de l'eau de 0,85, le cornet se déforme totalement.

Le contrôle de l'**activité de l'eau** est donc un point extrêmement important, aussi bien pour la texture du produit fini mais également pour empêcher la croissance microbienne (Tiefenbacher, 2018) :

- Une faible activité de l'eau est essentielle pour les caractéristiques de texture, donc pour la croustillance des cornets.
- Une activité de l'eau supérieure à 0,95 correspond aux denrées alimentaires hautement périssables. La croissance de la plupart des bactéries est inhibée en dessous d'une activité de l'eau de 0,91, la plupart des levures ne se développent pas en dessous de 0,87 et la plupart des moisissures en dessous de 0,80. Certaines levures et moisissures peuvent se développer même en dessous de ces activités de l'eau, mais la **limite absolue** de la croissance microbienne se situe à une activité de l'eau de **0,6**.
- L'activité de l'eau influence également la vitesse des réactions chimiques indésirables telles que le brunissement enzymatique, le rassissement ou l'oxydation.

L'isotherme de sorption d'une gaufrette montre qu'une gaufrette avec 1 à 2% d'humidité résiduelle après cuisson a une activité de l'eau inférieure à 0,1, ce qui correspond à une humidité relative inférieure à 10%. Dans les conditions habituelles (humidité relative entre 30% et 70%), les gaufrettes fraîchement cuites, absorbent l'humidité de l'environnement modifiant leurs propriétés, du fait de leur hygroscopicité. Le processus de sorption n'est pas rapide mais est régulier, jusqu'à atteindre environ 5,5% (Tiefenbacher, 2018).

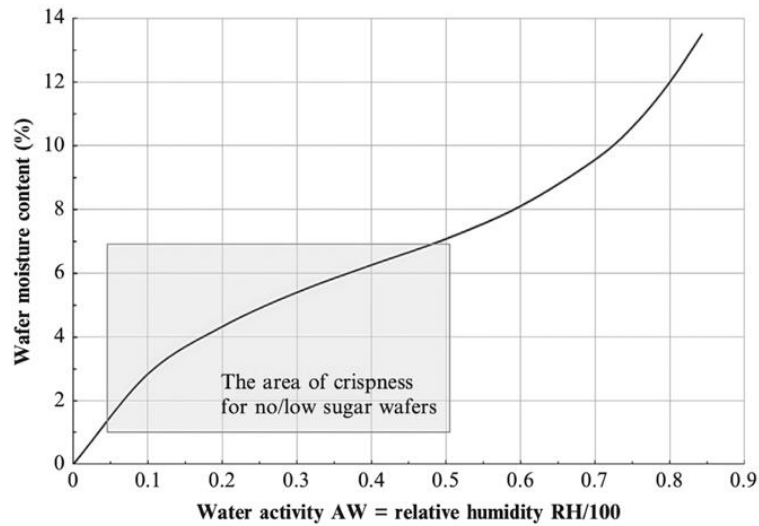


Figure 18 : Isotherme de sorption d'une gaufrette (Tiefenbacher, 2018)

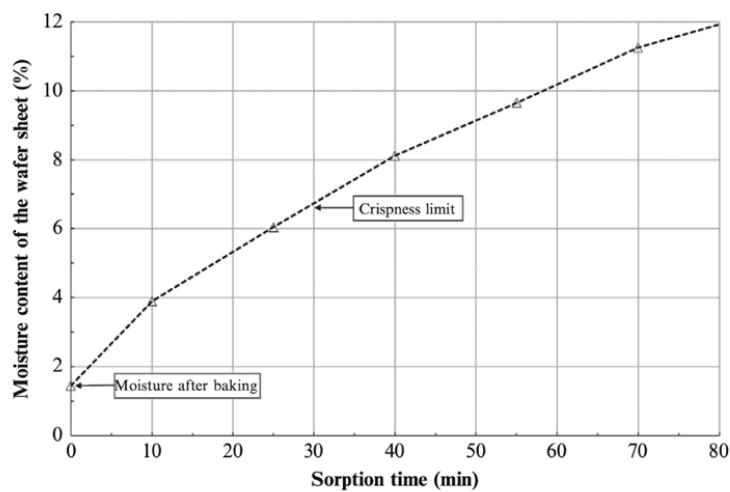


Figure 19 : Sorption d'humidité d'une gaufrette à 97% d'humidité résiduelle, 15°C (Tiefenbacher, 2018)

Lorsqu'un cornet est laissé à une humidité relative proche de 100%, son croustillant sera rapidement perdu (en moins de 30 minutes.) La limite se situe à 45% d'humidité relative, correspondant à une teneur en humidité d'environ 6,5% (Tiefenbacher, 2018).

Après la cuisson, la gaufrette est fragile, donc facile à casser. Plus la teneur en humidité augmente, jusqu'à environ 5 %, plus la structure est stable. La gaufrette est toujours croustillante mais moins cassante. **Une activité de l'eau de 0,45** est un seuil significatif pour que les gaufrettes perdent les propriétés de texture caractéristiques (Tiefenbacher, 2018).

Le tableau 11 montre les conséquences sur la texture d'une augmentation de la teneur en eau.

Timeline	Texture	Moisture Content (%)	AW
After baking	Crisp, very tender	1–2	<0.10
Matured/conditioned	Crisp but stronger	3–5.5	~0.30
Unprotected storage ^a	Slightly rubbery to chewy	>~6.5	~0.45
	Soft	>12	~0.80
	Collapsed structure	>22	~0.85

^aHigh moisture barrier packaging is required.

Tableau 11 : Texture, humidité et activité de l'eau de gaufrettes (Tiefenbacher, 2018)

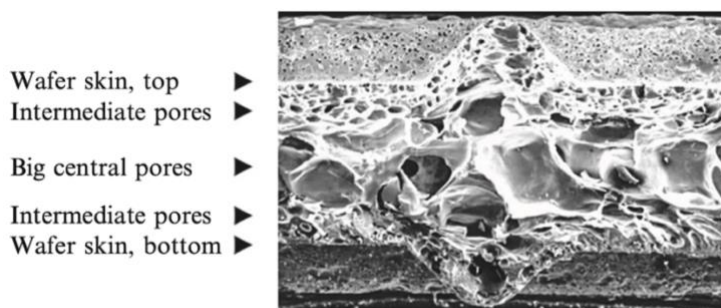
Les différents points qui expliquent et influencent la texture des cornets sont les suivants (Tiefenbacher, 2018) :

- L'état vitreux

La teneur en humidité après la cuisson des cornets est faible: de 1 à 2%. Cet état se maintient jusqu'à une teneur en humidité d'environ 6%, correspondant à une activité de l'eau de 0,45. En passant de 2% après la cuisson à 6%, la texture devient plus ferme. Lorsque 6% d'humidité est dépassée, la texture passe de vitreuse à caoutchouteuse, les cornets auront donc perdu leur croustillance/croquant.

- La structure poreuse

La porosité est le rapport entre le volume des pores et le volume total d'un matériau. Celle des cornets est comprise entre 0,75 et 0,9, donnant une densité de 0,1-0,2 g/cm³. La porosité des cornets est le résultat de la formation de mousse pendant le processus de cuisson. La figure ci-dessous montre une section transversale d'une gaufrette. Nous pouvons y voir que les couches de surface (les deux couches superficielles extérieures) sont plus denses et plus fermes et qu'elles ne présentent que quelques petits pores. La partie centrale présente quant à elle de larges pores. C'est cette combinaison qui est responsable de l'impression de croustillance et de souplesse.



SEM from I.K. Mohammed et al.,
Procedia Food Science 1, 499-504, 2011

Figure 20 : Les 5 zones de la section transversale d'une gaufrette (Tiefenbacher, 2018).

- La structure du motif des plaques du gaufrier

Des retraits moins profonds entraînent une surface moins dense et ferme que des retraits profonds qui auront donc une texture plus ferme.

- L'influence de la recette et des ingrédients

4.3. Activité de l'eau

L'activité de l'eau (a_w) est la teneur en eau libre dans un aliment. Celle-ci correspond au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau du produit sur la pression partielle de vapeur de l'eau pure, dans les mêmes conditions de température et de pression totale.

La figure 21 correspond à l'échelle de l'activité de l'eau. La valeur de l'activité de l'eau est comprise entre 0 et 1. Une valeur de 0 correspondra à un produit où toute l'eau est liée à la matrice alimentaire, il s'agira donc d'un produit sec, contrairement à une valeur de 1 qui correspondra à l'eau pure. Nous observerons donc, sur cette échelle, que notre produit devra avoir une activité de l'eau aux alentours de 0,3.

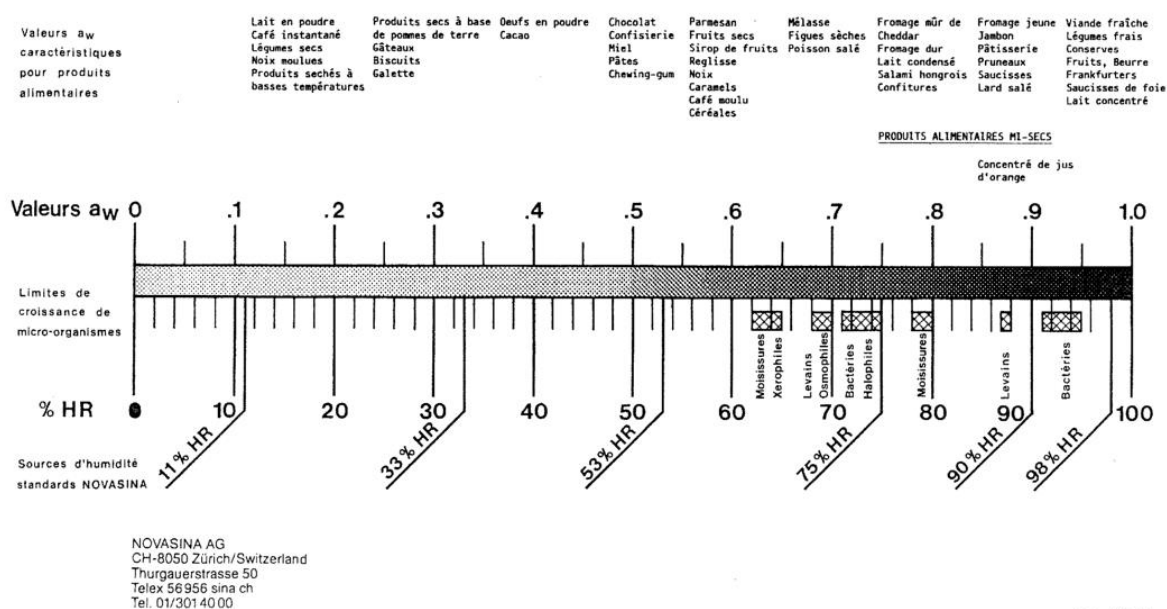


Figure 21 : Échelle de l'activité de l'eau (Novasina (2006))

L'activité de l'eau est un facteur influençant la conservation des aliments. En effet, plus l' a_w est élevée, plus la quantité d'eau libre est grande et donc disponible pour le développement des micro-organismes (bactéries, levures et les moisissures). Un produit est considéré comme stable lorsque son activité de l'eau est inférieure à 0,60. La valeur de 0,60 est donc la limite recherchée pour des produits pouvant être conservés à température ambiante durant une longue période (Novasina (2006)).

La figure 22 présente le diagramme de sorption des cornets. Cette figure présente la relation entre teneur en humidité et activité de l'eau et les catégories de texture allant de bonne à moelleuse (Tiefenbacher, 2018).

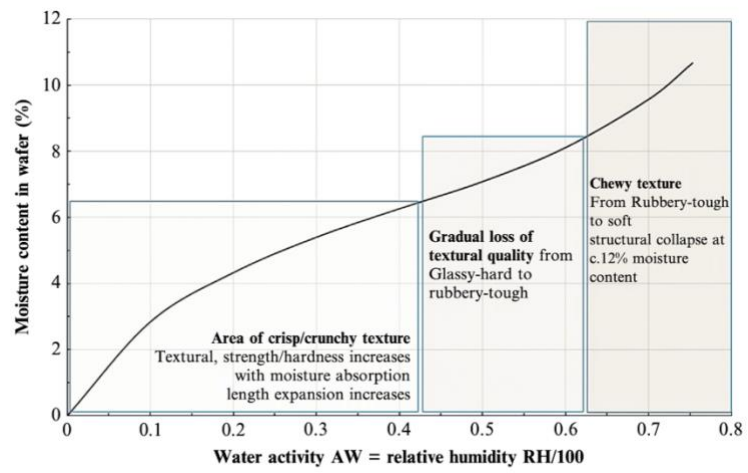


Figure 22 : Sorption d'humidité et texture des gaufrettes (Tiefenbacher, 2018)

CHAPITRE 5 : ETUDE DE MARCHÉ ET MARKETING

5.1. Introduction

Dans notre étude de marché, nous allons approfondir et clarifier le positionnement de notre produit sur le marché. Pour ce faire, nous commencerons par tenter de cerner plus en détails les **habitudes alimentaires** des belges afin d'avoir une vision la plus globale possible des différents enjeux du secteur. Ensuite, nous continuerons par une analyse **SWOT** (**S**trengths, **W**eaknesses, **O**pportunities et **T**hreats) afin d'une part de déterminer les forces et les faiblesses de notre produit face à la concurrence et d'autre part les opportunités et les menaces rencontrées dans ce secteur. Nous décrirons ensuite notre modèle économique complet en employant le **Business Model Canvas**. Dans la partie qui suivra, la pertinence de notre proposition de valeur sera évaluée au travers d'une double **enquête** lancée auprès de nos différentes cibles. Finalement, nous clôturerons l'étude de marché par une étude de la **concurrence** afin d'avoir une vue d'ensemble du marché qui nous entoure.

5.2. Habitudes alimentaires en Belgique

5.2.1. Les tendances actuelles

Les tendances alimentaires des consommateurs ont considérablement évolué durant ces dernières décennies. Les consommateurs sont de plus en plus inquiets face à des questions telles que la durabilité, la santé, la sécurité alimentaire, la provenance de leur nourriture ainsi que de l'approvisionnement. Ces inquiétudes ont provoqué des changements majeurs dans les tendances alimentaires (Weber Shandwick, 2017).

Aujourd'hui, un tiers de la nourriture produite dans le monde n'est pas consommée. Le gaspillage alimentaire touche à la fois les consommateurs, les producteurs et les industriels. Les pertes le long de la chaîne alimentaire sont évidemment très importantes et se répartissent comme présenté sur la figure 23 (Agro Média, 2016).

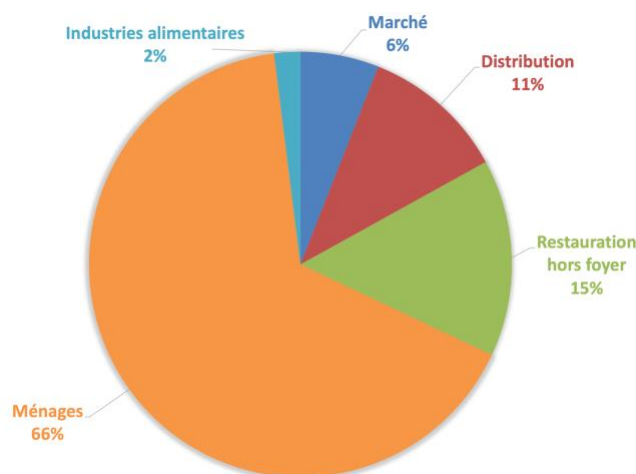


Figure 23 : Répartitions des pertes sur l'ensemble de la chaîne alimentaire

Le secteur des industries agroalimentaires n'est donc pas le premier responsable du gaspillage alimentaire grâce à l'optimisation de leurs procédés de fabrication et la valorisation de leurs sous-produits. Il est cependant nécessaire de trouver des solutions pour certains types de sous-produits encore peu ou pas valorisés tel que le marc de pommes.

La population belge est de plus en plus touchée par la problématique du **gaspillage alimentaire** et concernée par trouver les solutions adéquates à cette problématique. Par exemple, le Plan REGAL lancé par le Gouvernement wallon a pour objectif de réduire de 30% le gaspillage tout au long de la chaîne alimentaire d'ici 2025 (Weber Shandwick, 2017). Notre projet s'inscrit donc tout à fait dans cette problématique actuelle.

Une autre tendance actuelle, importante en Belgique et se reflétant dans notre projet, est l'envie grandissante des consommateurs d'**acheter local** dans le but de réduire leur empreinte carbone et donc d'agir positivement sur le changement climatique (Weber Shandwick, 2017).

Notre cornet sans gluten coïncide également avec l'augmentation des **allergies alimentaires et intolérances**. En effet, en Belgique, il y a plus de 300.000 consommateurs qui ont adapté leur alimentation quotidienne à cause d'une allergie alimentaire ou d'une intolérance ; et ce phénomène s'est étendu aux consommateurs qui n'en sont pas spécialement atteints (Weber Shandwick, 2017).

Notre produit se situe donc à la croisée des chemins entre la tendance à la réduction du gaspillage alimentaire, la volonté grandissante d'acheter plus local et finalement l'augmentation du nombre de personnes ayant des intolérances et allergies alimentaires ou suivant un régime alimentaire spécifique.

5.2.2. Le marché de la crème glacée

Le marché de la crème glacée a connu une importante croissance depuis l'année 2020. Les crèmes glacées sont considérées comme un dessert et une gourmandise de saison. L'augmentation considérable de 2020 peut être expliquée d'une part par la crise sanitaire du COVID 19 et le besoin de "réconfort" qu'ont ressenti bon nombre de personnes, et d'autre part par le climat de plus en plus changeant (*Les ventes de crèmes glacées se sont envolées en 2020 en Belgique*, 2021).

Un belge consomme environ 7 litres de glace par an, ce qui correspond à 140 boules de glace. Par comparaison, en Europe, la consommation annuelle moyenne de glace est d'environ 6 litres par personne (*Combien de glaces mangeons-nous?*, 2019).

La production de crèmes glacées est en hausse car la demande l'est également. Au niveau mondial, 13 milliards de litres de crème glacée sont produits par an. En France, la production s'élève à 365 millions (*Quels sont les chiffres et les données sur le marché de la glace?*, 2021).

Nous allons présenter quelques chiffres afin d'avoir une vision globale de cette croissance fulgurante de la consommation de la crème glacée en 2020. Il s'agit de données françaises, qui peuvent être extrapolées pour la Belgique (Harel, 2021 ; *Quels sont les chiffres et les données sur le marché de la glace?*, 2021) :

- En 2020, la vente de crèmes glacées, qu'elle soit en pots, en bâtonnets, en cornets ou en barquettes, a généré un chiffre d'affaires de 1,26 milliards d'euros, avec une croissance en valeur de 10,3 % et de 8,9 % en volume par rapport à l'année précédente.
- Tous les segments ont progressé, les bâtonnets avec +9,8 %, les cornets +16,4 % et les pots +27,7 %.
- Les innovations réalisées dans le secteur de la crème glacée ont contribué à 58 % de la hausse de la part de marché.
- Le taux de pénétration (le taux de couverture du marché) au sein des foyers français a atteint 85,4%.
- 55 % des français consomment de la crème glacée au moins une fois par semaine et 11 % en consomment tous les jours.
- 83 % des français préfèrent consommer de la crème glacée à domicile, alors que 17 % préfèrent en consommer à l'extérieur.

5.2.3. Le marché du « sans gluten »

Selon une étude globale sur le marché du sans gluten, le marché mondial des aliments sans gluten était, en 2018, évalué à 6,4 milliards de Dollar américain (*Global Gluten Free Food Market Size, Share & Industry Forecast 2018–2025, 2020*). La croissance du marché des aliments sans gluten découle d'une part par l'augmentation de l'incidence de la maladie cœliaque et des intolérances au gluten et d'autre part par les tendances croissantes pour un mode de vie sain. La sensibilisation de plus en plus présente auprès des consommateurs ainsi que la meilleure disponibilité des informations par rapport à la santé et aux régimes alimentaires participent également à la croissance de ce marché. Sur la figure 24, nous pouvons constater que le marché mondial des aliments sans gluten devrait s'accélérer avec un TCAC (taux de croissance annuel composé) de 8,8% de 2019 à 2025.

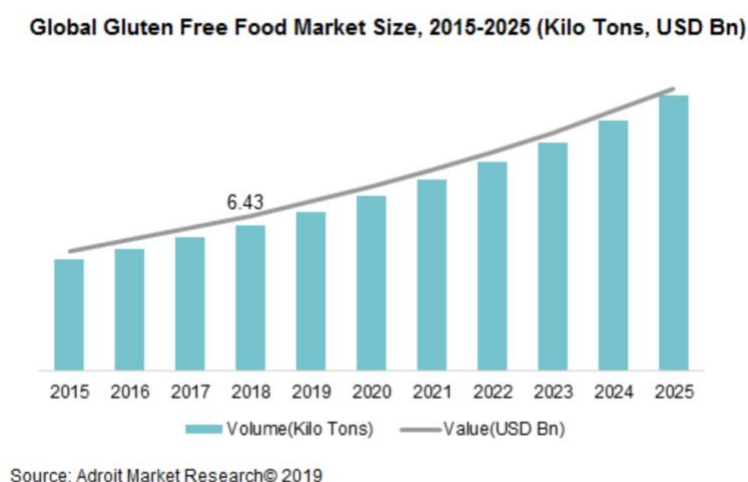


Figure 24 : Taille du marché mondial des aliments sans gluten, 2015 - 2025 (USD Million, Kilo Tons)
(*Global Gluten Free Food Market Size, Share & Industry Forecast 2018–2025, 2020*)

Le marché des aliments sans gluten est donc en pleine croissance. A ses débuts, ce marché se limitait à de petites épiceries spécialisées. A l'heure actuelle, les produits sans gluten se retrouvent partout, que ce soit au restaurant ou dans les grandes surfaces. Les produits sans gluten sont proposés par des spécialistes du sans gluten, tel que Schär, par les supermarchés discount qui ont créé leurs propres marques et par les grands industriels de l'agro-alimentaire tel que Dr. Oetker. L'offre a donc connu une grande diversification et le marché du sans gluten est arrivé sur de nouveaux segments tels que la boulangerie fraîche, le surgelé, les plats préparés et les produits de snacking (Maréchal, s. d.).

A l'heure actuelle il existe un engouement pour les produits sans gluten, qui sont associés à tort à des "produits sains" alors qu'ils étaient avant tout développés pour les personnes intolérantes et donc contraintes à suivre un régime strict sans gluten à vie pour leur santé.

D'après la recherche de Gleize (2020), un français sur quatre est concerné par le sans gluten. En effet, 8% des français suivent eux-mêmes un régime sans gluten et 16% ont un proche qui en fait autant, et vont donc adapter leur régime alimentaire journalier. Soixante-trois pourcents des personnes touchées sont des femmes alors que 37% sont des hommes.

Les personnes suivant un régime sans gluten peuvent être classées en plusieurs catégories (Gleize, 2020). Premièrement, en France, les personnes suivant ce régime **par contrainte** représentent une part de 94%. Parmi ceux-ci nous retrouvons les personnes sensibles au gluten, celles arrêtant le gluten pour soulager une maladie auto-immune ou digestive telle que par exemple les personnes souffrant de problèmes de thyroïde, de diabète, de la maladie de Crohn, les personnes intolérantes au gluten, les allergiques au blé et ceux qui mangent sans gluten pour un membre de leur foyer. Deuxièmement, nous retrouvons les personnes arrêtant le gluten pour des raisons qui ne sont pas médicales, **par effet de mode** (6%). Suivre un régime sans gluten sans raison médicale peut être mauvais pour la santé. En effet, les produits sans gluten ne contiennent pas une quantité suffisante de fibres alimentaires, ce qui peut entraîner une constipation et d'autres troubles du système digestif (*Gluten-free Products Market*, s. d.). De plus, les farines sans gluten utilisées pour fabriquer des produits sans gluten sont souvent hautement raffinées et pauvres en fibres avec un indice glycémique élevé (*Gluten-free Products Market*, s. d.). Il faut également tenir compte des graisses et des sucres ajoutés à ces produits sans gluten pour faire correspondre leur goût, leur texture et leur sensation aux aliments classiques correspondants (*Gluten-free Products Market*, s. d.).

A l'heure actuelle, il est encore très difficile pour une personne suivant un régime sans gluten de trouver ce qu'il désire à l'extérieur du foyer. Par exemple, d'après la recherche de Gleize (2020), 73% des français ne mangeant pas de gluten estiment ne pas pouvoir aller au restaurant autant qu'ils le souhaiteraient, et 44% ne trouvent pas d'offre sans gluten lorsqu'ils vont dans une boulangerie.

Les produits sans gluten peuvent être divisés en différentes catégories (par exemple : pâtes et pizzas, produits de boulangerie, condiments et sauces...). En 2020, c'est le segment des produits de boulangerie qui domine le marché mondial, en termes de valeur et de volume. Ce segment comprend le pain, les petits pains, les brioches, les gâteaux, les biscuits, les crackers, les **gaufrettes**, les biscuits et les mélanges et farines de boulangerie. Ce sont des produits servant d'aliments de base de la population en Amérique du Nord et en Europe. La farine de blé est au centre du secteur de la boulangerie, en tant que matière première. Il est donc essentiel de pouvoir proposer ce type de produits (*Gluten-free Products Market*, s. d.).

5.3. Analyse SWOT

Nous avons réalisé une analyse SWOT dans le but d'identifier les facteurs internes et externes favorables et défavorables à la réalisation de ce projet.

Premièrement, sur l'axe interne de l'analyse SWOT, nous retrouvons les caractéristiques actuelles de notre produit, il s'agit donc de ses forces et de ses faiblesses. Les forces confèrent un avantage concurrentiel à notre produit contrairement aux faiblesses qui reflètent un frein à la réussite de son lancement ou un désavantage face à ses concurrents.

Deuxièmement, sur l'axe externe, nous retrouvons les éléments de l'environnement qui peuvent avoir un impact sur la réussite de notre projet. Nous retrouvons d'une part les opportunités, qui sont propres à l'environnement dans lequel évolue notre projet et qui peuvent être considérées comme un avantage concurrentiel. D'autre part nous retrouvons les menaces, c'est-à-dire les situations externes défavorables qui peuvent impacter négativement notre projet.

L'analyse SWOT est présentée dans le tableau 12.

	POSITIF	NEGATIF
ORIGINE INTERNE	FORCES -Faible coût d'approvisionnement -Valorisation d'un sous-produit -Attrait de la population pour l'anti-gaspi -Produit sans gluten -Diversification de la gamme de produits d'un producteur de cornets -Packaging avec mention / logo « Sans Gluten » -Packaging éco-conçu -Distribution B2B -Produit innovant (via l'utilisation de la farine de marc de pommes)	FAIBLESSES -Coût énergétique de fabrication -Coût élevé du produit par rapport à des cornets classiques (hypertransformés) -Difficulté d'être concurrentiel dans la fabrication du produit (procédé de fabrication de la farine + procédé de fabrication des cornets) et dans la vente
ORIGINE EXTERNE	OPPORTUNITES -Nombre croissant de personnes diagnostiquées intolérantes au gluten -Existence d'un effet de mode du « sans gluten » -Explosion du marché du « sans gluten » -Marché de niche (faible représentation des cornets sans gluten sur le marché) -Réponse à une attente des consommateurs -Possibilité de certifier le produit BIO	MENACES -Disparition de la « mode » de l'intolérance au gluten -Valorisation du sous-produit par les producteurs de jus eux-mêmes, se rendant compte du potentiel -Etre en concurrence avec les marques discount -Etre en concurrence avec les produits sans gluten -Développement d'un traitement contre l'intolérance au gluten, avancée médicale -Prix élevé des produits sans gluten

Tableau 12 : Analyse SWOT

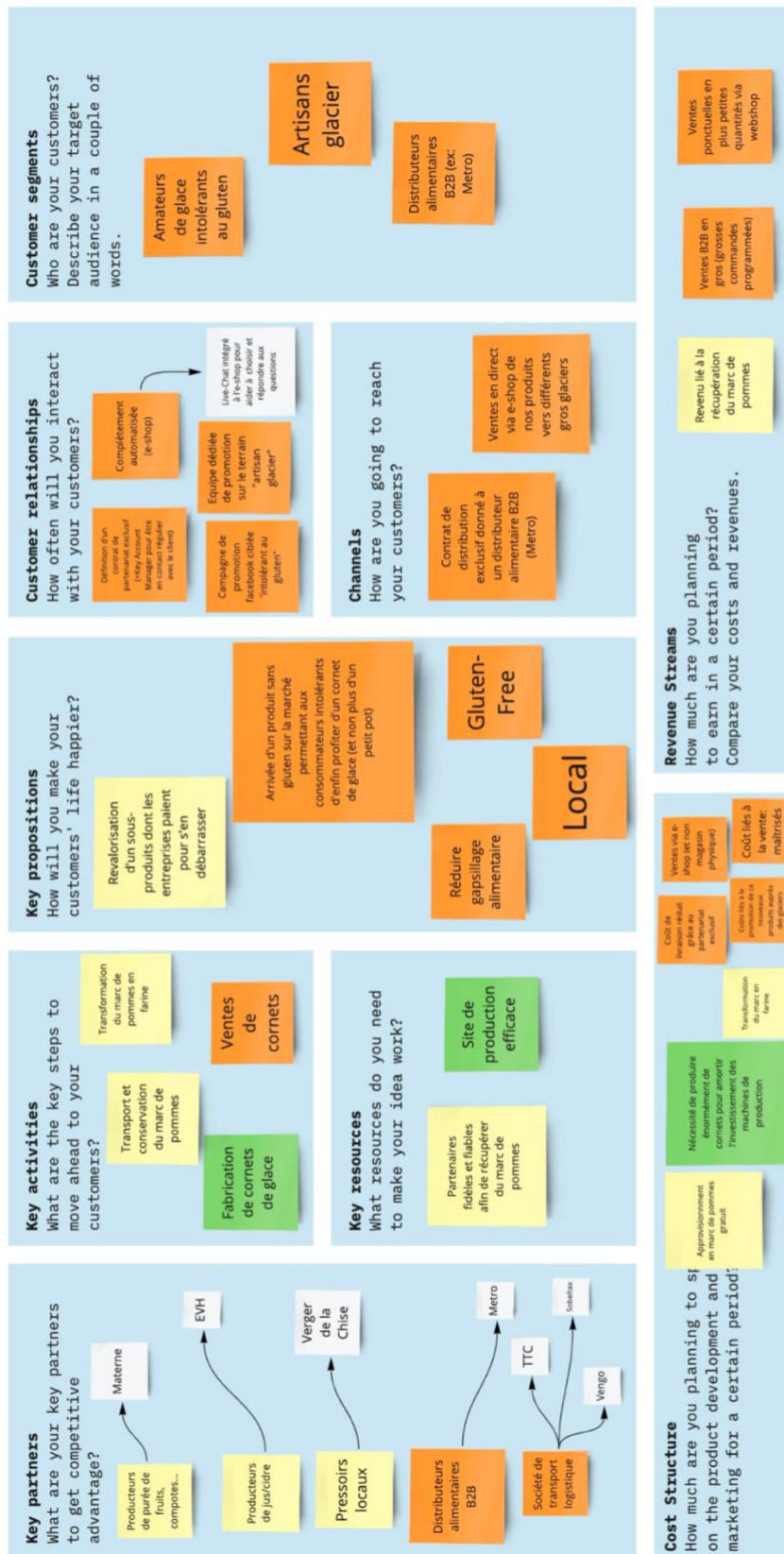
5.4. Business Model Canevas

Au travers de notre business model (ou modèle économique), nous expliquerons précisément comment nous allons **créer de la valeur ajoutée**. Le Business Model Canvas, présenté dans le tableau 13, est composé de 9 éléments, expliqués à la suite du tableau. Les différents éléments du Business Model Canvas sont les suivants : les propositions clés, les partenaires clés, les activités clés, les ressources clés, les segments clients, la relation clients, les canaux de distribution, la structure des revenus et la structure des coûts. Pour plus de facilité, n'hésitez pas à consulter le lien [ici](#) pour visualiser le Business Model Canevas en plein écran.

Pour rappel, afin de créer notre cornet sans gluten issu de la revalorisation du marc de pommes, nous devons tout d'abord nous approvisionner en marc de pommes frais. Ensuite, nous le faisons sécher et le réduisons en poudre. Finalement, cette poudre est incorporée dans une pâte que nous cuisons dans un gaufrier pour ensuite être roulée en forme de cornet. De ce fait, dans ce Business Model Canvas, nous avons mis en place un code couleur afin d'identifier plus facilement les activités liées spécifiquement à chacune des étapes de fabrication et de commercialisation de notre produit. La figure 25 présente notre code couleur.



Figure 25 : Code couleur du Business Model Canvas



Source: [Strategyzer AG](#) | License: [CC BY-SA 3.0](#)

Tableau 13 : Business Model Canvas

Les propositions clés

La proposition de valeur différenciante que nous proposons passe par un procédé en 2 temps : la récupération et la valorisation de marc de pommes cru en poudre et la transformation de cette poudre en cornets à destination principalement des vendeurs de crèmes glacées. Notre cible est donc clairement une clientèle professionnelle et donc Business-to-Business (**B2B**). L'utilisation de poudre issue du marc de pommes nous permet par essence de proposer une alternative sans gluten aux consommateurs. Fini donc pour eux de devoir par défaut choisir un petit pot à la place d'un cornet croquant. En travaillant avec des partenaires belges et donc **locaux** nous visons à réduire la quantité de déchets produite par les pressoirs et industries fruitières belges (**réduction du gaspillage alimentaire**).

Les partenaires clés

Nos partenaires en amont de la chaîne de production sont de 3 types : producteurs de jus/cidre (exemple : EVH), pressoirs locaux (exemple : Vergers de la Chise) et des producteurs de purée de fruits et de compote (exemple: Materne). Ces 3 catégories sont en mesure de nous fournir tout au long de l'année un approvisionnement suffisant en marc de pommes cru.

Ensuite, évoluant dans un marché B2B, nous souhaitons créer des partenariats avec des entreprises de distribution alimentaire à destination des professionnels du secteur de l'HoReCa (exemple : Metro, Bruyère). Finalement, afin d'atteindre ces distributeurs nous souhaitons également externaliser le procédé logistique en travaillant avec une société de transport spécialisée unique (exemple : TTC, Sobeltax) ou un service de coursiers à la demande pour une plus grande flexibilité (exemple : Vengo).

Les activités clés

Nous avons **4 grands piliers** dans nos activités :

- Récupération du marc de pommes frais
- Transformation du marc de pommes en poudre sans gluten : stabilisation du marc par séchage et broyage, suivit du sertissage de la poudre
- Transformation de la poudre issue du marc de pommes en cornets sans gluten
- Ventes de cornets sans gluten

Les ressources clés

Comme sous-entendu plus haut, il est essentiel pour nous de parvenir à créer des partenariats pérennes avec les entreprises générant des quantités importantes de marc de pommes afin de s'assurer un approvisionnement continu.

Ensuite, la transformation de ce marc en poudre doit être réalisée dans un site de production performant pour être certain de pouvoir produire cette poudre en quantité suffisante. Vu que nous travaillons avec un marc de pommes cru, il est essentiel que la transformation soit réalisée dans un laps de temps le plus court possible. Il sera donc nécessaire de pouvoir absorber une quantité importante de marc de pommes dans un temps court.

Les segments clients

Au niveau de notre cible, nous souhaitons viser **3 typologies spécifiques de clients**. Bien entendu nos moyens de communication et le message que nous souhaitons faire passer seront adaptés à chacune de ces cibles.

Tout d'abord notre cible finale à qui notre produit s'adresse en priorité sont les **amateurs de glaces intolérants au gluten**. Ces personnes représentent une part de plus en plus importante dans notre société. En effet, comme démontré plus haut, le marché de la crème glacée est actuellement en croissance ainsi que la part de la population intolérante au gluten.

Pour atteindre ce segment nous avons besoin de convaincre les **artisans glaciers** de la valeur ajoutée de notre produit (dans notre business case, ces artisans glaciers sont des "prescripteurs"). En effet, selon nos hypothèses, la part la plus importante de notre production de cornets sera écoulee chez les glaciers.

Finalement, le troisième type de clients est le **distributeur alimentaire B2B** chez qui ces glaciers viennent s'approvisionner.

Pour résumer, afin d'atteindre nos amateurs de glaces intolérants au gluten, nous devons convaincre les glaciers d'intégrer nos cornets sans gluten dans leur offre et qu'ils puissent les retrouver directement chez leurs distributeurs actuels.

La relation clients

Pour atteindre chacune de nos cibles nous devons manœuvrer simultanément et avec précision. Nous allons créer un besoin chez les "amateurs de glaces intolérants au gluten" à travers de la publicité ciblée sur Facebook (en utilisant comme moyen de segmentation sur la plateforme l'affinité des utilisateurs avec les groupes "sans gluten", "gluten free"...) et du redirect marketing.

Parallèlement à ces campagnes ciblées nous allons mettre en place une équipe dédiée sur le terrain de "promoteurs". Ces promoteurs auront pour mission de visiter chacun des glaciers du pays (priorisation sur base du potentiel de chacun de ces clients, le potentiel se définissant par le nombre de boules de glaces vendues) afin de faire connaître nos produits et surtout mettre en avant les opportunités d'atteindre de nouveaux clients intolérants au gluten.

Finalement, nous souhaitons octroyer un contrat de partenariat exclusif avec un distributeur alimentaire B2B. L'attrait des distributeurs pour les contrats exclusifs leur permettra d'offrir une offre différenciée et unique à leurs clients tout en diminuant la guerre des prix sur ces produits (en l'absence de point de comparaison).

Les canaux de distribution

Pour atteindre les glaciers, nous créerons un contrat de distribution exclusif avec un distributeur alimentaire B2B. Parallèlement à cela, nous offrirons également la possibilité pour les glaciers de commander directement à travers notre e-shop les produits dont ils ont besoin. Utiliser un e-shop permettra également de donner la possibilité aux clients finaux de s'approvisionner directement en cornets même si cela ne constitue pas notre priorité.

La structure des coûts

Parmi les avantages compétitifs dont nous disposons, un des plus importants concerne notre approvisionnement en matière première. Le marc de pommes est un déchet pour les

producteurs de jus et ce déchet est trop peu valorisé. De plus, les coûts liés à la gestion de ces déchets sont importants pour eux. En offrant une solution de récupération nous nous approvisionnons gratuitement. Nous pouvons même financer le transport de ce marc de pommes vers notre centre de valorisation. A côté des revenus liés à l'acquisition de notre matière première, la transformation du marc en poudre risque d'être un procédé énergivore qui risque d'avoir un impact important sur nos coûts. Ensuite, vu le marché dans lequel nous nous engageons, la nécessité de produire de grandes quantités va nous obliger à disposer d'un centre de production à la pointe de la technologie pouvant observer des volumes de production importants en un laps de temps court.

Concernant la vente de nos cornets, les coûts de livraison seront réduits grâce au partenariat exclusif avec un distributeur alimentaire B2B qui fonctionne avec un centre logistique centralisé. Ensuite pour notre autre segment, les ventes passeront via e-shop et pas par un magasin physique, ce qui évitera des frais de location importants. Ajoutons néanmoins à cela le besoin d'avoir une équipe de promoteurs sur le terrain pour valoriser notre produit vis-à-vis des glaciers ce qui génèrera des coûts de personnels supplémentaires.

La structure des revenus

Nous disposons de 3 sources principales de revenus. La première concerne le marc de pommes cru, pour lequel nous pourrions, en tout cas dans un premier temps, être payés pour le récupérer auprès des fournisseurs. La seconde source est liée à la vente à un distributeur B2B exclusif, ce qui générera des commandes peu récurrentes mais en grandes quantités et surtout elles seront programmées à l'avance et échelonnées. La troisième source sera la vente via notre e-shop générant de nombreuses mais de petites commandes.

5.5. Enquêtes marketing et analyses

Nous avons réalisé 2 enquêtes distinctes. Premièrement, afin d'étudier et montrer le besoin auquel notre produit permettrait de répondre, nous avons commencé par une enquête **quantitative** auprès des consommateurs de crèmes glacées. Dans un deuxième temps, nous avons réalisé une enquête **qualitative** auprès de glaciers belges, dans le but de leur faire part du besoin actuel de proposer une alternative sans gluten aux cornets classiques ainsi que de connaître leurs critères et démarches d'achat de cornets pour crèmes glacées. Nous avons terminé cette deuxième partie par une enquête d'**estimation du prix psychologique** afin de pouvoir déterminer le prix de vente de notre produit.

5.5.1. Matériel et méthode

5.5.1.1. Enquête quantitative

Thème de l'enquête

Les habitudes en matière de consommation de crèmes glacées en Belgique.

Objectifs de l'enquête

Nous avons interrogé les consommateurs de crèmes glacées afin de mieux comprendre et connaître leur comportement par rapport à leur consommation de crèmes glacées. Nous voulons également savoir s'ils sont satisfaits par les contenants que leur proposent les

glaciers, qu'ils soient ou non intolérants au gluten. Les résultats de cette enquête quantitative ont servi de base à l'enquête qualitative destinée aux glaciers, afin de leur faire part des attentes de leurs clients.

Hypothèses de l'enquête

- La population des "adultes" (de 35 à 64 ans) et "jeunes adultes" (de 18 à 34 ans) sont plus sensibles à la problématique de l'intolérance au gluten et à la valorisation de sous-produits.
- Malgré le taux faible et sous-estimé de diagnostic de l'intolérance au gluten, une part importante de la population suit un régime sans gluten.

Calcul de la taille de la population et de l'échantillon

Notre population mère est toute personne en âge de consommer de la crème glacée. Il s'agit donc de tous les résidents de Belgique à partir de 5 ans. En janvier 2021 (*Statbel, 2021*), la population belge comptait 11.521.238 habitants. Après soustraction des enfants de 0 à 4 ans (297.021 filles et 309.917 garçons), nous savons que notre population mère est de 10.914.300 individus.

Puisque nous n'interrogerons qu'une partie de notre population mère, les réponses que nous obtiendrons seront légèrement faussées. C'est pourquoi, afin que notre échantillon soit représentatif de l'ensemble de la population, nous avons décidé d'accepter une marge d'erreur de 10% pour un niveau de confiance de 95%. La marge d'erreur est le pourcentage qui indique dans quelle mesure les résultats de notre enquête reflètent l'avis de l'ensemble de la population mère. Au plus la marge d'erreur sera petite, au plus la taille de l'échantillon sera grande. Le niveau de confiance est le degré de certitude de la marge d'erreur.

Nous avons évalué la taille de l'échantillon ainsi que le nombre d'invitations qui sera nécessaire de soumettre, en estimant le taux de réponses à 15% (*Calculateur de taille d'échantillon*, s. d.). La taille de l'échantillon requise est de **97**, nous devons donc envoyer **647** questionnaires.

Méthodologie

Nous avons suivi une méthode **probabiliste**, où tous les individus de notre population seront susceptibles d'être sélectionnés dans l'échantillon. Le questionnaire sera diffusé principalement via **Facebook** et via e-mail. Les réseaux sociaux ne nous permettant pas d'atteindre toute notre population et surreprésentant les populations plus "jeunes", nous avons également réalisé l'enquête selon la méthode "**a priori**", en nous positionnant devant les glaciers, ciblant directement les consommateurs de crèmes glacées de tout âge.

Questionnaire

Pour répondre à nos objectifs, nous avons élaboré le questionnaire suivant via la plateforme "**Alchemer**". Le questionnaire prend approximativement 3 minutes à remplir.

Nous avons utilisé un lien ainsi qu'un QR code permettant d'ouvrir et de répondre au questionnaire (remarque : il n'est maintenant plus disponible, l'enquête étant clôturée).



Etude sur les habitudes alimentaires des belges en matière de crèmes glacées

Habitudes alimentaires

1. A quelle fréquence consommez-vous des crèmes glacées ? *

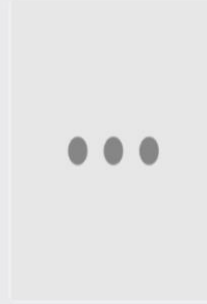
- ☐ 1 fois par semaine
- ☐ Plus d'une fois par semaine
- ☐ 1 fois par mois
- ☐ Plusieurs fois par an
- ☐ Jamais

2. Où consommez-vous/achetez-vous des crèmes glacées ? *

- ☐ Chez le glacier
 - ☐ Au supermarché
 - ☐ Comme dessert au restaurant
 - ☐ "Fait maison"
 - ☐ Autres
-

LOGIC Show/hide trigger exists.

3. Quelle photo décrit le mieux votre consommation de crèmes glacées ?*



LOGIC Hidden by default Hidden unless: #3 Question "Quelle photo décrit le mieux votre consommation de crèmes glacées ?" is one of the following answers ("Autres1.png")

Autres

LOGIC Show/hide trigger exists.

4. Avez-vous des allergies ou intolérances alimentaires, ou suivez-vous un régime particulier? *

- ☐ Non, pas de régime particulier
- ☐ Gluten
- ☐ Lactose
- ☐ Autres

LOGIC Show/hide trigger exists. Hidden unless: #4 Question "Avez-vous des allergies ou intolérances alimentaires, ou suivez-vous un régime particulier?" is one of the following answers ("Gluten", "Lactose", "Autres")

5. Les glaciers vous proposent-ils un contenant convenant à votre régime/intolérance? *

- ☐ Oui
- ☐ Non

LOGIC Hidden unless: #5 Question "Les glaciers vous proposent-ils un contenant convenant à votre régime/intolérance?" is one of the following answers ("Oui")

6. Lequel ? *

- ☐ Cornet
- ☐ Gaufrette
- ☐ Petit pot
- ☐ Autres

LOGIC Show/hide trigger exists. Hidden unless: (#5 Question "Les glaciers vous proposent-ils un contenant convenant à votre régime/intolérance?" is one of the following answers ("Oui", "Non") OR #4 Question "Avez-vous des allergies ou intolérances alimentaires, ou suivez-vous un régime particulier?" is one of the following answers ("Non, pas de régime particulier"))

7. Etes-vous sensible au gaspillage alimentaire *

Pas
sensible
du tout

Indifférent

Très
sensible

LOGIC Hidden unless: #7 Question "Etes-vous sensible au gaspillage alimentaire"

8. Cela vous plairait-il de consommer un cornet sans gluten, tout aussi croquant qu'un cornet classique et issu de la valorisation d'un sous-produit? *

- ☐ Oui c'est une excellente idée
- ☐ Oui pourquoi pas
- ☐ Indifférent
- ☐ Non cela ne m'intéresse pas
- ☐ Autres

Infos

Année de naissance *

Votre sexe *

Femme	☐
Homme	☐
Autres	☐

LOGIC Hidden by default Hidden unless: (Question "Année de naissance" is greater than "0" AND Question "Votre sexe" is one of the following answers ("Femme","Homme","Autres"))

Souhaitez-vous être tenu informé du développement de notre produit ?

N'hésitez pas à laisser votre adresse e-mail !

5.5.1.2. Enquête qualitative et d'estimation du prix psychologique

Enquête qualitative auprès des glaciers

Thème de l'enquête

Les habitudes d'achats des glaciers en matière de contenants pour crèmes glacées et problématique du sans gluten.

Objectifs de l'enquête

Les objectifs de l'enquête qualitative sont, d'une part, montrer que la demande d'une alternative sans gluten autre que le petit pot existe auprès des consommateurs de crèmes

glacées, et, d'autre part, connaître la démarche d'achat des glaciers vis-à-vis des contenants pour glaces qu'ils proposent ainsi que les caractéristiques nécessaires à cet achat.

Hypothèses de l'enquête

- A l'heure actuelle, peu de glaciers proposent une alternative sans gluten à leurs consommateurs (autre que le petit pot).
- Une alternative sans gluten est de plus en plus demandée.
- Le choix du cornet du point de vue du glacier se base avant tout sur le prix.
- Pratiquement aucun glacier ne fabrique ses propres cornets.

Clients potentiels et type d'étude

Afin de réaliser cette enquête, nous avons interviewé une dizaine de glaciers en Belgique. Nous avons réalisé des **entretiens individuels**, en face à face, à partir d'un guide d'entretien. Les interviews ont été menées de manière semi-directive.

Liste des questions

Voici les questions servant de fil conducteur lors des entretiens :

- Quel contenant proposez-vous pour la vente de glace à emporter ?
 - Petit pot
 - Cornet
 - Gaufrette
 - Autre : ...
- Proposez-vous plusieurs types de cornets ?
 - Si oui, lesquelles : ...
- Proposez-vous un contenant comestible pour les consommateurs intolérants au gluten ?
 - Si oui, lequel : ...
- Avez-vous une demande de contenants sans gluten de la part de vos clients ?
 - Jamais
 - Si oui, cela arrive-t-il fréquemment ?
 - Moins d'une fois par semaine
 - Une fois par semaine
 - Plus d'une fois par semaine
 - Tous les jours
- D'où proviennent vos cornets ?
 - « Fait maison »
 - Grossiste
 - Magasin spécialisé
 - Autre : ...
- Comment vous approvisionnez-vous en cornets ?

- Livraison
- Enlèvement
- Commande web
- Autre : ...
- Suite à notre étude quantitative auprès des consommateurs de crèmes glacées, nous avons identifié que x% de la population serait intéressée par notre produit. En sachant cela, seriez-vous intéressés par acheter notre produit afin de le proposer dans votre magasin ?
- Quelles sont les caractéristiques des cornets qui sont importantes à vos yeux ?
 - Croquant
 - Goût
 - Apparence
 - Prix
 - Conditionnement
 - Approvisionnement
 - DDM (date de durabilité minimale)
 - Autres : ...
- Lorsque vous achetez des cornets, pouvez-vous décrire :
 - Le nombre de cornets par lot acheté
 - Le type d'emballage des lots
 - Vos remarques par rapport aux cornets existants :
 - Unités par lot
 - Emballages
 - Cornets cassés lors de la livraison
 - DLC compliquée à respecter
 - Autre : ...
 - Quel est le mode de présentation de vos cornets ? Distributeurs... ?

Enquête d'estimation du prix psychologique

Objectifs

L'objectif de cette enquête est de déterminer le prix que les glaciers seraient prêts à payer pour acheter notre produit et le vendre auprès de leurs consommateurs. L'enquête d'estimation du prix psychologique est importante à réaliser car un prix jugé trop bas engendre une image de "mauvaise qualité" et un prix jugé trop élevé freine le client à acheter.

Méthode et questionnaire

Nous avons réalisé une enquête afin de déterminer le prix minimum et le prix maximum que les glaciers sont prêts à payer lors de l'achat de notre produit.

Cette enquête est réalisée auprès des glaciers, à la suite de l'enquête qualitative. Il s'agit donc d'une enquête qualitative dont les questions sont les suivantes :

- Selon vous, par rapport au prix d'un cornet « classique » (avec gluten), il est acceptable qu'un cornet sans gluten soit :
 - Plus cher
 - Équivalent
 - Moins cher
- Quel est le prix maximal que vous seriez prêts à payer pour l'achat de cornet convenant à tous ?
- Quel est le prix minimal que vous seriez prêts à payer pour l'achat de cornet convenant à tous ?

5.5.2. Analyses des résultats

5.5.2.1. Analyse des résultats de l'enquête quantitative

Afin que les résultats de l'enquête auprès des consommateurs de crèmes glacées soit représentatif de l'ensemble de la population, il nous fallait obtenir 97 questionnaires dûment complétés. Cet objectif a été pleinement rempli puisque nous en avons obtenus 317 complets. Au total, 338 personnes ont répondu. Cependant, comme 21 questionnaires n'ont été rempli que partiellement, nous avons décidé de les disqualifier. Notre enquête ayant rencontré un franc succès nous pouvons de ce fait réduire la marge d'erreur initialement estimée à 6% (pour un intervalle de confiance de 95%) à la place de 10% (toujours pour un intervalle de confiance de 95%).

Notre enquête représente toutes les catégories d'âge, allant de 1921 à 2006, comme nous pouvons l'observer sur la figure 26.

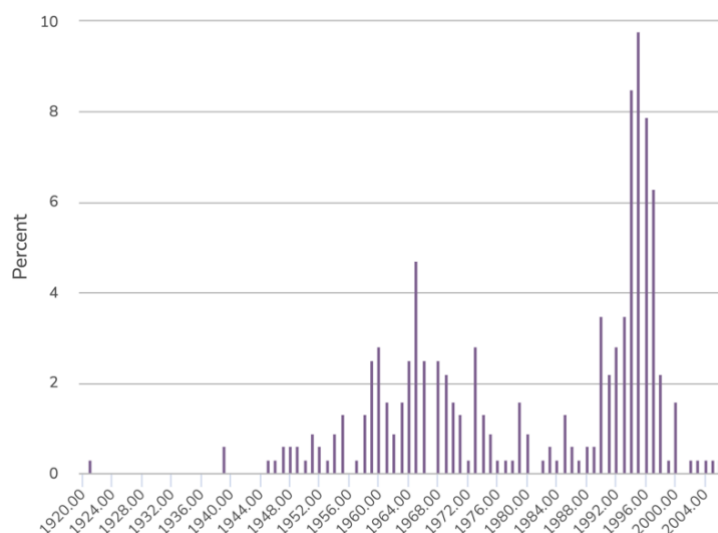


Figure 26 : Distribution des âges des répondants

Cependant, comme nous pouvons le voir sur la figure 27 qui compare la répartition des catégories d'âge entre les données de la population belge (Statbel) et les données des répondants, la répartition des différentes catégories d'âge n'est pas respectée.

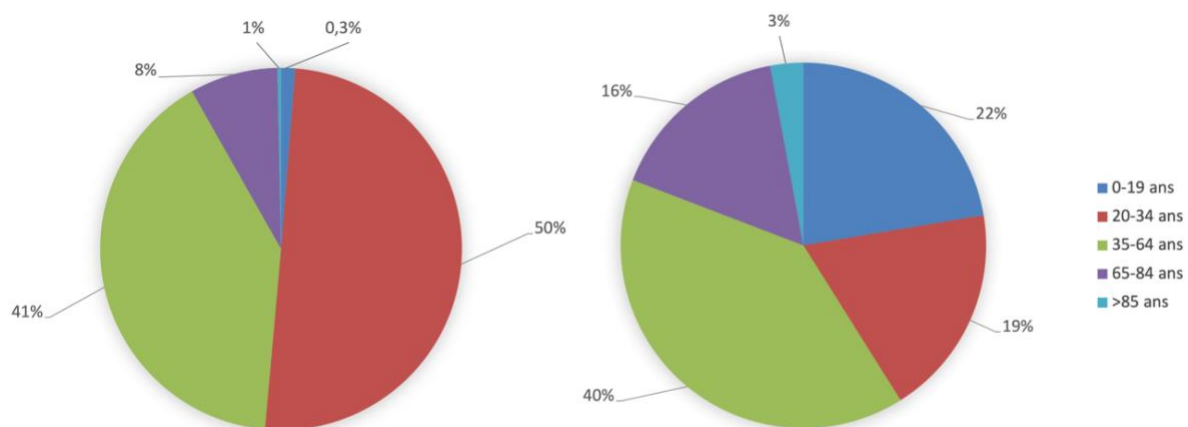


Figure 27 : Répartition des différentes catégories d'âge
Gauche : Catégories d'âge des répondants
Droite : Catégories d'âge de Belgique (Statbel)

Nous pouvons néanmoins préciser qu'en Belgique, selon les données démographiques de 2018, l'âge médian est de 41 ans et l'âge médian des répondants de notre questionnaire est de 32 ans. Nous pouvons donc conclure que nos 314 répondants touchent toutes les catégories d'âge tout en surreprésentant les populations « jeunes ».

Au niveau de la répartition des genres, elle n'est pas respectée : comme nous pouvons l'observer sur la figure 28, nous avons une majorité dominante de femmes ayant répondu au sondage (204 femmes contre 109 hommes) or, en Belgique la répartition est hommes – femmes est équilibrée (hommes : 49,2% versus femmes : 50,8%).

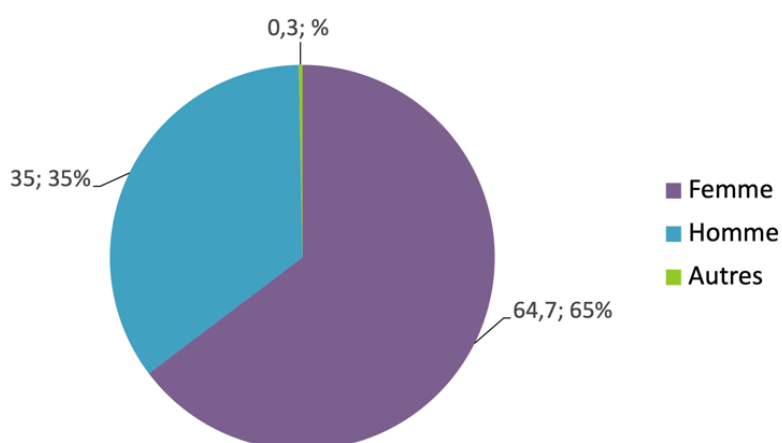


Figure 28 : Répartition des genres des répondants

Dans les paragraphes suivants, nous analyserons les préférences en matière de crèmes glacées, de manière globale et en fonction de l'âge. Nous observerons la proportion de consommateurs présentant une intolérance ou une allergie alimentaire, et parmi ceux-ci, s'ils sont satisfaits des solutions apportées, si celles-ci existent. Nous évaluerons également l'intérêt de la population face à la lutte contre le gaspillage alimentaire.

Comme nous pouvons l'observer sur la figure 29, la majorité des gens achète de la crème glacée chez le glacier (71,7% de la population). Cette observation va donc dans le sens de notre projet : la vente en B2B, aux glaciers, de notre produit.

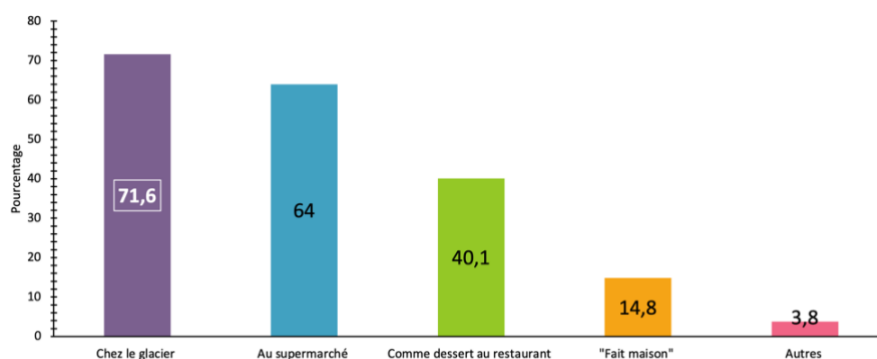


Figure 29 : Répartition des zones d'achat de glace

Nous pouvons observer sur la figure 30 que la consommation de crèmes glacées est importante au sein de la population belge, puisque 98% des gens en consomment. En effet, 60% des gens en consomment plusieurs fois par an et presque 39% en consomment au moins une fois par mois, ce qui nous conforte dans notre projet de vente de cornets pour crèmes glacées.

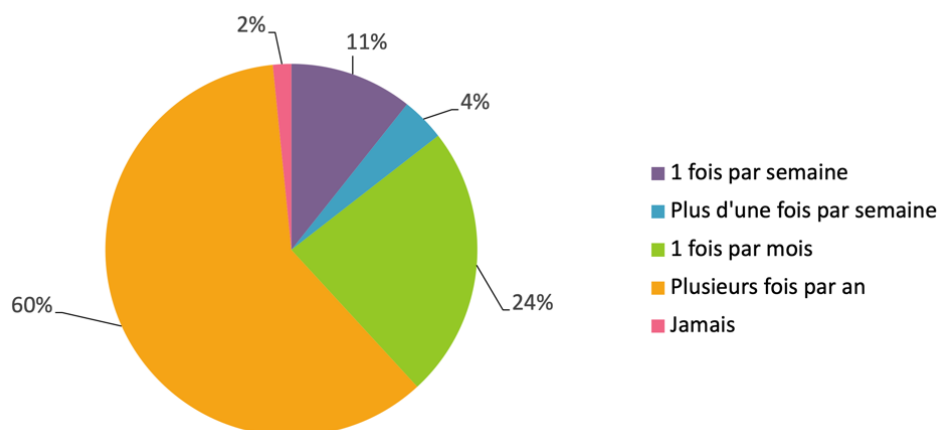


Figure 30 : Habitudes en matière de fréquence de consommation de crèmes glacées

A la question « Quelle photo décrit le mieux votre consommation de crèmes glacées ? », la majorité des gens ont répondu qu'ils préféraient les cornets (56%), une réponse donc très importante pour nous qui allons vendre des cornets. De plus, sachant que notre cornet peut sans aucune difficulté être décliné sous forme de gaufrettes, si nous additionnons les personnes préférant les cornets avec celles préférant les gaufrettes, nous touchons une grande majorité de la population (70%).

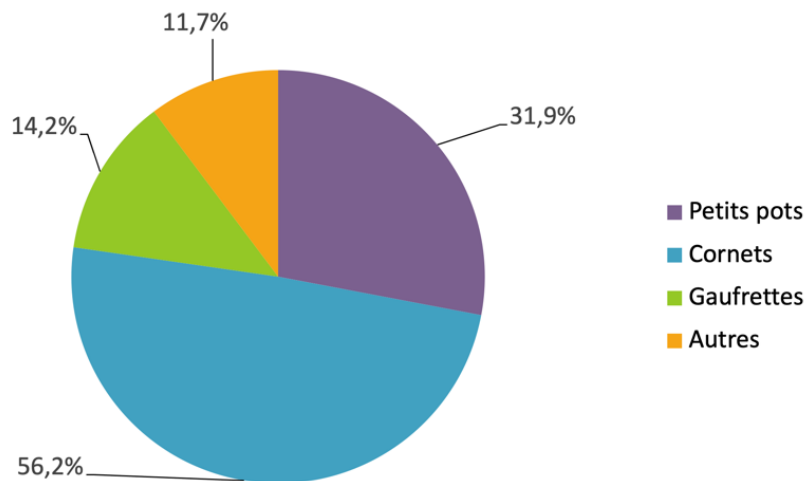


Figure 31 : Répartitions des préférences en matière de contenants

Remarque 1 : Les réponses pouvant être multiples, il est normal que la somme des pourcentages dépasse 100%.

Remarque 2 : Les réponses données lorsqu'une personne sélectionnait « Autres » était très souvent « une coupe/un bol »

Sur les 317 réponses obtenues, 37 personnes suivent un régime alimentaire particulier, soit 12% de la population. Sur les 317 personnes, 10 sont intolérantes au gluten, soit 3,2%. Selon la recherche de Gleize, 8% des français suivent un régime sans gluten, soit plus que ce que nous avons pu identifier dans les réponses de l'enquête. La répartition hommes – femmes suivant un régime sans gluten suit exactement les données trouvées dans la littérature (Gleize, 2020), à savoir 60% de femmes et 40% d'hommes.

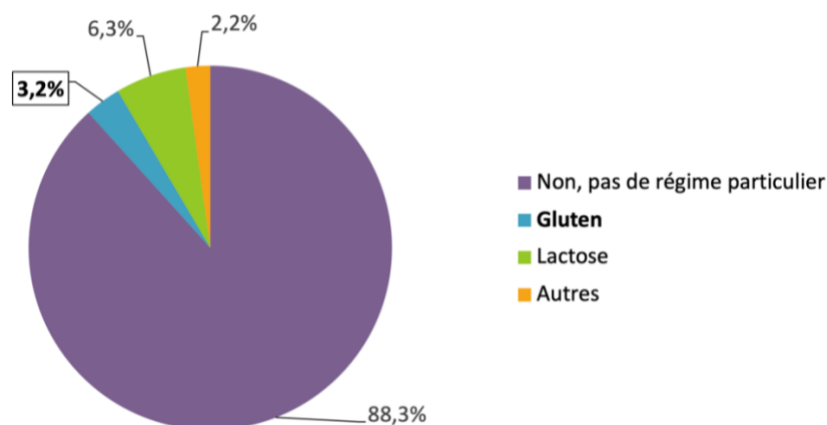


Figure 32 : Répartition des régimes alimentaires

Remarque : Des régimes telle que les fruits à coques et végétariens se retrouve dans « Autres »

Sur ces 10 personnes ne mangeant pas de gluten, seule 1 a répondu « oui » à la question « Les glaciers vous proposent-ils un contenant convenant à votre régime ? », et cette personne précise qu'il s'agit de cornets. Ceci nous prouve donc bien le manque encore actuel de trouver un cornet convenant à tous.

Nous observons également, sur la figure 32, que plus de 6% de la population suit un régime **sans lactose**. Notre produit n'en contenant pas, il pourra également toucher cette population spécifique. C'est suite à cette information que nous avons décidé de continuer à faire en sorte

que notre produit soit exempt de lactose, apportant donc sur le marché un produit innovant et convenant aux personnes suivant ces 2 types de régimes, correspondant à presque 10% de la population.

Par rapport à l'intérêt des consommateurs face à la question du gaspillage alimentaire, comme nous pouvons l'observer dans la figure 33, plus de 85% des gens se disent sensibles au gaspillage alimentaire, ce qui soutient notre projet de valoriser un sous-produit. Nous considérons qu'une personne est sensible au gaspillage alimentaire lorsqu'elle répond plus 71 sur 100 sur l'échelle de sensibilité.

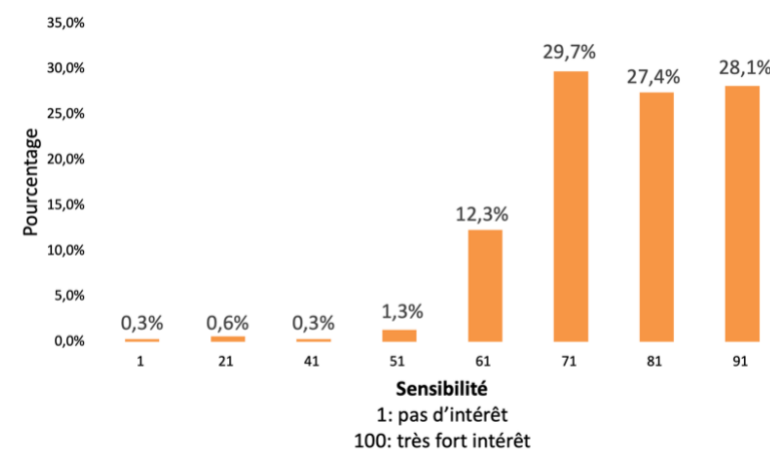


Figure 33 : Sensibilité des consommateurs au gaspillage alimentaire

L'hypothèse que nous avons formulée, à savoir que les populations des « adultes » et « jeunes adultes » sont les catégories d'âge les plus sensibles à la problématique du gaspillage alimentaire ne se reflète pas dans nos résultats. En effet, nous avons calculé les médianes d'âge des personnes « sensibles » au gaspillage alimentaire et les moyennes d'âge des personnes « non sensibles » au gaspillage alimentaire (<71/100 sur l'échelle) et les résultats ne coïncident pas avec l'hypothèse formulée :

- Médiane d'âge des personnes sensibles au gaspillage alimentaire : 1990
- Médiane d'âge des personnes non sensibles au gaspillage alimentaire : 1990

La figure 34 représente les médianes des sensibilités face au gaspillage alimentaire en fonction de la catégorie d'âge des répondants. Cette figure nous montre également que notre hypothèse face à l'intérêt pour le gaspillage alimentaire n'est pas correcte. En effet, nous voyons que les personnes les moins sensibles sont les enfants de 0 à 19 ans et que le reste de la population y est sensible.

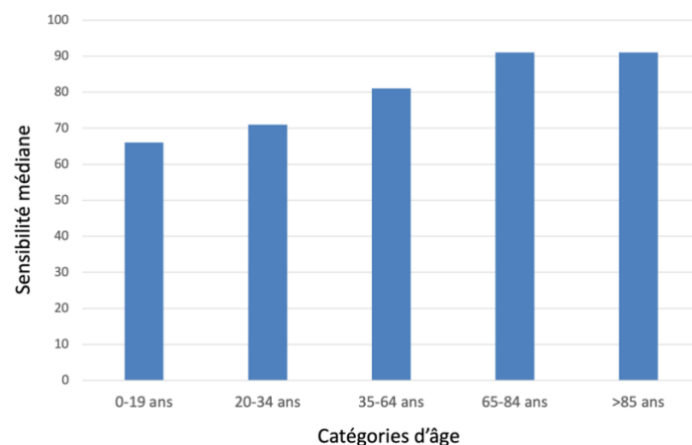


Figure 34 : Médianes des sensibilités au gaspillage alimentaire en fonction de la catégorie d'âge

La figure 35 coïncide avec la sensibilité face au gaspillage alimentaire et va donc dans le sens de notre projet : 75% des gens sont favorables à l'idée de consommer un cornet sans gluten, aussi croquant qu'un cornet classique et issu de la valorisation d'un sous-produit.

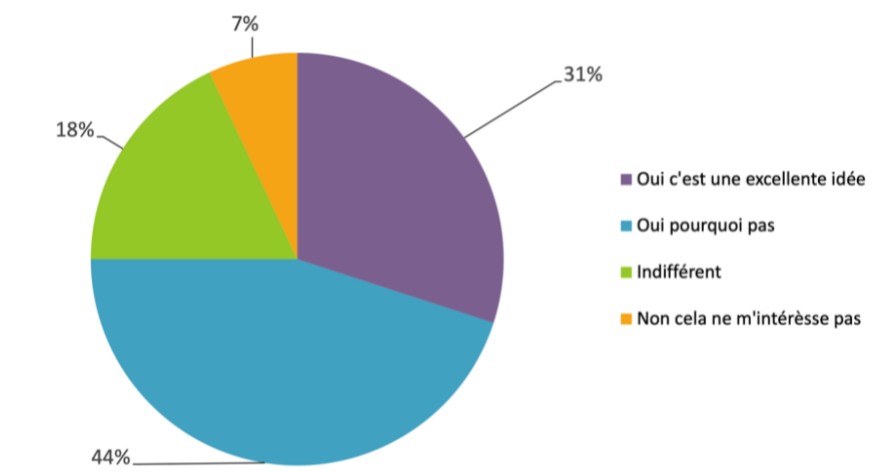


Figure 35 : Avis de la population pour l'idée générale

Nous avons donc, au travers de cette enquête, rempli les objectifs qui était de comprendre et connaître le comportement des consommateurs de crèmes glacées et savoir s'ils sont satisfaits par les contenants qui leur sont proposés. Voici le consommateur belge « type » : il en mange plusieurs fois par an, majoritairement **chez le glacier** où il préfère **le cornet** aux autres contenants. Le consommateur ne consommant pas de gluten n'est **pas satisfait** de ce qui lui est proposé, d'où la nécessité de lui proposer un contenant comestible sans gluten.

5.5.2.2. Analyse des résultats des enquêtes qualitative et d'estimation du prix psychologique

Nous avons mené une interview auprès de 10 glaciers belges situés en Wallonie et à Bruxelles. Ils ont tous répondu à notre demande de façon extrêmement positive. Ils étaient curieux et intéressés par notre démarche et projet.

Les différents glaciers proposaient tous les différents contenants « habituels », à savoir des petits pots (pour la plupart recyclables) et des cornets. La plupart des glaciers proposent également des gaufrettes car ces dernières connaissent un nouvel intérêt grandissant auprès des consommateurs ces dernières années, par effet de « nostalgie ». Notre cornet pourrait être sans la moindre difficulté être décliné en gaufrette, il suffirait de ne pas les rouler. Ce point fut une demande de trois des glaciers interrogés qui seraient intéressés par notre produit sous forme de gaufrette.

Les glaciers proposent souvent plusieurs types de cornets, qui ne diffèrent pas par leur composition mais par leurs dimensions, c'est-à-dire le nombre de boules qu'ils peuvent contenir. Certains glaciers proposent des cornets ayant une particularité, par exemple avec un bord en chocolat ou un cornet noir au charbon actif.

Plusieurs glaciers interrogés disposent d'Ecopoon, des cuillères comestibles. Les avis sont partagés quant à l'utilisation de ces cuillères qui se cassent facilement lors de leur utilisation. Voici une photographie d'un Ecopoon (*Couverts écologiques, durablement bons*, s. d.).



Seulement un glacier interrogé fabrique ses propres cornets (glacier qui est également une pâtisserie et boulangerie). Tous les autres glaciers achètent ses contenants. Le Vesuve, développé dans l'étude de la concurrence directe, qui propose des produits pour les glaciers artisanaux, est le distributeur de cornets de la plupart des glaciers que nous avons interrogé. Un glacier se fournit dans un magasin spécialisé et un autre chez Le Vesuve ainsi que chez Liobel.

Aucun des glaciers interrogés ne proposent de contenants comestibles exempts de gluten. Un glacier avait testé de proposer des cornets sans gluten, mais n'ayant fait aucune publicité ni même mis à la carte qu'ils en proposaient, ceux-ci n'ont pas fonctionnés, puisque le client devait le demander par lui-même. La plupart des glaciers disent avoir des demandes **plus d'une fois par semaine** de cornets sans gluten. Seulement un à dit ne pas avoir une telle demande. Ce point nous conforte dans notre démarche.

Les glaciers se procurent les cornets via un système de commandes – livraisons, soit directement chez le producteur soit via un grossiste tel que La Bruyère ou Metro. Le nombre de cornets par lots varie et peut aller de 100, 250 à 400 selon le modèle du cornet. Lors de nos entretiens, il est revenu plusieurs fois que s'ils venaient à commander des cornets sans gluten, les glaciers seraient intéressés par des plus petits lots, tel que 20 cornets.

Parmi les points importants pour les glaciers, la DDM (date de durabilité minimale) n'en n'est pas un. Ce point est expliqué par le débit de vente extrêmement importante et la parfaite gestion des commandes.

Un point important est celui du **conditionnement**, qui représente un problème délicat lors de cassures de cornets à la livraison. Si tel est le cas, ils sont renvoyés et remplacés. Le conditionnement souvent proposé est une superposition de cornets, chaque colonne disposés en quinconce avec une autre et séparée par un papier/carton, le tout mis dans une grande caisse en carton. Une critique des glaciers par rapport au conditionnement est l'excès de plastique.

La plupart des glaciers présentent leurs cornets dans des distributeurs.

Les points importants quant aux caractéristiques du produit sont : **le goût, la texture, la croustillance et l'apparence**. De plus, le cornet doit être solide et résister à la pose des boules.

Au niveau des prix, les glaciers nous ont expliqué que puisque le prix du cornet est intégré au prix de la glace, celui-ci n'est pas d'une grande importance et se répercutera sur le client. Seul un glacier a pu nous dire un prix maximal et un prix minimal :

- Prix maximal : 0,60 €
- Prix minimal : 0,15 €

En revanche, ils ont tous dit qu'ils seraient prêts à investir un prix plus élevé dans un produit sans gluten.

Les glaciers que nous avons rencontrés étaient particulièrement intéressés par notre produit qui s'intègre à leurs valeurs et objectifs : l'aspect local, la valorisation de sous-produits, la réduction du gaspillage alimentaire et proposer des nouveautés originales. Un des glaciers est par exemple entrain de formuler une glace en récupérant le moût de la brasserie Cantillon. De plus, nous avons fait goûter notre produit (en formulation, loin d'être le dernier), et ils étaient plus que satisfaits par le goût ! Nous y retournerons en fin d'année pour une dégustation de notre produit final.

5.6. Étude de la concurrence

Nous avons étudié l'univers concurrentiel de notre produit afin d'avoir une vue globale des produits existant sur le marché et de pouvoir s'en différencier. Cette étude nous permettra par la suite de déterminer différents points tels que la quantité (nombre d'unités par boîte) à proposer aux clients et à quel prix vendre notre produit. Ce dernier point sera évalué en tenant compte des résultats de l'enquête du prix psychologique.

Nous avons séparé l'étude de la concurrence en deux catégories : la concurrence directe, qui propose des produits similaires au nôtre, et la concurrence indirecte, qui propose des produits différents mais répondant à la même demande que notre produit.

5.6.1. Concurrence directe

La concurrence directe reprend les produits similaires disponibles sur le marché et répondant au même besoin que notre produit. Nous nous intéressons donc aux producteurs de cornets sans gluten. Il existe plusieurs cornets sans gluten, en voici quelques exemples :

Le Vesuve

Le Vesuve est une entreprise familiale artisanale belge qui existe depuis 1931 (*Le Vesuve*, s. d.). Cette entreprise propose différents produits pour les glaciers artisanaux, le secteur de l'HORECA ainsi que l'industrie de la crème glacée. Le Vesuve propose un assortiment de biscuits, cornets, galettes, gobelets, garnitures, accessoires et matières premières. Parmi leur gamme de cornets, ils proposent un type de cornets sans gluten : le Laura sans gluten. Ce cornet est emballé **individuellement**. L'achat de 120 cornets se fait au prix de 59,92€ (0,499€ / unité).

Céliane

Céliane est une marque française née en 2009. Céliane propose exclusivement des produits sans gluten. Leur gamme de produits est large : biscuits petits déjeuners, produits de boulangerie (par exemple du pain), produits d'épicerie sucrée (par exemple des muffin), produits d'épicerie salée (par exemple de la farine) ainsi que des produits vegan et des compléments alimentaires.

Céliane propose une sorte de cornets sans gluten, vendu par **boîte de 10 unités** au prix de 9,22 € (0,922€ / unité).



Miran Ice Cones

Miran Ice Cones est une entreprise polonaise née en 1928 à Lüdenscheid (Allemagne) (*Gluten-free wafers Archives*, s. d.). Miran Ice Cones propose une large gamme de cornets et de gaufrettes pour crèmes glacées. Parmi leur gamme, 14 sont des produits sans gluten.

L'entreprise livre ses produits à l'échelle mondiale. Leurs produits sont destinés d'une part au commerce de gros et d'autre part au commerce de détail. La plupart de leurs produits sans gluten (au nombre de 11) sont destinés au commerce en **gros**, en effet leur format de vente, c'est-à-dire le nombre de pièces contenues dans une boîte varie de **90 à 240**. Les 3 derniers produits sans gluten sont destinés directement au consommateur, ils sont vendus par lot de 6 à 12 pièces.

Exemple de produits MIRAN :

Wafer cones gluten-free – 6 unités : 3,95 € (0,65/unité)



Laura gluten-free - 120 unités : 55,62€ (0,464€ / unité)



PaneRiso

PaneRiso est une marque canadienne non retrouvée en Belgique (*PaneRiso, always gluten free*, s. d.). Cette marque propose différents produits (par exemple de la chapelure, des croûtons, des mix pour brownie). Tous leurs produits sont sans gluten, et certains sont également sans lactose ou sans œuf par exemple.

PaneRiso propose deux types de cornets sans gluten, tous les deux vendus par **12 unités** au prix de 3€ (0,25€ / unité). Ce sont donc des produits destinés directement au consommateur qui peut les trouver en magasin.



ICE CREAM CUPS

Look forward to summer ice cream with this seasonal favourite.

INGREDIENTS:

Potato starch, Tapioca starch, Palm oil, Evaporated cane juice, Potato fiber, Soy Lecithin, Cocoa powder, Xanthan gum, Salt, Baking soda.

May Contain: Soy



SUGAR CONES

Look forward to summer ice cream with this seasonal favourite.

INGREDIENTS:

Potato starch, Sugar, Tapioca starch, Palm oil, Potato fiber, Cocoa powder, Soy Lecithin, Salt, Xanthan gum, Natural vanilla extract.

May Contain: Soy



5.6.2. Concurrence indirecte

Dans le cas de notre produit, ce sont les petits pots pour crèmes glacées qui représentent la concurrence indirecte.

En effet, nous nous trouvons dans un **marché de niche** : il n'existe actuellement pas de produits alimentaires différents répondant au même besoin que notre cornet sans gluten. L'unique alternative alimentaire est le cornet classique, contenant du gluten, et par conséquent causant des problèmes de santé chez les personnes intolérantes qui sont dès lors obligées de se tourner vers une alternative non alimentaire : les petits pots.

Il existe plusieurs modèles de petits pots pour crème glacée, voici deux exemples :

- Les petits pots décor Gaudi vendus par Planet'Glace, vendeur de produits et accessoires du secteur de la crème glacée (*Planet Glace - fournisseur pour glaciers, s. d.*). Ils sont en carton recyclable, disponibles en différents volumes (60 ml, 80 ml, 120 ml, 160 ml) et sont vendus par lot comprenant 50 à 60 unités. Les prix varient en fonction de la contenance ; ceux de 80 ml sont au prix de 3,03 € (0,061 € / unité).
- Les pots à glaces "Parole", en carton blanc, vendus par lot de 2000 unités (40 Packs de 50 unités) au prix de 180,30 € (0,090 € / unité) (*Fournitures d'hôtellerie et restauration | Garcia de Pou, s. d.*).



5.6.3. Différenciation

Nous nous différencions donc des cornets existant sur le marché à travers différents points :

- Proposition d'un produit sans gluten, aussi bon qu'un cornet classique et convenant à **tous**.
- Vente d'un produit fini ayant la particularité d'avoir été réalisé grâce à la valorisation d'un sous-produit de l'industrie agro-alimentaire
- Production locale
- Proposition d'un produit s'insérant parfaitement dans les tendances actuelles : local, sans gluten, diminution des déchets
- Intégrer de la poudre de marc de pommes dans la préparation des cornets confère un goût spécifique facilement identifiable

5.7. Conclusion de l'étude de marché

Valoriser le marc de pommes pour des raisons nutritionnelles, organoleptiques, écologiques et économiques dans un secteur à la fois grandissant (marché du sans gluten) et sous-représenté (cornets pour crèmes glacées sans gluten), en proposant un produit de bon goût et de qualité, semble, à la suite de nos recherches et enquêtes auprès des personnes cibles, un **projet extrêmement prometteur**.

Il est vrai que notre produit présente de nombreuses **forces**, dont 3 d'une très grande importance. Premièrement, présenter un faible coût d'approvisionnement en matière première, puisqu'il s'agit actuellement d'un sous-produit. Ensuite, du fait de l'utilisation de poudre de marc de pommes, être sans gluten, correspondant à un marché qui ne cesse de grandir au vu du nombre croissant d'intolérances et allergies au gluten. Finalement, proposer au consommateur un goût innovant qu'il apprécie.

Par ailleurs, l'intégration de cette poudre de marc de pommes sous la forme d'un **cornet** se justifie par la sous-représentation actuelle de ce produit auprès des glaciers, nous permettant donc d'avoir une concurrence moindre voire inexistante et ainsi de s'attaquer à un marché de niche. Nous nous différencions également par le goût particulier apporté par le marc, qui rappelle celui de la pomme caramélisée. Nous proposons donc un cornet aussi bon et croquant qu'un cornet classique, avec un léger goût qui lui est propre, et convenant à tous.

Cependant, malgré un intérêt indéniable par nos cibles pour ce potentiel produit et la valeur ajoutée qu'il pourrait créer sur le marché, il nous restera à identifier les coûts qu'engendreraient notre production et de répondre à différentes questions structurantes telles que :

- Est-ce que notre matière première restera « gratuite » si le marché se rend compte du potentiel du marc de pommes ?
- Devrions-nous rassembler les sites de productions (presse – séchage – broyage – fabrication du produit) ou les scinder ?
- Quelle sera notre capacité de production ?
- A quoi doit s'élever notre production pour être rentable et atteindre le break-even ?

Nous devons garder à l'esprit à ces différentes questions afin d'assurer un plan marketing efficient, tout en continuant à développer notre produit et idée prometteuse.

PARTIE B : CAHIER DES CHARGES

Le cahier des charges vise à définir les caractéristiques de notre cornet. Nous y décrirons les critères de notre produit ainsi que les contraintes auxquelles il devra répondre dans le but de suivre les objectifs de départ ainsi que les attentes des consommateurs.

Nous établirons le cahier des charges en se basant sur la règle des 5 S, correspondant aux 5 composantes suivantes : l'aspect **Santé**, l'aspect **Sécurité**, l'aspect **Service**, l'aspect **Sociétal** et l'aspect **Satisfaction**.

CHAPITRE 1 : SANTE ET VALEURS NUTRITIONNELLES

1.1. Allégations de santé

Notre produit sera destiné à une population particulière de consommateurs : les personnes suivant un régime sans gluten. Il est donc nécessaire d'informer le consommateur quant au contenu en gluten du produit : le taux de gluten devra être **inférieur à 20 ppm**, tel que le définit le règlement (CE) No 41/2009 de la commission du 20 janvier 2009 relatif à la composition et à l'étiquetage des denrées alimentaires convenant aux personnes souffrant d'une intolérance au gluten (Journal officiel de l'Union Européenne, 2009). Ce point se retrouve dans le chapitre « santé » du cahier des charges, mais trouve également sa place dans le chapitre « sécurité » puisqu'en effet il est primordial pour une personne allergique d'être informée sur le contenu en gluten du produit consommé.

1.2. Allergènes

Il existe 14 allergènes repris dans la législation européenne. Ces allergènes, étant un point d'une très haute importance pour le consommateur et sa santé, il est, selon le règlement (UE) n°1169/2011 du Parlement Européen et du Conseil du 25 décembre 2011, obligatoire de mentionner la présence d'un ou plusieurs d'entre eux dans la liste des ingrédients. Ils devront également être mis en évidence pour permettre aux consommateurs de clairement les distinguer.

La liste ci-dessous reprend les 14 allergènes : (Journal officiel de l'Union Européenne, 2011)

1. Céréales contenant du gluten à savoir blé, seigle, orge, avoine, épeautre, kamut ou leurs souches hybridées, et produits à base de ces céréales sauf certaines exceptions
2. Crustacés et produits à base de crustacés
3. Œufs et produits à base d'œufs
4. Poissons et produits à base de poissons sauf certaines exceptions
5. Arachides et produits à base d'arachides
6. Soja et produits à base de soja sauf certaines exceptions
7. Lait et produits à base de lait (y compris le lactose) sauf certaines exceptions
8. Fruits à coque à savoir : amandes (*Amygdalus communis* L.), noisettes (*Corylus avellana*), noix (*Juglans regia*), noix de cajou (*Anacardium occidentale*), noix de pécan (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch), noix du Brésil (*Bertholletia excelsa*), pistaches (*Pistacia vera*), noix de Macadamia ou du Queensland (*Macadamia ternifolia*), et produits à base de ces fruits, à l'exception des fruits à coque utilisés pour la fabrication de distillats alcooliques, y compris d'alcool éthylique d'origine agricole
9. Céleri et produits à base de céleri
10. Moutarde et produits à base de moutarde
11. Graines de sésame et produits à base de graines de sésame
12. Anhydride sulfureux et sulfites en concentrations de plus de 10mg/kg ou 10 mg/litre en termes de SO₂ total pour les produits proposés prêts à consommer ou reconstitués conformément aux instructions du fabricant

13. Lupin et produits à base de lupin

14. Mollusques et produits à base de mollusques

Dans le cas de notre produit, celui-ci devra respecter la condition suivante : avoir un taux de gluten inférieur à 20 ppm. Nous informerons le consommateur de la présence d'allergènes utilisés si tel est le cas lors de notre formulation. Il faudra également faire attention à ne pas utiliser des machines qui ont pu être en contact avec un autre allergène au préalable. Si c'est le cas, l'étiquette devra porter la mention « peut contenir des traces de... ».

1.3. Valeurs nutritionnelles

Dans le tableau 14, nous retrouvons les valeurs nutritionnelles de 3 cornets sans gluten présents sur le marché. Les valeurs nutritionnelles de notre produit devront être semblables à celles-ci.

	Le Vésuve (avec gluten)	Miran (sans gluten)
	/100g	/100g
Énergie (kJ)	1700	1700
Énergie (kcal)	401	406
Matières grasses (g)	3,8	4,1
Acides gras saturés (g)	1,9	2,2
Glucides	84	84
Sucres (g)	29	30
Fibres alimentaires (g)	Pas d'information	2,8
Protéines (g)	7,5	5,9
Sel (g)	0,4	0,39

Tableau 14 : Valeurs nutritionnelles de deux types de cornets sans gluten

La quantité de poudre de marc de pommes ajoutée dans les produits étudiés varient en fonction du type de produit et de l'absence ou non de gluten. Le tableau 15 reprend différentes études réalisées sur le marc de pommes et sa poudre, reprenant plusieurs pourcentages de substitution de farines. Dans certaines études, le pourcentage optimal de substitution a été déterminé par rapport aux caractéristiques organoleptiques du produit fini.

Produits alimentaires	% de substitution	% optimal
Produits avec gluten		
Gâteau (Zlatanović et al., 2019b)	75	50
Gâteau (Usman et al., 2020)	25	10
Biscuit (Liang et al., 2020)	>10	10
Gâteau (Rocha Parra et al., 2019)	30	15
Produits sans gluten		
Pain (Gumul et al., 2021)	15	5
Crackers à base de riz brun (Mir et al., 2017)	9	/
Gâteau (ajout d'amidon et de gomme xanthane) (Azari et al., 2020)	100	/

Tableau 15 : Pourcentage de substitution de farine par de la poudre de marc de pommes dans différents produits

A l'aide de ces différentes valeurs, nous nous fixons comme objectif d'atteindre **20% de poudre de marc de pommes** en masse dans le produit fini. Cet objectif pourra être revu à la baisse ou à la hausse en fonction des résultats obtenus ou en cas de dégradation des caractéristiques organoleptiques du produit. Le but étant de trouver le pourcentage optimisant au mieux la saveur du produit.

Nous ne visons pas de teneurs particulières quant à la composition de notre produit. Cependant, nous désirons que notre produit soit **“riche” en fibres**, c'est pourquoi nous visons des teneurs en fibres plus élevées que celles trouvées dans les cornets traditionnels sans gluten.

CHAPITRE 2 : SECURITE : LE PLAN HACCP

Le plan HACCP (**H**azard **A**nalysis and **C**ritical **C**ontrol **P**oint) est le système d'analyse des risques et de maîtrise des points critiques. Nous utiliserons le guide d'autocontrôle G-022 relatif au secteur de l'industrie du biscuit, du chocolat, de la praline, de la confiserie et des céréales pour le petit déjeuner, produits de boulangerie et de pâtisserie (Choprabisco, 2019).

Le plan HACCP a pour objectif de prévoir les dangers biologiques, chimiques et physiques qui pourraient passer au travers des plans de prérequis programmés (**PrP**) durant la ligne de production de la poudre de marc de pommes et des cornets, et présenter un danger pour le consommateur.

En fonction du danger à maîtriser nous déciderons d'adopter des points de contrôles critiques (**CCP**) ou des prérequis programmés opérationnels (**PrPO**).

2.1. Les dangers biologiques

Germes totaux aérobies

Les germes totaux aérobies reprennent l'ensemble des germes capables de se développer à une température de 30°C, en présence d'air et sur un milieu nutritif. Leur concentration est amoindrie lorsque les bonnes pratiques d'hygiène (BPH) et les bonnes pratiques de fabrication (BPF) sont respectées (Abdelmassih et al., 2018).

Levures et moisissures

Les levures et moisissures sont capables de se développer dans des conditions moins favorables, comme à de basses températures ou à de faibles valeurs de pH. Certaines levures et moisissures sont capables de produire des mycotoxines qui peuvent être résistantes aux traitements thermiques ce qui peut poser souci s'il y a une trop grande prolifération avant les étapes de séchage ou de cuisson (Abdelmassih et al., 2018).

Escherichia coli

Escherichia coli fait partie des enterobacteriaceae. Son réservoir est le tube digestif des hommes et des animaux. Elle provoque des diarrhées sanglantes, des douleurs abdominales et peut conduire au syndrome hémolytique et urémique pouvant mener à des séquelles chroniques voir au décès. Sa présence en trop grande concentration est le signe d'une mauvaise hygiène du personnel ou d'une contamination croisée (Abdelmassih et al., 2018; Daube, G., 2021).

Shigella

Shigella est une enterobacteriaceae ayant comme réservoir le tube digestif de l'homme. Son mode de transmission est féco-oral, elle pourra donc se transmettre en cas de mauvaise hygiène du personnel. Cette bactérie provoque de la diarrhée et des vomissements (Daube, G., 2021).

Staphylococcus aureus

Il s'agit d'une bactérie qui a comme réservoir la peau et les muqueuses de l'homme. Elle sécrète des entérotoxines pouvant mener à des diarrhées aqueuses, des vomissements et des douleurs abdominales. Cette bactérie est donc également le signe d'un manque d'hygiène de la part du personnel du fait de sa présence sur les mains et dans les fosses nasales (Abdelmassih et al., 2018; Daube, G., 2021).

Bacillus cereus

Bacillus cereus est une bactérie ayant comme réservoir l'environnement, où on retrouve une grande quantité de spores pouvant contaminer les denrées alimentaires. Elle est capable de résister à la cuisson et à la pasteurisation. Bacillus cereus produit des toxines pouvant causer une atteinte émetique ou diarrhéique en fonction de la souche (Daube, G., 2021).

Listeria monocytogenes

Listeria monocytogenes est une bactérie ayant l'environnement (extérieur ou intérieur) comme réservoir. Elle est très dangereuse chez les sujets fragiles (YOPI, signifiant Young Old Pregnant Immunocompromised) et peut provoquer des fausses couches chez les femmes enceintes, des septicémies chez les enfants ou des méningites chez les personnes âgées ou immunodéprimées. Elle a la particularité de pouvoir se développer jusqu'à des températures de 4°C, sa croissance n'est donc pas inhibée par la réfrigération (Daube, G., 2021).

Salmonella spp.

Salmonella est une enterobacteriaceae ayant comme réservoir le tube digestif de l'homme et des animaux. Elle cause la salmonellose qui provoque des diarrhées sévères, des nausées et des vomissements. Salmonella touche fortement la filière des ovoproduits, et plus faiblement celle des viandes et des fruits et légumes (Daube, G., 2021).

Nous retrouvons dans le tableau 16, les dangers biologiques concernant notre produit.

Danger	Seuil	Source
Germes totaux aérobies	10 ⁵ CFU/g	Environnement, matières premières, manipulation
Levures et moisissures	10 ² CFU/g	Environnement, matières premières,
Escherichia coli	10 ² CFU/g	Matières premières,, manipulation
Shigella	10 CFU/g	Manipulation
Staphylococcus aureus	10 CFU/g	Matières premières, manipulation
Bacillus cereus	10 ² CFU/g	Environnement
Listeria monocytogenes	Absence dans 25g	Environnement, matières premières,
Salmonella spp.	Absence dans 25g	Matières premières, manipulations

Tableau 16 : Dangers biologiques (Commission Européenne, 2005; Daube, G., 2021)

2.2. Les dangers chimiques

Les mycotoxines

L'EFSA définit les mycotoxines comme : *“des composés toxiques naturellement produits par différents types de champignons. Les mycotoxines s'introduisent dans la chaîne alimentaire à la suite d'une infection des cultures avant ou après la récolte et elles sont généralement présentes dans des aliments tels que les céréales, les fruits secs, les noix ou encore les épices.*

La présence de mycotoxines dans l'alimentation humaine ou animale peut avoir des effets nocifs sur la santé de l'homme ou de l'animal, qui peuvent aller de troubles gastro-intestinaux et rénaux à un déficit immunitaire ou un cancer.” (EFSA, 2020).

Dans notre diagramme de fabrication, si nous en retrouvons ce sera au niveau des farines de riz, de maïs ou de sarrasin que nous utiliserons.

Danger	Seuil	Source
Aflatoxine : B1/Autres	2 µg/kg / 4 µg/kg	Matières premières
Ochratoxine A: 3 µg/kg	3 µg/kg	
Zéaralénone: 50 µg/kg	50 µg/kg	
Déoxynivalénol: 500 µg/kg	500 µg/kg	
Fumonisine: 1 400 µg/kg	1 400 µg/kg	
T2 et HT2: 25 µg/kg	25 µg/kg	

Tableau 17 : Dangers chimiques : les mycotoxines (Commission Européenne, 2006)

La patuline

La patuline devrait se retrouver avec les autres mycotoxines mais au vu de l'importance qu'elle a dans la filière des pommes, nous avons décidé de la considérer à part. La patuline est une mycotoxine produite par plusieurs espèces de moisissures. La patuline est dangereuse pour la santé humaine et animale. Une fois produite, elle est compliquée à éliminer car elle résiste à la pasteurisation et aux traitements thermiques.

En fonction des moisissures, la patuline peut se retrouver sur différentes denrées telles que les fruits ou les céréales.

L'espèce la plus importante d'un point de vue sanitaire et économique est *Penicillium expansum* car celle-ci peut contaminer les pommes et les poires et produire de la patuline en grande quantité (AFSSA, 2009 ; ANSES, 2011).

Au niveau de notre diagramme de fabrication, elle pourra être retrouvée au niveau du marc.

Danger	Seuil	Source
Patuline	25 µg/kg	Matières premières

Tableau 18 : Dangers chimiques : la patuline (Commission Européenne, 2006)

Les métaux lourds

Les métaux lourds sont des éléments métalliques ayant un poids atomique élevé. Ils sont retrouvés dans l'environnement au niveau de l'eau, du sol ou de l'air et présentent une toxicité élevée même à faibles concentrations. Chez l'humain, l'alimentation reste la voie principale de contamination (AFSCA, 2019).

Le **plomb** provoque des troubles neurologiques chez les enfants et des troubles cardio-vasculaires chez les adultes. Le **cadmium** est responsable de troubles rénaux (AFSCA, 2019).

Danger	Seuil	Source
Plomb	0,2 µg/kg	Eau, matières premières
Cadmium	0,1 µg/kg	

Tableau 19 : Dangers chimiques : les métaux lourds (Commission Européenne, 2006)

Les contaminants environnementaux

Les dioxines et ses produits dérivés sont issus de divers processus domestiques et industriels. Ils peuvent être retrouvés dans l'air, l'eau et les matières premières qui ont été contaminées (Kestemont, P., 2020).

Les teneurs que nous retrouvons dans le tableau 20 sont valables pour les graisses animales et les ovoproduits, si nous devons en utiliser. Si nous utilisons une matière végétale, il faudra revoir ces valeurs à la baisse car les normes sont différentes.

Danger	Seuil	Source
Somme des dioxines (OMS-PCDD/F-TEQ)	2,5 pg/g de graisse	Eau, air, matières premières
Somme des dioxines et PCB de type dioxine (OMS-PCDD/F-PCBTEQ)	4 pg/g de graisse	
Somme des PCB28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153 ET PCB180 (ICES — 6)	40 pg/g de graisse	

Tableau 20 : Dangers chimiques : les contaminants environnementaux (Commission Européenne, 2011b, 2013a)

Les molécules liées à la cuisson

Les molécules pouvant apparaître durant la cuisson sont l'acrylamide et les hydrocarbures aromatiques polycycliques. **L'acrylamide** est formé durant la cuisson à hautes températures dans un milieu sec par le biais de la réaction de Maillard. L'acrylamide est probablement neurotoxique et cancérigène pour l'homme. (G-022). **Les HAP** (hydrocarbures aromatiques polycycliques) peuvent apparaître durant la cuisson dans un four mal entretenu ou mal nettoyé. Il a des effets cancérigènes et provoque des troubles hormonaux et immunitaires.

Nous retrouvons dans le tableau 21, les **molécules** pouvant être produites durant la cuisson.

Danger	Seuil	Source
Acrylamide	100 µg/kg	Cuisson
HAP : Benzo(a)pyrène	2 µg/kg	Matières premières, air
HAP : Somme de benzo(a)pyrène, benz(a)anthracène, benzo(b)fluoranthène et chrysène	10 µg/kg	

Tableau 21 : Dangers chimiques : les molécules liées à la cuisson (Commission Européenne, 2011a, 2013b)

2.3. Les dangers physiques

Le règlement CE n°852/2004 et le guide d'autocontrôle pour le secteur de l'industrie du biscuit, du chocolat, de la praline, de la confiserie et des céréales pour le petit déjeuner donnent des dangers à éviter. Notre cornet doit être exempt de corps étrangers (Commission Européenne, 2004; CHOPRABISCO, 2019).

Les corps étrangers peuvent venir de 2 types de sources. La première est liée aux **matières premières** utilisées, par exemple des coquilles d'œufs. La seconde n'est pas liée aux matières premières : les corps étrangers peuvent provenir des **effets personnels** des employés (mégots, bijoux, bic...), des machines (boulons, débris de métal...) ou du **matériel d'entretien**.

Les dangers concernant les effets personnels des employés devraient en principe être évités grâce aux Bonnes Pratiques d'Hygiène et aux Bonnes Pratiques de Fabrication.

En ce qui concerne les contaminations via les machines, il est difficile de prévoir un débris qui pourrait se détacher à un moment aléatoire d'une machine et qui aboutirait dans le produit fini via la chaîne de production.

2.4. Les CCP et PrPo identifiés

Il existe différents risques, repris dans le tableau 22.

		Sévérité				
		1 - Très faible	2 - Faible	3 - Moyen	4 - Fort	5 - Très fort
Fréquence	1 - Très faible	1	2	3	4	5
	2 - Faible	2	4	6	8	10
	3 - Moyenne	3	6	9	12	15
	4 - Forte	4	8	12	16	20
	5 - Très forte	5	10	15	20	25

Tableau 22 : risque d'un danger en fonction de sa fréquence et de sa sévérité (Delcenserie, V., 2021)

Les différents niveaux de risques sont définis comme suit :

	Acceptable
	Risque mineur
	Risque majeur

Un **risque acceptable** est lorsque la sévérité du danger est faible et que sa fréquence est également relativement faible. Il ne présente alors aucun risque majeur pour le consommateur.

Un **risque mineur** est lorsque la sévérité est faible, ou lorsque la sévérité est plus élevée mais modérée par une fréquence faible.

Un **risque majeur** est lorsque la sévérité est forte et que l'on ne peut pas se permettre de prendre ce risque même si la fréquence est faible.

La figure 36 illustre la liste des questions auxquelles il est nécessaire de répondre lorsqu'il y a un risque mineur ou un risque majeur. Ces questions mèneront à la décision de prendre un PrPO ou un CCP.

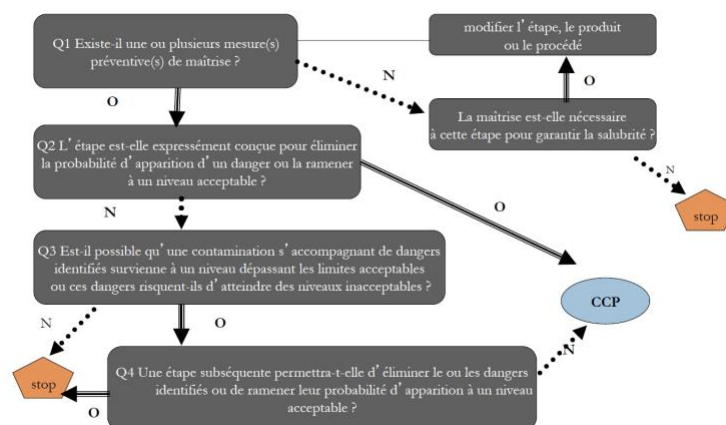


Figure 36 : Questions relatives à la détermination des risques (Delcenserie, V., 2021)

Suite à l'analyse des dangers, nous avons identifié 3 CCP ainsi que 3 PrPO. Le tableau 23 reprend le document relatif à ces points.

CCP/PRPo n°	Danger	Mesures de maîtrise	Paramètre à surveiller	Seuil critique	Méthode	Mode opératoire	Fréquence	Lieu	Responsable d'exécution	Responsable de décision	Enregistrement	Ecart	Maîtrise du produit non conforme
CCP1: contrôle des températures de stockage	Contamination du produit en microorganismes	Contrôle de température de stockage des matières premières à froid positif	Température de stockage (Réglementation AFSCA)	4°C	Thermomètres	En continu - Analyse des matières premières	En continu	Ligne de production	Responsable logistique	Responsable sécurité alimentaire en charge de la sécurité alimentaire	En continu	Supérieur au seuil critique	Mise à l'écart des matières premières concernées
CCP2: contrôle des températures et temps de cuisson et de séchage	Contamination du produit en acrylamide	Contrôle de la température et du temps du séchage de marc de pomme et de cuisson des cornets	Température de cuisson (Réglementation AFSCA)	70°C	Thermomètres	En continu - Analyse des matières premières	En continu	Ligne de production	Responsable qualité	Responsable sécurité alimentaire en charge de la sécurité alimentaire	En continu	Supérieur au seuil critique	Mise à l'écart des produits concernés
CCP3: Détecteur de métaux pour les corps étrangers métalliques	Présence dans le produit de morceaux de métal	Surveillance des corps étrangers métalliques	Présence de métaux (Réglementation européenne)	Aucune tolérance	Détecteur de métaux	En continu - Analyse de produits finis	En continu	Ligne de production	Responsable qualité	Responsable sécurité alimentaire en charge de la sécurité alimentaire	En continu	Présence de métaux	Mise à l'écart des produits concernés
PRP01: Surveillance des métaux Pb, Cd	Contamination du produit en métaux lourds	Surveillance des métaux	Concentration en métaux lourds (Réglementation européenne)	Pb: 0.2 µg/kg Cd: 0.1 µg/kg	Analyse	Plusieurs prélèvements sur le lieu de fabrication	2x/an	Laboratoire d'analyses agréé	Responsable qualité	Responsable sécurité alimentaire en charge de la sécurité alimentaire	Test de présence	Supérieur au seuil critique	Rappel de tous les produits des lots concernés
PRP02: Surveillance de l'allergène Gluten	Contamination du produit par un allergène	Surveillance de la concentration en gluten	Concentration en gluten (Réglementation européenne)	Gluten: 20 ppm	Analyse	Analyse de produits finis	1x/jour	Laboratoire d'analyses agréé	Responsable qualité	Responsable sécurité alimentaire en charge de la sécurité alimentaire	Test de présence	Supérieur au seuil critique	Destruction/Rappel + destruction de tous les produits du même lot
PRP03: Surveillance de la patuline	Contamination du produit par une mycotoxine	Surveillance de la concentration en patuline	Concentration en patuline (Réglementation européenne)	Patuline : 25 µg/kg	Analyse	Analyse du marc de pomme	2x/mois	Laboratoire d'analyses agréé	Responsable qualité	Responsable sécurité alimentaire en charge de la sécurité alimentaire	Test de présence	Supérieur au seuil critique	Destruction du marc de pomme et des lots concernés

Tableau 23 : Liste des CCP et PRPo de la production de cornets sans gluten

Le **CCP 1** se réfère aux dangers microbiologiques qui pourraient survenir en cas de stockage des matières premières à des températures trop élevées. Il a pour objectif d'éviter la prolifération de micro-organismes hautement pathogènes pour l'humain qui sont : *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Listeria monocytogenes*. Il sera nécessaire d'avoir une surveillance continue de la température du local de stockage afin de s'assurer une conservation optimale de la matière première.

Le **CCP 2** se réfère à un danger chimique, l'acrylamide, qui survient lors de cuisson à des températures trop élevées ou durant des temps trop longs. Dans la même idée que le CCP1, il faudra assurer une surveillance continue des températures et des temps de cuisson et de séchage afin d'être sûr que notre produit ne subira pas de traitement thermique trop important.

Le **CCP 3** se réfère à un danger physique : le métal. Les sources de métal sont diverses dans une entreprise, aussi bien au niveau des effets personnels des employés que d'une machine usée. En cas de débris, il peut être tranchant et provoquer des lésions chez les consommateurs. Il y a également un risque d'étouffement en cas de corps métalliques trop volumineux. Afin de contrôler ce risque, un détecteur de métal sera placé à la sortie de la chaîne de production pour s'assurer que le cornet est exempt de tout corps métallique.

Le **PrPO 1** se réfère à un danger chimique qui peut contaminer les matières premières et qui est véhiculé par l'eau : les métaux lourds. Nous pourrions réaliser 2 analyses par an car l'eau de distribution est la source principale de ce danger, et elle est déjà testée par la société des eaux où l'on peut retrouver les analyses réalisées.

Le **PrPO 2** se réfère à la présence d'un allergène : le gluten. Il ne présente pas de danger pour une personne pouvant le digérer mais étant donné que nous voulons avoir le label "Gluten-free" sur notre produit, il faudra s'assurer que l'on soit en deçà des doses légales (moins de 20 ppm) et que notre produit ne présente aucun danger pour les personnes souffrant d'une maladie liée au gluten.

Le **PrPO 3** se réfère à la présence d'une mycotoxine : la patuline. L'intoxication à la patuline peut mener à des conséquences à long terme sur la santé humaine. Le marc de pomme reçu devrait avoir une concentration en patuline inférieure à la législation européenne car il provient d'une fabrication de jus de pomme. Néanmoins des contrôles mensuels seront effectués sur les lots de marc de pomme reçus afin de s'en assurer.

CHAPITRE 3 : SERVICE ET SOCIÉTÉ

3.1. Utilisation

Le nombre de cornets contenu dans chaque emballage sera décidé en fonction des concurrents (voir partie A – 5.6) ainsi que de l'enquête marketing réalisée auprès des glaciers. En effet, ces derniers nous ont fait part de leur besoin en matière de contenant et nous ont également parlé des problèmes qu'ils rencontrent parfois avoir les contenants existants, par exemple des cornets qui arriveraient abîmés à la livraison.

Notre produit sera prêt-à-l'emploi, il n'y aura pas de manipulation nécessaire avant son utilisation.

Les lots de cornets devront être stockés à l'abri de la lumière, dans un endroit frais et sec. En cas de "reste" après ouverture, les cornets devront être placés dans un emballage hermétique et être consommés dans un laps de temps que nous déterminerons lors des analyses.

3.2. Cahier des charges de l'emballage

Le cahier des charges fonctionnel de l'emballage reprend l'ensemble des fonctions, non techniques, auxquelles doit répondre l'emballage. Les fonctions de l'emballage concernent différents points tels que la protection du produit, l'aspect marketing et design, l'aspect service et utilisation, la distribution, la logistique, le conditionnement, les réglementations et l'écologie. Ce dernier point est crucial et sera basé sur la règle des "10 R" enseignée par le Professeur Pascal Léonard (Léonard, P. ; 2018).

Voici les composantes de la règle des "10 R" :

1. **Réfléchir aux impacts environnementaux et au gaspillage**
2. **Retirer l'inutile quand c'est possible**
3. **Réduire et maximiser le contenu (I^{aire}, II^{aire} et III^{aire})**
4. **Réutiliser les emballages ménagers et industriels**
5. **Recycler les matériaux et/ou utiliser des matériaux recyclés**
6. **Récupérer l'énergie potentielle et valoriser la fin de vie**
7. **Reconsidérer les matériaux et/ou les énergies renouvelables**
8. **Réétudier le packaging pour optimiser l'utilisation**
9. **Relativiser les impacts directs sur l'ACV selon le choix**
10. **Rendre confiance en informant l'utilisateur**

Nous allons, lors de notre réflexion, nous appuyer spécifiquement sur les R surlignés en gras.

3.2.1. Fonctions primaires de l'emballage primaire

Les fonctions primaires de l'emballage sont les suivantes, présentées par ordre décroissant de leur importance :

- Contenir 5 unités de cornets par colonne
- Préserver une activité de l'eau à des valeurs favorables à sa conservation
- Assurer la date de durabilité minimale
- Résister aux contraintes de gerbage et de transport (chocs et compressions)
- Conserver les qualités organoleptiques du produit
- Avoir une bonne préhension : faciliter la prise en main des cornets
- Respecter les normes légales liées aux emballages et à l'étiquetage
- Être éco-conçu

3.2.2. Fonctions secondaires de l'emballage primaire

Les fonctions secondaires de l'emballage sont les suivantes :

Au niveau **marketing** :

- La visualisation : permettre la reconnaissance de la marque
- L'image : être en cohérence avec l'univers du produit et envers la cible visée

Au niveau de la **protection** du produit :

- Les gaz : protéger le produit de l'oxydation, de l'humidité et de tout gaz nuisible
- Les arômes : protéger le produit de la prise ou de la perte d'arômes
- Protéger le produit de la lumière

Au niveau de la **logistique** :

- Faciliter une palettisation efficace
- Optimiser la quantité de produits par palette
- Garantir une bonne stabilité
- Faciliter les opérations de manutention
- Faciliter l'élimination des emballages

Au niveau du **conditionnement** :

- Réduire le volume au minimum
- Garantir une disponibilité chez les fournisseurs en vue de l'approvisionnement
- Faciliter le stockage des emballages vides

Au niveau la **cible**, les fonctions de l'emballage devront faciliter l'usage pour le consommateur:

- Le rangement : être facile à stocker

- L'ouverture : faciliter l'ouverture de l'emballage
- L'inviolabilité : présenter une trace en cas d'ouverture non justifiée
- Un format adapté à la vente B2B

Au niveau de l'**éco-conception** : limiter les impacts de l'emballage sur l'environnement en vérifiant la règle des "10 R".

3.2.3. Étude de marché des emballages

Afin de répondre au mieux à notre cahier des charges fonctionnel et de trouver un emballage adéquat pour notre produit, nous avons recherché les types d'emballages de cornets existants. Il en existe plusieurs types, voici plusieurs exemples accompagnés d'une critique reprenant leurs avantages et leurs inconvénients :

Photo de l'emballage	Avantages	Inconvénients
	Transparence, aspect visuel Conservation	Individuel Pas écologique Probablement prix
	Quinconce: gain d'espace Empilement	Praticité (car cornets couchés)
	Idée de colonne Transparence Empilement Conservation	Praticité
	Nombre d'unités	Conservation Perte d'espace en bas Fragilité
	Adaptation à la forme Faisable en quinconce	Optimisation de l'espace Conservation

	Transparence Quinconce Conservation Résistant (>< fragile)	Optimisation de l'espace
	Transparence Praticité de préhension Possibilité de superposer des plaques	Optimisation de l'espace Conservation après ouverture

	Conservation Séparation des colonnes Résistant Optimisation de l'espace Nombre d'unités	Praticité de préhension Beaucoup de carton (d'où la bonne résistance)
	Conservation Séparation des colonnes Praticité de préhension Optimisation de l'espace Nombre d'unités	Fragile
	Conservation Optimisation de l'espace Nombre d'unités	
	Présentation (présentation	Conservation Optimisation de l'espace Nombre d'unités Pas bon pour B2B

3.2.4. Projet d'emballage

Idée initiale

Nous trouverons différents types d'emballages sur notre produit. Tout d'abord l'emballage primaire, étant l'unité de vente pour le consommateur. Celui-ci sera constitué de deux matériaux :

- Une caisse en carton divisée en plusieurs colonnes par des intercalaires assemblés en mi-bois.
- Un emballage plastique par colonne, contenant le produit fini emballé par 5 unités.

L'emballage primaire contiendra 12 colonnes de 10 cornets, ce qui fera un total de 120 cornets par boîte. Chaque colonne contiendra un cône tronqué à sa base afin que la pile de cornets repose dessus.

Les dimensions de la caisse sont les suivantes : 265 mm x 200 mm x 255 mm; et les dimensions des carrés seront de 60 mm x 60 mm, où 50 mm sera pris pour le diamètre du cornet et 5 mm de chaque côté pour pouvoir laisser une marge de mouvement et faciliter la préhension. La figure 37 est une représentation de l'emballage primaire.

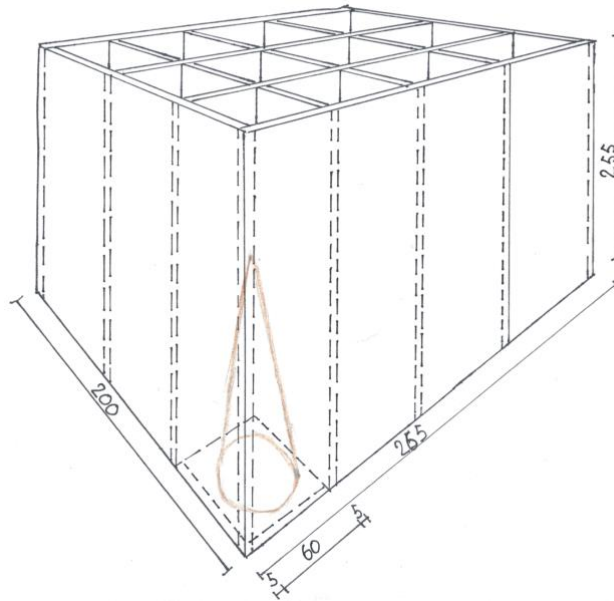


Figure 37 : Schéma de l'emballage primaire

L'emballage tertiaire permettra de réunir plusieurs unités de ventes et d'en faciliter le transport.

Critique et révision de l'idée initiale

Afin d'améliorer au mieux ce projet d'emballage, nous en avons fait la critique.

Notre emballage répond à toutes les fonctions primaires citées ci-dessus. Le carton répond aux fonctions suivantes : contenir les cornets, les protéger et permettre une bonne prise en main. Le plastique entourant les cornets de chaque colonne permet de répondre aux fonctions de préservation de l'activité de l'eau, d'assurer la date de durabilité minimale et de conserver les caractéristiques organoleptiques du produit.

Cependant la fonction d'écoconception n'est pas pleinement remplie car le carton présente de l'emballage superflu :

- Les intercalaires assemblés en mi-bois permettent une bonne protection mais peuvent être minimisés
- Les faces de la boîte ne doivent pas nécessairement être en carton plein : si les cornets sont bien fixés dans la boîte il n'y a pas de risque qu'ils tombent
- Si les intercalaires sont retirés, il n'y a pas de raison de garder des colonnes de forme carrée, nous pourrions disposer des colonnes cylindriques mises en quinconce.

Ces réflexions nous amènent à revoir l'emballage en carton. Afin de remplacer les intercalaires, nous pouvons fixer un cône tronqué à la base de la boîte, et, au sommet des cornets empilés, mettre un creux (système de fixation). Les intercalaires n'auraient plus lieu d'être et on pourrait s'en séparer.

En ce qui concerne les fonctions primaires concernant le carton, celles-ci seraient toujours remplies. La boîte est capable de **contenir les cornets**, il est par contre nécessaire de revoir le nombre d'unités conditionnées car au vu du gain de place il n'est pas nécessaire de garder le même nombre d'unités pour les mêmes dimensions. La **fonction de protection** est remplie par des fixations dans la boîte, bloquant chaque pile. La **fonction de préhension** est quant à elle améliorée car il n'y a plus d'intercalaire pour gêner la prise en main des cornets.

Suite à ces réflexions, nous pouvons relever plusieurs problèmes auxquels nous serons confrontés pour ce deuxième projet d'emballage. Premièrement, pour que le rôle de protection soit correctement respecté, il faudra s'assurer que les **pires de cornets soient correctement fixées** et, si ce n'est pas le cas, les piles pourraient entrer en contact entre elles et provoquer la cassure de cornets. Ensuite, nous devrons **repenser le couvercle** afin que celui-ci puisse recevoir les pointes des cornets. Toujours concernant le couvercle, il faut penser à sa **remise en position** par le glacier sans casse de cornets en cas de pile mal positionnée.

Pour finir, il faut penser au maintien d'une pile de cornets entamée qui n'atteint donc pas le couvercle. C'est un problème mineur mais les glaciers pourraient y être confrontés.

3.2.5. Idées de matériaux

Les matériaux d'emballages peuvent être classés en différentes familles qui sont (Léonard, P. ; 2018) : les polymères, les élastomères, les céramiques, les verres, les métaux et les hybrides.

Nous étudierons les matériaux répondant aux fonctions primaires de notre emballage : les matières plastiques ou bioplastiques (polymères) et le carton (élastomères).

Le plastique

Le choix du plastique a été fait pour son **imperméabilité à l'humidité**, sa **légèreté** et sa **souplesse**. Un plastique et 2 bioplastiques répondent à ces critères :

Le plastique : **le polyéthylène basse densité (PEBD)** : il est transparent et à une bonne résistance à la déchirure. Il peut être réalisé à partir de canne à sucre et donc être biosourcé.

Les bioplastiques :

- **L'acide polylactique (PLA)** : il est biodégradable. Il possède une perméabilité modérée à l'eau, il sera nécessaire de tester si elle est suffisante. Il n'est pas très résistant et son recyclage n'est pas aisé. Son prix élevé sera également un frein à son utilisation dans le cadre de notre projet.
- **Le polyhydroxyalcanoate (PHA)** : ce bioplastique est biodégradable et compostable. Ses propriétés varient en fonction de la nature du polymère utilisé, il faudra donc veiller à en utiliser un approprié.

Le carton

Le carton a été choisi pour sa **rigidité** et sa **résistance**.

Deux types de carton ont été choisis, le carton plat et le carton ondulé. Ces 2 matériaux sont relativement faciles à usiner et la création de diverses formes est possible, ce qui répondrait

à ce dont nous avons besoin pour notre emballage. Le carton ondulé étant plus résistant, il sera utilisé si cela est nécessaire pour la manutention ou pour le gerbage.

3.2.6. Étiquetage

Afin de garantir les informations aux consommateurs, le règlement (UE) n°1169/2011 du Parlement Européen et du Conseil du 25 décembre 2011 reprend la liste des mentions obligatoires devant être reprises sur l'étiquette du produit (1).

Voici ci-dessous la liste des mentions obligatoires :

1. La dénomination de la denrée alimentaire
2. La liste des ingrédients, précédée d'une mention "ingrédients", dans l'ordre décroissant de leur importance pondérale dans la denrée alimentaire
3. Tout ingrédient ou auxiliaire technologique énuméré à l'annexe II ou dérivé d'une substance ou d'un produit énuméré à l'annexe II provoquant des allergies ou des intolérances, utilisé dans la fabrication ou la préparation d'une denrée alimentaire et encore présent dans le produit fini, même sous une forme modifiée
4. La quantité de certains ingrédients ou catégories d'ingrédients
5. La quantité nette de denrées alimentaires
6. La date de durabilité minimale ou la date limite de consommation
7. Les conditions particulières de conservation et/ou d'utilisation
8. Le nom ou la raison sociale et l'adresse de l'exploitant du secteur alimentaire
9. Le pays d'origine ou le lieu de provenance (mention obligatoire si une confusion est possible sur l'origine de la denrée)
10. Un mode d'emploi, lorsque son absence rendrait difficile un usage approprié de la denrée alimentaire
11. Le degré alcoolique : pour les boissons, obligatoire quand il est supérieur à 1,2% d'alcool en volume
12. Une déclaration nutritionnelle

Les mentions obligatoires doivent être présentes et facilement accessibles sur toutes les denrées alimentaires sur l'emballage ou sur une étiquette s'y attachant. Le règlement (UE) n°1169/2011 régit également la présentation des mentions obligatoires qui doivent être visibles, lisibles et indélébiles. Le corps de caractère doit être de hauteur X : égale ou supérieure à 1,2 mm. Lorsqu'il s'agit d'emballages dont la face la plus grande a une surface inférieure à 80 cm², la hauteur de x doit être égale ou supérieure à 0,9 mm. La définition de la hauteur de X selon le règlement (UE) n°1169/2011 se trouve dans l'annexe 3.

Par rapport aux exigences linguistiques, la langue utilisée doit être facilement compréhensible par les consommateurs des États membres où la denrée alimentaire est commercialisée. Dans le cas de notre produit, les langues seront donc les suivantes : français, anglais et néerlandais.

La quantité nette de notre produit sera exprimée en unité de masse, en kilogramme ou en gramme. Cette quantité sera comprise entre 11 et 22 grammes, décidée sur base des quantités nettes des concurrents.

Dans le cas de notre produit, il s'agira d'une date de durabilité minimale (DDM). En effet, si la date est dépassée, notre produit aura éventuellement perdu une partie de ses qualités spécifiques, mais ne représentera cependant pas un risque pour le consommateur. Une date limite de consommation (DLC) s'appliquerait dans le cas d'une denrée alimentaire microbiologiquement très périssable, qui présenterait un danger immédiat pour la santé humaine si elle est consommée à date dépassée. La DDM est précédée de "À consommer de préférence avant le ..." (jour, mois, année), ou "À consommer de préférence avant fin ..." (mois, année) ou (année). Pour notre produit il sera mentionné "À consommer de préférence avant fin ...". Les conditions de conservation de notre produit seront indiquées sur l'étiquette de la manière suivante : "A conserver dans un endroit sec et à température ambiante afin de ne pas altérer la qualité du produit."

La déclaration nutritionnelle sera exprimée par 100 grammes de produit ainsi que par portion et devra inclure :

- La valeur énergétique en kilojoule (kJ) ou kilocalorie (kcal)
- La quantité de graisses en gramme (g) dont les acides gras saturés en gramme (g)
- Les glucides en gramme (g) dont les sucres en gramme (g)
- Les protéines en gramme (g)
- Le sel en gramme (g)

Le règlement (CE) n° 41/2009 est relatif à la composition et à l'étiquetage des denrées alimentaires convenant aux personnes souffrant d'une intolérance au gluten (3). Ce règlement distingue les denrées alimentaires "sans gluten" et les denrées alimentaires à "très faible teneur en gluten". La différence est la suivante :

- Les denrées alimentaires "**sans gluten**" doivent contenir moins de **20 mg/kg** de gluten dans le produit fini. Cet étiquetage spécifique s'applique à l'ensemble des denrées alimentaires.
- Les denrées alimentaires à "**très faible teneur en gluten**" doivent contenir moins de **100 mg/kg** de gluten dans le produit fini. Quant à lui, cet étiquetage spécifique ne s'applique qu'aux aliments diététiques.

Notre cornet s'inscrit dans les denrées alimentaires "sans gluten".

CHAPITRE 4 : SATISFACTION

4.1. Satisfaction sensorielle

L'analyse sensorielle implique l'évaluation de différentes caractéristiques, telles que l'apparence, l'odeur, la texture et le goût du produit via l'intervention active de l'homme (Goffin, D. ; 2021, Tiefenbacher, 2018). Dans le cas d'un cornet, l'apparence peut correspondre à ses dimensions, sa couleur et sa tenue en main.

Nous suivrons une approche hédonique, qui consiste à décider du produit préféré. Il s'agit donc d'un **test de préférence** réalisé sur des testeurs naïfs (Goffin, D. ; 2021).

L'analyse sensorielle intervient à différents moments: avant et après la mise en bouche. **Avant la mise en bouche**, 3 sens interviennent : la vue, l'odorat et le toucher. Cette première analyse permet d'identifier le rejet ou l'acceptation du produit, et également l'attente que le consommateur en a. **Après la mise en bouche**, 4 sens interviennent : le goût, l'odorat, le toucher et l'ouïe. Cette analyse permet d'obtenir une conclusion par rapport au produit : le consommateur accepte ou rejette ce dernier.

Les sens et leur interventions (Goffin, D. ; 2021) :

La vue est le premier sens à entrer en action, même avant que le consommateur ne saisisse le produit. La vue est également le seul sens qui permet de comparer différents cornets de manière simultanée. Grâce à la vision, le consommateur anticipe le plaisir que va lui procurer le cornet. La vue permet d'apprécier la couleur et la forme du produit.

Le toucher permet au consommateur de juger la texture, la résistance mécanique et les caractéristiques de surface du cornet.

L'audition permet l'appréciation du caractère croustillant d'un produit. L'audition est donc d'une importance primordiale dans le cadre de notre produit.

L'odorat permet d'apprécier le bouquet aromatique du produit. Il intervient avant la mise en bouche, par voie olfactive, directe, et intervient également par voie rétronasale, après la mise en bouche, lorsque la consommation du produit libère les molécules volatiles.

Il existe 4 goûts de base, à savoir: le goût sucré, salé, acide et amer. Il existe également d'autres goûts tels que l'umami et le goût métallique. Nous nous concentrerons ici sur les 4 goûts de base.

D'un point de vue sensoriel, notre produit devra avoir le même score qu'un produit avec gluten. Sa texture devra être **croustillante**. Le cornet devra résister à la **tenue en main** et à la **pose d'une boule de crème glacée**, et donc ne pas être cassant. La forme du produit final sera de forme conique et ses dimensions seront du même ordre de grandeur que les cornets avec ou sans gluten présent sur le marché (voir tableau 25).

Les cornets pourront être notés sur base de différents paramètres tels que la couleur, l'odeur, le goût, la texture, le caractère croustillant et la tenue en main du cornet. Les notes reçues pour notre produit devront être au moins aussi élevées que celles que ces mêmes personnes cibles donneront aux cornets classiques présents sur le marché.

Le goût

Nous visons un cornet avec un goût de pomme léger et agréable. Nous désirons avoir un cornet qui sera apprécié par une majorité de personnes les consommant, ce qui sera traduit par un score, que nous voulons égal ou supérieur à 3/5 pour plus de 50% des testeurs concernant le goût global du cornet.

La flaveur de pomme n'étant pas présente chez la concurrence nous ne pourrions pas viser une comparaison par rapport à celle-ci.

La croustillance

Nous visons une croustillance similaire ou légèrement inférieure à celle des cornets sans gluten. Nous accepterons d'être maximum à 0,5 point des valeurs des cornets sans gluten. Par exemple, si un cornet a une valeur moyenne de 3,5 pour sa croustillance, nous visons une valeur supérieure à 3.

L'odeur

Nous ne visons pas d'odeur particulière tout en acceptant une légère odeur de pomme, qui reste agréable, afin de ne pas gâcher le goût et l'odeur de la crème glacée consommée.

Le toucher

Au niveau du toucher, nous ne désirons aucun critère en particulier si ce n'est que le cornet ait une bonne résistance à la prise en main et à la pose de crème glacée.

La couleur

Nous voulons éviter une coloration trop sombre afin de ne pas rebuter le consommateur et lui donner une impression de "cornet brûlé". Nous acceptons cependant d'avoir un produit plus foncé que la concurrence de part la teneur en marc de pommes.

4.2. Conservation

Nous voulons que notre produit se conserve de manière comparable à un cornet sans gluten vendu sur le marché. Nous acceptons une durée inférieure si nous parvenons à nous passer d'utiliser des additifs conservateurs.

Nous pourrions nous permettre d'avoir une date de durabilité minimale plus courte qu'un produit concurrent du fait que notre produit est destiné aux glaciers et non aux particuliers.

Le tableau 24 reprend les dates de durabilités minimales de cornets vendus sur le marché.

Cornets	Date de durabilité minimal	Acheté le (date)
Le Vésuve	1/12/22	13/07/22
Miran	31/12/23	27/06/22

Tableau 24 : Dates de durabilité minimales de cornets sans gluten

4.3. Caractéristiques dimensionnelles

Notre objectif est que notre produit se situe dans le même ordre de grandeur que les cornets existants. Le tableau 25 reprend les caractéristiques se rapportant aux dimensions de différents cornets sans gluten commercialisés sur le marché. Les caractéristiques reprises sont la longueur du cornet, son diamètre ainsi que son poids. Notre cornet devra donc avoir des caractéristiques semblables à celles du tableau 25.

Dimensions	Céliane Gluten Free	Tivoli Gluten Free	PaneRiso	Laura Gluten Free	Pisa Gluten Free
Longueur (mm)		150 ± 3		130	135
Diamètre (mm)		65 ± 3		50	41
Poids net (g/cornet)	17,5	20 ± 2	11		

Tableau 25 : Dimensions de cornets sans gluten

PARTIE C : DEVELOPPEMENT DU PRODUIT

CHAPITRE 1 : MATERIEL ET METHODE

1.1. Fabrication de la poudre de marc de pommes

1.1.1. Diagramme de fabrication

La figure 38 illustre le diagramme de fabrication de la poudre de marc de pommes. Ce diagramme a été élaboré sur base du diagramme de l'étude de Zlatanovic.

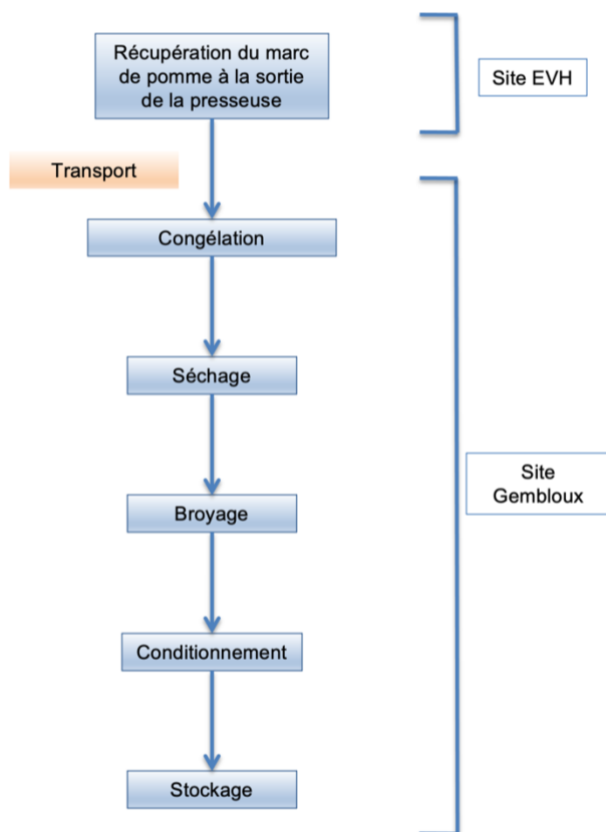


Figure 38 : Diagramme de fabrication de la poudre de marc de pommes

1.1.2. Réception du marc de pommes

Le marc de pommes est directement récupéré à sa sortie de la presse, sur le site de EVH à Fernelmont. EVH, pour « **Exploitation de Vergers Hesbignons** » est gérée par deux associés : Jean-Philippe de Villenfagne et Maximilien Petit, notre parrain industriel. EVH possède ses propres marques ainsi que des marques distributeurs pour de grandes enseignes. L'entreprise transforme des fruits belges : poires, pommes, cerises, fraises, rhubarbes, framboises, myrtilles (*JUICE PRESS E.V.H.*, s. d.).

Le marc de pommes récupéré est exclusivement issu de pommes de variété **jonagold**. Il est conditionné dans des bacs en plastique contenant 18 kg de marc et est maintenu au frais dans de la glace durant leur transport jusqu'au laboratoire de Gembloux. La durée du trajet entre le site de réception et le laboratoire de Gembloux étant d'environ 25 minutes, le temps entre sa réception et sa congélation est d'environ 40 minutes.

La présence de pépins et de tiges pourrait avoir un effet désagréable en bouche si un morceau brut était perçu lors de la consommation (après obtention de la poudre). Il est possible de trier le marc de pommes afin d'éliminer les pépins et les tiges. Cependant, nous souhaitons garder les pépins et les tiges dans le but de **valoriser l'intégralité du marc de pommes**. Si l'on devait s'en séparer, cela créerait un déchet supplémentaire ce qui irait à l'encontre de l'objectif de notre projet.

1.1.3. Transport

Le temps de trajet entre le site de réception et le laboratoire de Gembloux est d'environ 25 minutes. Le temps entre sa réception sur le site d'EVH et sa congélation sur le site de Gembloux est d'environ 40 minutes.

1.1.4. Congélation

Le marc de pommes a été congelé jusqu'à son utilisation. Il a été maintenu à des températures allant de -19,4°C à -20,0°C.

1.1.5. Séchage

Le marc a été séché dans des étuves pour son utilisation dans les cornets et au lyophilisateur comme poudre de référence.

Séchage à l'étuve

Le marc est préalablement **décongelé** : les bacs sont placés au réfrigérateur durant 3 jours, à des températures variant entre 3,3°C et 4°C. Ils sont donc maintenus au frais durant toute la durée de leur décongélation afin d'assurer l'absence de prolifération des microorganismes.

Les étuves utilisées sont des U80 « I-T-10 ». Chaque étuve contient 4 plaques de séchage de dimension suivante : 95,5 cm de longueur et 55,5 cm de largeur. Une plaque est placée à la base de l'étuve et permet la récupération du marc tombé durant le séchage. Les 3 autres plaques contiennent chacune 3 kg de marc de pommes ce qui fait un total de 9kg par étuve. L'épaisseur du marc placé sur les plaques est de 1,5 cm.

Les étuves ont été réglées à 80°C et le séchage a duré 24h. Une des portes de l'étuve est laissée entre-ouverte afin de permettre une meilleure évacuation de l'humidité.

Séchage par lyophilisation

Le marc de pommes séché par lyophilisation a préalablement été congelé à une température de - 40°C jusqu'à son placement dans l'appareil. La durée du séchage est de 3 jours. ...

1.1.6. Broyage

La réduction du marc séché en poudre est réalisée à l'aide d'un moulin universel avec rotor à couteau Fritsch (broyeur à marteau). Le tamis de **500 microns** a été utilisé, en se basant sur la granulométrie de farines existantes.

Des broyages à 250 microns et 750 microns ont également été réalisés afin de comparer les capacités de rétention des différentes granulométries.

1.1.7. Conditionnement

Une fois la poudre obtenue, celle-ci est sertie dans des poches sous vide métallisées anti-UV, la protégeant de la lumière ainsi que d'une reprise en humidité. La poudre est ensuite conservée au réfrigérateur à une température variant de 3,3°C à 4°C.

1.2. Fabrication des cornets

1.2.1. Diagramme de fabrication

Après réception et stockage des différents ingrédients, la pâte est réalisée. Celle-ci peut présenter une teneur en humidité relativement élevée. Elle est pesée et déposée sur le gaufrier pour sa cuisson. Elle est ensuite récupérée et façonnée en cornet. Une fois le cornet refroidi, il est de consistance croustillante, cassante, craquante et est fragile. Le produit fini présente une très faible teneur en humidité. Le cornet sera ensuite conditionné et stocké.

La figure 39 présente le diagramme de fabrication de notre produit.

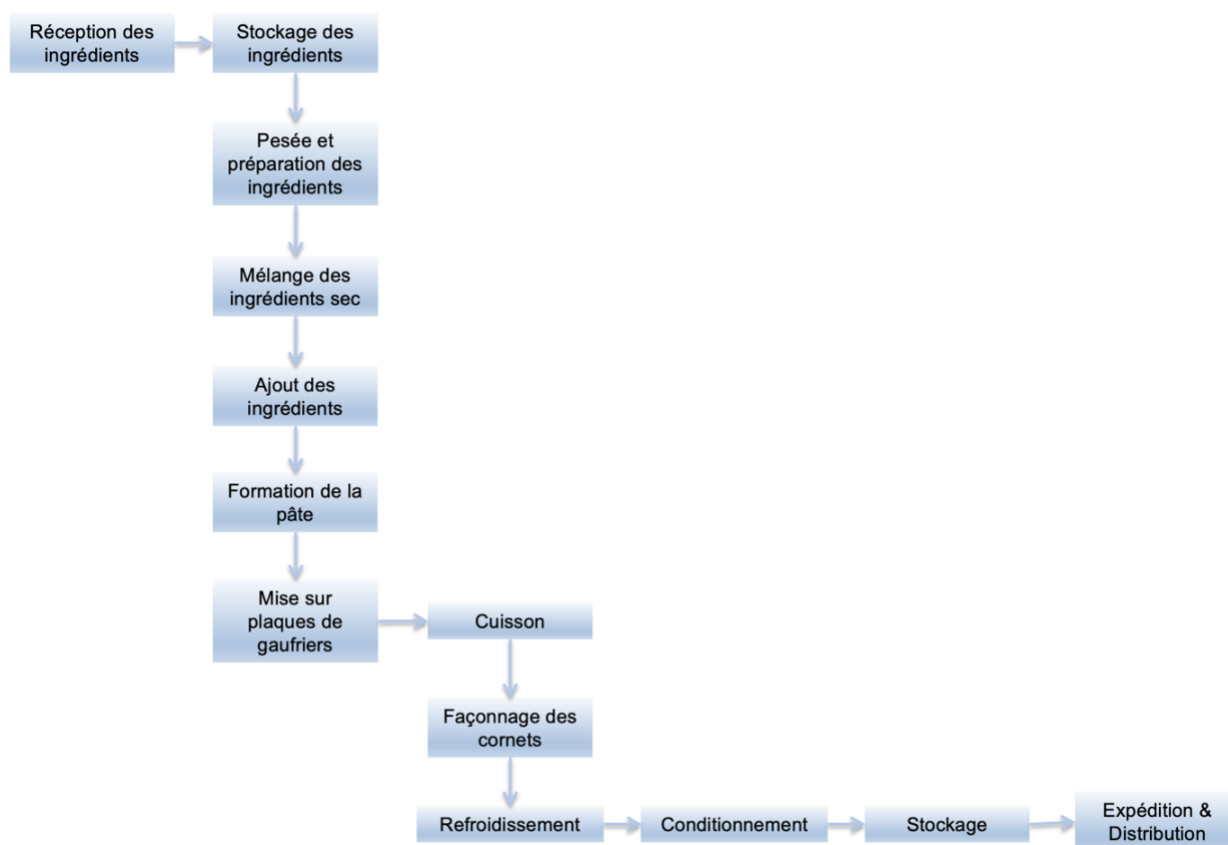


Figure 39 : Diagramme de fabrication des cornets, avec et sans gluten

1.2.2. Formulation des cornets

La méthode d'incorporation des ingrédients est la suivante :

Premièrement, l'eau est ajoutée dans le bol d'un robot Kenwood. Le sucre est ajouté à l'eau. Ils sont mélangés, le robot placé à la vitesse maximale. Une fois sa dissolution complète, le sel, le bicarbonate de sodium et le bicarbonate de magnésium sont ajoutés. Une fois tous les ingrédients dissouts, la fécule de pomme de terre est ajoutée. Les ingrédients suivants sont ajoutés successivement, dans l'ordre donné ci-dessous, en s'assurant d'avoir une pâte homogène avant l'ajout d'ingrédients : la gomme de guar, les farines de maïs et de sarrasin préalablement mélangées à la poudre de marc de pommes, et l'huile et la lécithine de soja

également préalablement mélangées. Le mélange est mélangé au robot durant 2 minutes. La pâte repose ensuite durant 20 minutes avant de passer à la cuisson.

Formulation

Afin de définir la formulation de notre produit, nous l'avons scindé en 4 parties. Nous avons, dans l'ordre, formulé :

- Des cornets avec gluten sans marc de pommes,
- Des cornets avec gluten avec marc de pommes,
- Des cornets sans gluten sans marc de pommes,
- **Des cornets sans gluten avec marc de pommes, notre objectif final.**

Cornet avec gluten

Le tableau 26 présente les ingrédients utilisés et leurs proportions pour les formulations des cornets avec gluten, d'abord sans marc de pommes et ensuite avec marc de pommes. La farine utilisée était une farine de blé T45.

Ingrédient	Quantité (g)	Ingrédient	Quantité (g)
Sel	0,50	Sel	0,35
Bicarbonate	0,10	Bicarbonate	0,10
Magnésium	0,50	Magnésium	0,35
Fécule de pomme de terre	5,00	Fécule de pomme de terre	8,60
Eau	120,00	Eau	87,00
Farine de blé (contient gluten)	100,00	Farine de blé (contient gluten)	45,00
Poudre de marc de pommes	0,00	Poudre de marc de pommes	22,50
Sucre	44,00	Sucre	32,00
Huile végétale	4,50	Huile végétale	3,50
Lécithine de soja	1,00	Lécithine de soja	0,70
Total	275,60	Total	200,00
Total sans eau	155,60	Total sans eau	113,10

Tableau 26 : Ingrédients et quantités des cornets avec gluten sans marc de pommes (GAUCHE) et des cornets avec gluten avec marc de pommes (DROITE)

Cornet sans gluten

Premièrement, nous avons réalisé des cornets **sans gluten sans marc de pommes**. Pour ce faire, nous avons substitué la farine de blé par des farines sans gluten. Les farines sans gluten utilisées sont les farines de maïs et de sarrasin. Le rapport entre ces 2 farines est de 70% de farine de maïs et 30% de farine de sarrasin.

Le tableau 27 présente les ingrédients utilisés et leurs proportions.

Ingrédient	Quantité (g)
Sel	0,35
Bicarbonate	0,10
Magnésium	0,35
Fécule de pomme de terre	8,60
Eau	110,00
Farine maïs	47,25
Farine de sarrasin	20,25
Poudre de marc de pommes	0,00
Sucre	25,59
Huile végétale	3,50
Lécithine de soja	0,70
Gomme de guar	1,01
Total	218,00
Total sans eau	108,00

Tableau 27 : Ingrédients et quantités des cornets sans gluten sans marc de pommes

Nous avons finalement travaillé la formulation des cornets **sans gluten avec marc de pommes**, notre objectif final.

Le tableau 28 présente la liste des ingrédients utilisés ainsi que leurs proportions.

Ingrédient	Quantité (g)
Sel	0,35
Bicarbonate	0,10
Magnésium	0,35
Fécule de pommes de terre	8,60
Eau	110,00
Farine de maïs	27,30
Farine de sarrasin	11,70
Poudre de marc de pommes	28,50
Sucre	25,59
Huile végétale	3,50
Lécithine soja	0,70
Gomme de guar	1,01
Total	218,00
Total sans eau	108,00

Tableau 28 : Ingrédients et quantités des cornets sans gluten avec marc de pommes

La poudre de marc de pommes représente 26% de la masse du cornet, ce qui correspond à notre cahier des charges, dans lequel nous souhaitons atteindre minimum 20%. Nous appellerons ce cornet : « cornet 26% ».

Les fibres sont apportées par le marc de pommes qui en contient 35,8g/100g. La poudre de marc de pommes apporte donc aux cornets, dans le cas de cette formulation, 9,3 grammes de fibres par 100 grammes de cornets.

Afin de déterminer la teneur de poudre de marc de pommes à ajouter qui convient le mieux au produit, aussi bien d'un point de vue technologique qu'au niveau de l'appréciation du goût, nous en avons intégré à la formulation, de façon graduelle.

Nous avons réalisé un cornet **exempt de farine**, que nous appellerons « **cornet 63%** » dans la suite du travail. La farine a donc été remplacée dans son intégralité par de la poudre de marc. La poudre de marc représente dans ces cornets **63%** de la masse du cornet.

En ajoutant la poudre aux formulations, nous avons dû ajuster la teneur en eau et en sucre puisque le marc de pommes contient 47,8 grammes de sucre par 100 grammes.

Le tableau 29 présente la liste des ingrédients utilisés ainsi que leurs proportions.

Ingrédient	Quantité (g)
Sel	0,35
Bicarbonate	0,10
Magnésium	0,35
Fécule de pomme de terre	8,60
Eau	110,00
Farine	0,00
Poudre de marc de pommes	67,50
Sucre	25,59
Huile végétale	3,50
Lécithine de soja	0,70
Gomme de guar	1,01
Total	218,00
total sans eau	108,00

Tableau 29 : Ingrédients et quantités des « cornets 63% »

1.2.3. Cuisson

La cuisson de la pâte se fait par un appareil (gaufrier) à cornets pour crème glacée de la marque Severin HA 2082. La figure 40 présente une photographie du gaufrier.



Figure 40 : Appareil à cornets

La température des plaques chauffantes varie entre 87,5 °C et 116,6 °C lorsque le thermostat est réglé sur la position minimale, et entre 156 °C et 183,4 °C lorsque le thermostat est réglé sur la position maximale. Ces températures ont été déterminées à l'aide d'un thermocouple. Le gaufrier, lorsque la position du thermostat est sur maximale, suit des cycles d'environ 178 secondes, et des cycles d'environ 439 secondes pour la position minimale en variant de température comme nous pouvons l'observer sur la figure 41.

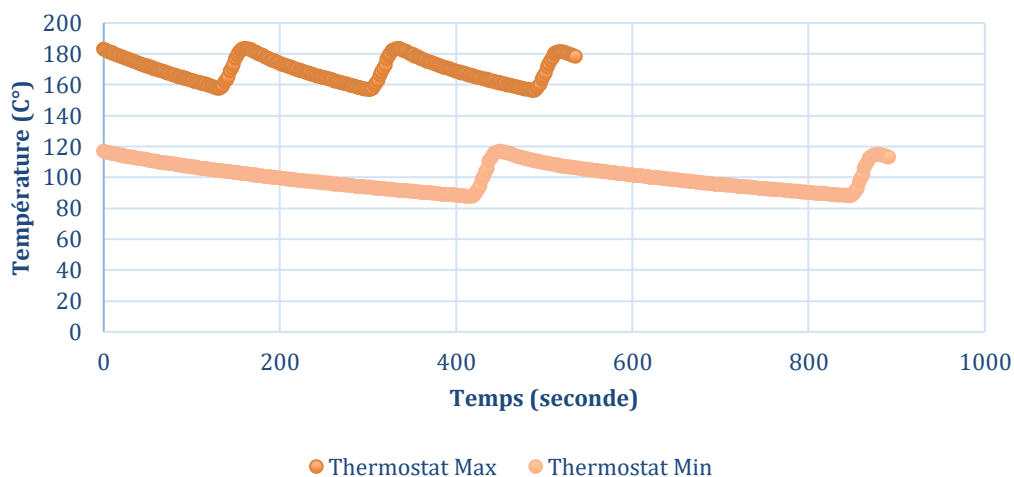


Figure 41 : Variations de température du gaufrier en fonction du temps

Le choix de mettre le **thermostat au maximum** de ses capacités, c'est-à-dire entre 156°C et 183,4°C, a été pris car ces températures sont celles se rapprochant le plus des valeurs recommandées (Tiefenbacher, 2018) de cuisson des cornets ou gaufrettes. Les gaufrettes sont cuites durant **110 secondes**.

Puisque la résistance de l'appareil s'allume et s'éteint de manière cyclique, afin de garder une plage constante de température, le gaufrier varie en températures. Pour la position maximale du thermostat, le témoin lumineux vert s'allume lorsque la température atteint 170°C, elle continue ensuite de monter jusqu'aux environs de 183,4°C pour ensuite redescendre.

Dans les consignes d'utilisation de l'appareil, il est recommandé de ne pas le laisser chauffer à vide (excepté les quelques minutes de préchauffage avant la première cuisson). Il est donc recommandé d'enchaîner la cuisson des gaufrettes. Cependant, en procédant de la sorte, les gaufrettes sont cuites à des températures différentes puisque le cycle de chauffage est supérieur au temps de cuisson de nos gaufrettes, elles sont posées sur les plaques chauffantes à des moments différents du cycle de chauffe et refroidissement. Le résultat de ceci résulte en des cornets de même composition mais de cuisson légèrement différente. Afin de palier à ce problème, nous avons décidé de laisser le gaufrier finir son cycle après chaque cuisson, et de le reprendre à la fin de la période de « préchauffage », correspondant à 170°C, dans le but d'avoir une cuisson uniforme des différents cornets et un temps de cuisson qui aura des impacts similaires sur ceux-ci.

La cuisson des « cornets 63% ».

Ces cornets sont cuits, comme les autres, **au gaufrier**. La cuisson au gaufrier est d'une durée de 110 secondes. Contrairement aux autres cornets, ils sont laissés sous forme de gaufrette et ne sont pas roulés à cette étape. Nous réalisons une **seconde cuisson: au four à chaleur tournante, à 175°C, durant 120 secondes**. Suite à cette seconde cuisson, le sucre, à nouveau chaud, permet de rouler les gaufrettes en cornets.

1.2.4. Roulage

A la sortie du gaufrier, les gaufrettes sont directement roulées **avant** leur refroidissement. Les dimensions de notre produit fini sont les suivantes : 130x50mm. Celles-ci sont fixées par l'utilisation du moule à cornets en inox.



Figure 42 : Moule à cornets

1.2.5. Conditionnement

Les cornets une fois formés reposent afin de refroidir complètement avant d'être emballés. Une fois refroidis, ils sont sertis dans des poches sous vide métallisées anti-UV, les protégeant de la lumière ainsi que d'une reprise en humidité. Les cornets sont conservés à température ambiante.

1.3. Analyses de laboratoire

1.3.1. Caractérisation de la poudre de marc de pommes

1.3.1.1. Dosage des sucres

a) Préparation de l'échantillon

Objectif : obtenir un échantillon liquide à partir du marc de pommes frais

Matériel

- Matière première : marc de pommes frais du lot 1 (récolté le 9/03/2022) et 2 (récolté le 6/04/2022)
- Appareils :
 - Presse HAFICO
 - Balance analytique

Méthode

- Pressage à 400kg/cm² des marcs de pommes et récolte du liquide.
- Préparation de l'échantillon en diluant 50µl de liquide de marc de pommes dans 25ml d'eau distillée.

b) Dosage du glucose et du fructose

Matériel

- Matières premières sous forme liquide
- Réactif 1 : NAD et tampon
- Réactif 2 : Hexokinase et Glucose-6-Phosphate déshydrogénase
- Réactif 3 : Phosphoglucose isomérase

Appareils

- Balance analytique
- Bain à température (25°C)
- Spectrophotomètre

Méthode

La méthode Enzytec™ Liquid D-Glucose / D-Fructose est une méthode de détermination enzymatique dans les produits alimentaires. Elle se fait par la mesure de NADH à 340 nm par un spectrophotomètre. Elle comprend les étapes suivantes :

- Mélange de 50µl de l'échantillon préparé (au point Préparation de l'échantillon nécessaire aux dosages des sucres) avec 1000µl du réactif 1 suivi d'une incubation à 25°C pendant 3 minutes
- Lecture des échantillons au spectrophotomètre. Obtention de l'absorbance A1
- Ajout de 250µl du réactif 2 et incubation à 25°C pendant 15minutes
- Lecture des échantillons au spectrophotomètre. Obtention de l'absorbance A2
- Ajout de 250µl du réactif 3 et incubation à 25°C pendant 15minutes
- Lecture des échantillons au spectrophotomètre. Obtention de l'absorbance A3

La concentration du glucose et du fructose est calculée par les formules ci-dessous.

Glucose :

$$\Delta A = (A_2 - df * A_1)_{Echantillon} - (A_2 - df * A_1)_{BR}$$

df (dilution factor) = facteur de dilution de la densité optique, du fait des volumes de réactifs rajoutés pendant le test. df = 0,808

$$C_{D-GLUCOSE} \left[\frac{g}{l} \right] = 0,744 * \Delta A$$

Fructose :

$$\Delta A = (A_3 - df * A_2)_{Echantillon} - (A_3 - df * A_2)_{BR}$$

df = 0,839

$$C_{D-FRUCTOSE} \left[\frac{g}{l} \right] = 0,877 * \Delta A$$

c) Dosage du sucrose / glucose / fructose

Matériel

- Matières premières sous forme liquide (l'obtention de la forme liquide est expliquée au point préparation de l'échantillon)
- Réactif 1 : beta-Fructosidase, Phosphoglucose Isomerase, ATP et NAD
- Réactif 2 : Hexokinase et Glucose-6-Phosphate déshydrogénase

Appareils

- Balance analytique
- Bain à température (25°C)
- Spectrophotomètre

Méthode

La méthode Enzytec™ Liquid Sucrose / D-Glucose / D-Fructose est une méthode de détermination enzymatique dans les produits alimentaires. Elle se fait par la mesure de NADH à 340 nm par un spectrophotomètre. Elle comprend les étapes suivantes :

- Mélange de 50µl de l'échantillon préparé (voir point (a)) avec 1000µl du réactif 1. Incuber à 25°C pendant 15minutes.
- Lecture des échantillons au spectrophotomètre. Obtention de l'absorbance A1.
- Ajout de 250µl du réactif 2. Incuber à 25°C pendant 15minutes.
- Lecture des échantillons au spectrophotomètre. Obtention de l'absorbance A2.

La concentration des sucres totaux est calculée par la formule ci-dessous :

$$\Delta A = (A_2 - df * A_1)_{Echantillon} - (A_2 - df * A_1)_{BR}$$

df = 0,808

$$C_{Sucres\ totaux} \left[\frac{g}{l} \right] = 0,744 * \Delta A$$

1.3.1.2. Dosage des fibres

Matériel

- Appareils :
 - Balance analytique
 - Étuve électrique ventilée
 - Dessiccateur
 - Bain-marie
 - Bain agitant « Tecator 1024 Shaking Water Bath »
 - pH-mètre
 - Pompe à vide « Vacuubrand® MZ 2C NT »
 - « Fibertec System E 1023 Filtration Module » de la marque « Tecator »
 - Four à moufle « Nabertherm »
 - Dumas Elementar Rapid N Cube
 - Vanne de vide
- Réactifs :
 - Célite Hyflo Super Cel, filtre, Supelco
 - Tampon MES-TRIS
 - Hydroxyde de sodium 1 N et 6 N
 - Alpha-amylase
 - Protéase de Bacillus licheniformis
 - Amyloglucosidase d'Aspergillus niger
 - Acide chlorhydrique 0,561 N et 1 N
 - Ethanol Eurodénaturé >96% TechniSolv
 - RBS T 105 à 2%

Méthode

La méthode AOAC 991.43 (AACC 32-07) est utilisée, c'est une variation de la méthode AOAC 985.29 (AACC 32-05).

- 1) Préparation des échantillons :
 - Séchage des échantillons à 70°C. Évaluation de la matière sèche.
- 2) Préparation des creusets :
 - Peser les creusets (m_{creuset})
 - Introduire 0,5g de célite
 - Peser les creusets avec la célite ($m_{\text{creuset+célite}}$)
 - Placer les creusets dans une étuve ventilée à 103°C pendant une nuit
 - Sortir les creusets et les placer dans un dessiccateur jusqu'à ce qu'ils redescendent à température ambiante
 - Peser les creusets avec la célite ($m_{\text{creuset+célite}}$ après 1 nuit à l'étuve)
- 3) Préparation de l'analyse :
 - Remplir 6 béchers avec 600ml d'éthanol et les placer dans un bain agitant thermostatisé à 60°C
 - Remplir un erlenmeyer avec 500ml d'eau distillée et le placer dans un bain-marie à 100°C
- 4) Digestion de l'échantillon :
 - Peser 1g d'échantillon dans un erlenmeyer à col rodé ($m_{\text{échantillon}}$)
 - Ajouter 40ml de tampon MES-TRIS

- Ajout 50µl d'alpha-amylase
 - Placer les erlenmeyers dans un bain-marie à 100°C pendant 35minutes
 - Ajouter 100µl de protéase et laisser incubé pendant 30minutes à 60°C dans un bain-marie
 - Ajouter 5ml d'HCl 0,561 N et ajuster le pH entre 4,0 et 4,7 à l'aide du NaOH 1N et du HCl 1N
 - Ajouter 300µl d'amyloglucosidase et laisser incubé pendant 30minutes à 60°C dans un bain-marie
- 5) Fibres insolubles :
- Réaliser une filtration à vide sur les creusets avec de la célite
 - Rincer l'erlenmeyer avec de l'eau distillée à 70°C
 - Après la filtration, placer les creusets dans une étuve ventilée à 103°C pendant une nuit
 - Peser les creusets avec la célite et le résidu ($m_{\text{creuset+célite+résidu}}$)
 - Doser les cendres de tous les creusets ($m_{\text{creuset+cendres}}$) (voir dosage des cendres)
 - Doser les protéines de tous les creusets (voir dosage des protéines)
 - Les liquides de filtration sont récupérés pour doser les fibres solubles
- 6) Fibres solubles :
- Récupérer les liquides de filtration et ajouter 4 fois le volume en éthanol eurodénaturé chauffé à 60°C.
 - Laisser précipiter pendant 60minutes à température ambiante
 - Réaliser une filtration à vide sur les creusets avec de la célite.
 - Après la filtration, placer les creusets dans une étuve ventilée à 103°C pendant une nuit
 - Peser les creusets avec la célite et le résidu ($m_{\text{creuset+célite+résidu}}$)
 - Doser les cendres de tous les creusets ($m_{\text{creuset+cendres}}$) (voir dosage des cendres)
 - Doser les protéines de tous les creusets (voir dosage des protéines)

La teneur en fibres solubles et en fibres insolubles est donnée par les calculs ci-dessous :

% de fibres du produit sec

$$= \left(\frac{R_1 + R_2}{2} - (\%P + \%A) * \frac{R_1 + R_2}{2} - B \right) * 100 / (m_1 + m_2) / 2 * (100/MS)$$

Où

%P = valeur obtenue en faisant la somme des prises d'essai et des « N Area » pour toutes les pastilles préparées pour un creuset puis en encodant ces valeurs dans le logiciel du Dumas

R₁ et R₂ sont les masses de résidus après séchage (en grammes)

%P est le pourcentage des protéines du résidu

%A est le pourcentage des cendres du résidu

$$\%A = \frac{m_{\text{creuset+cendres}} - m_{\text{creuset+célite après une nuit à l'étuve}}}{m_{\text{creuset+célite+résidu}} - m_{\text{creuset+célite après une nuit à l'étuve}}}$$

m₁ et m₂ sont les masses des prises d'essai (en grammes)

MS est la teneur en matière sèche de l'échantillon

1.3.1.3. Dosage des protéines

Matériel

- Matières premières sous forme solide
- Dumas Elementar Rapid-N-Cube

Méthode

Le fonctionnement consiste en une combustion flash par de l'oxygène à plus de 900°C. Les gaz produits, qui seront entraînés par un flux de dioxyde de carbone, vont être filtrés jusqu'à l'obtention de composés nitrés seuls, qui une fois transformés en gaz de diazote, arriveront avec le dioxyde de carbone sur le détecteur. La valeur sera donnée par une mesure de la différence de conductivité thermique.

La poudre de marc de pommes doit être mis sous forme de pastille pour avoir être utilisée par le Dumas, allant de 190 à 210mg. Le Dumas donne un pourcentage d'azote qu'il faudrait multiplier avec le taux de conversion en protéine, qui ici sera de 6,25. La formule est reprise ci-dessous :

$$\%Protéine = \%Azote * Facteur Protéique$$

Pour s'assurer des bons résultats il est nécessaire de commencer par 3 échantillons blancs, suivi d'un conditionnement et de 3 échantillons d'acide aspartique. Après cela les échantillons de marc de pommes passent dans l'appareil. La mesure se finit par un échantillon d'acide aspartique de nouveau pour s'assurer de la cohérence des résultats.

1.3.1.4. Dosage de la matière sèche

Matériel

- Échantillons
- Balance infra-rouge Sartorius MA150

Méthode

La balance chauffe l'échantillon à 130°C jusqu'à obtenir 3 fois la même mesure en humidité.

1.3.1.5. Dosage des cendres

Matériel

- Four à moufle
- Balance analytique
- Dessiccateur

Méthode

Placer les échantillons pendant 600 minutes à 525°C. Ensuite, les mettre au dessiccateur pour qu'ils reviennent à température ambiante avant de les peser.

Le taux de cendre est obtenu par la formule suivante :

$$\%cendre = \frac{m_{résidu\ échantillon}}{m_{totale\ échantillon}}$$

1.3.2. Capacité de rétention d'eau

Matériel

- Tubes de centrifugation
- Balance analytique
- Centrifugeuse Beckman Coulter Avanti

Méthode

La méthode utilisée est basée sur celle de Quin et Paton (Quin et Paton, 1979).

- Pesée des tubes de centrifugation
- Ajout de 20ml d'eau distillée avec 5g de poudre marc de pommes
- Centrifugation des échantillons à 4000rpm pendant 10minutes
- Élimination du surnageant
- Pesée des échantillons ainsi que leurs contenants pour avoir la valeur de l'eau absorbée exactement

La valeur de rétention d'eau est donnée par la formule ci-dessous :

$$WHC = \frac{(eau\ absorbée\ (ml))}{(masse\ de\ PMDP\ (g))}$$

1.3.3. Dosage des polyphénols

Matériel

- Réactifs :
 - o Acétone
 - o Réactif de Folin ciocalteu
 - o Carbonate de sodium
 - o Acide gallique
 - o Méthanol
- Appareil
 - o Spectrophotomètre
 - o Evaporateur rotatoire
 - o Agitateur
 - o Balance analytique

Méthode

La méthode utilisée se base sur celle réalisée dans l'étude de Wolfe and Liu. La première étape consiste à obtenir un extrait de polyphénol à partir de la poudre de marc de pommes.

1) Obtention de l'extrait de polyphénol

- o Pesée de 15g de poudre de marc de pommes par échantillon
- o Ajout de 150ml d'acétone 80% refroidi
- o Mélange à 15 000 tours/minute pendant 2 minutes
- o Filtration à vide au travers d'un filtre Whatman N°1
- o Rincer 2 fois le gâteau de filtration avec 15 ml d'acétone 80%
- o Placer le filtrat à l'évaporateur rotatoire à 45°C jusqu'à l'arrêt de l'évaporation
- o Placer l'extrait obtenu à -20°C jusqu'aux analyses

2) Analyse de l'extrait de polyphénol

- Pipeter 1ml de l'extrait de polyphénol et y ajouter 39 ml d'eau désionisée
- Prélever 0,5ml de la solution et l'ajouter dans un tube à essai
- Ajouter 0,5ml du réactif de Colin-Ciocalteu, 5ml d'une solution de carbonate de sodium (70g/kg) et 6ml d'eau désionisée
- Laisser la couleur se développer pendant 90minutes
- Réaliser une courbe standard d'équivalent en acide gallique à partir d'une solution 0,01% (1mg/10g)
- Lecture de l'absorbance par un spectrophotomètre

1.3.4. Microbiologie de la poudre de marc de pommes

1.3.4.1. Dénombrement des levures et moisissures totales

Matériel

- Échantillon : Poudre de marc de pomme des lots 1 et 2
- Milieu OGYE (Oxytétracycline-Glucose-Extrait de levure)
- Autoclave
- Hotte à flux laminaire
- Stomacher
- Sac stomacher
- Incubateur

Méthode

La valeur seuil limite pour les levures et moisissures est de 10^4 CFU/g. La manipulation doit se dérouler en milieu stérile, une hotte à flux laminaire a été utilisée.

- 1) Préparation du milieu OGYE : préparer la gélose, l'autoclaver pendant 10 minutes à 115°C . Ramener ensuite à 45°C en plaçant les milieux au bain-marie.
- 2) Préparation de l'échantillon : placer l'échantillon dans un sac stomacher et ajouter de l'eau peptonée et l'homogénéiser pendant 3minutes au stomacher.
- 3) Mise en culture : prélever 1ml de l'échantillon avec des dilutions allant de 10^{-1} à 10^{-5} et l'inoculer en simple couche, laisser sécher dans le milieu stérile et ensuite placer à l'incubateur à 25°C pendant 3 jours.
- 4) Dénombrement : comptage des boîtes contenant entre 50 et 100 colonies en différenciant levures et moisissures.

1.3.4.2. Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale

Matériel

- Échantillon : Poudre de marc de pomme des lots 1 et 2
- Gélose Plate Count Agar (PCA)
- Autoclave
- Hotte à flux laminaire
- Stomacher
- Sac stomacher
- Incubateur

Méthode

La valeur seuil limite pour la flore mésophile aérobie totale est de 10^6 CFU/g. La manipulation doit se dérouler en milieu stérile, une hotte à flux laminaire a été utilisée.

- 1) Préparation du milieu PCA : préparer la gélose, l'autoclaver pendant 15 minutes à 121°C . Ramener ensuite à 45°C en plaçant les milieux au bain-marie.
- 2) Préparation de l'échantillon : placer l'échantillon dans un sac stomacher et ajouter de l'eau peptonée et l'homogénéiser pendant 3 minutes au stomacher.
- 3) Mise en culture : prélever 1ml de l'échantillon avec des dilution allant de 10^{-1} à 10^{-5} et l'inoculer en simple couche, laisser sécher dans le milieu stérile et ensuite placer à l'incubateur à 30°C pendant 3 jours dans une étuve ventilée avec les boîtes retournées.
- 4) Dénombrement : comptage des boîtes contenant entre 30 et 300 colonies.

1.3.4.3. Dénombrement des bactéries lactiques

Matériel

- Échantillon : Poudre de marc de pomme des lots 1 et 2
- Milieu de Man, Ragosa et Sharpe ou MRS
- Autoclave
- Hotte à flux laminaire
- Stomacher
- Sac stomacher
- Incubateur

Méthode

La manipulation doit se dérouler en milieu stérile, une hotte à flux laminaire a été utilisée.

- 1) Préparation du milieu MRS : préparer la gélose, l'autoclaver pendant 15 minutes à 121°C . Ramener ensuite à 45°C en plaçant les milieux au bain-marie.
- 2) Préparation de l'échantillon : placer l'échantillon dans un sac stomacher et ajouter de l'eau peptonée et l'homogénéiser pendant 3 minutes au stomacher.
- 3) Mise en culture : prélever 1ml de l'échantillon avec des dilution allant de 10^{-1} à 10^{-5} et l'inoculer en simple couche, laisser sécher dans le milieu stérile et ensuite placer à l'incubateur à 30°C pendant 3 jours dans une étuve ventilée avec les boîtes retournées.
- 4) Dénombrement : comptage des boîtes contenant entre 30 et 300 colonies.

Calcul du nombre de colonies

Le nombre de colonies par échantillon sera déterminé par la formule suivante :

$$\text{Nombre Colonies} = \frac{(n_c d_c + n_{c-1} d_{c-1})}{V}$$

1.3.5. Tests du produit fini

1.3.5.1. Texturomètre

Les analyses de texture des cornets ont été réalisées avec un texturomètre TA.XTPlus par une évaluation du craquement.

La résistance des cornets est évaluée en mesurant la **force nécessaire à leur rupture**. Le test simule la contrainte imposée lorsqu'une boule de crème glacée est enfoncée dans un cornet. Le cornet est soutenu et maintenu vertical grâce à un support, la boule de crème glacée est mimée à l'aide d'une balle de ping pong qui est enfoncée à l'aide d'un piston. La balle constitue donc l'interface entre la sonde et le cornet.

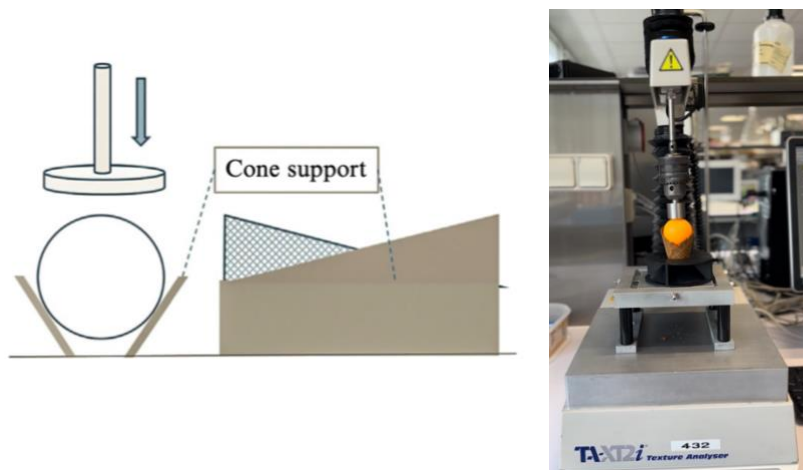


Figure 43 : Schéma (Tiefenbacher, 2018) et photo du texturomètre mis en place

La distance parcourue par la balle et la force nécessaire pour provoquer la rupture du cornet sont enregistrées. La force augmente jusqu'à la rupture majeure du cornet. Les pics des « vraies » fractures sont nets, alors que ceux du glissement de la balle sont plus arrondis. Suite à la rupture majeure, d'autres pics sont observés, correspondant au cornet qui continue à se fracturer. La croustillance est également mesurée, via le nombre de pics de fractures survenant au cours de l'essai. L'indication de la **croustillance** est donc indiquée par le **nombre total de pics**. La force nécessaire pour provoquer la **première rupture majeure** du cornet est utilisée comme indice de **résistance** de celui-ci. Après cette première rupture majeure, d'autres pics sont observés, correspondant au cornet qui continue à se fracturer. Le cornet devient plus dur et moins croustillant au fur et à mesure de son rassissement (texturomètre TA.XTPlus).

Les paramètres de l'appareil sont préfixés et présentés dans le tableau 30.

Mode	Measure Force in Compression
Option	Return to Start
Pre-test Speed	1.0 mm/s
Test Speed	2.0 mm/s
Post-Test Speed	10.0 mm/s
Target Mode	Distance
Distance	5 mm
Trigger Type	Auto - 5g
Stop Plot at	Target Position
Data Acquisition Rate	500 pps

Tableau 30 : Paramètres préfixés du texturomètre TA.XTPlus

Les 2 paramètres mesurés au texturomètre sont les suivants :

- 1) Force de rupture :** la force de rupture est une valeur dérivée du Peak positive force. Le Peak positive force correspond à la force maximale subie par le cornet durant le test. Cette donnée prise telle quelle peut être trompeuse car elle peut suivre une première cassure qui serait synonyme d'un cornet non utilisable pour les consommateurs. Pour cette raison nous avons choisi la force maximale subie avant la première rupture du cornet. Cette donnée évalue la résistance du cornet à la pose d'une glace.
- 2) Count peaks :** il s'agit du dénombrement de tous les pics présents sur le graphique de la force (N) exercée en fonction du temps et, comme expliqué dans la partie test, il donne une indication de la croustillance des cornets. Plus il sera élevé, plus les cornets seront considérés comme croustillants. Cependant, des tests réalisés sur des cornets peu rigides ont montré un grand nombre de pics sans présenter de cassure. C'est pourquoi ce paramètre sera évalué en même temps que l'allure du graphique de la force en fonction du temps. En effet, pour avoir une croustillance, la graphique doit présenter une courbe chaotique comme le montre les figures 40 et 41 (Miran et Boni). Un grand nombre de pics avec une courbe allongée sera synonyme d'un cornet subissant une déformation et non un signe de croustillance.

1.3.5.2. Activité de l'eau

Matériel

- Cupule de mesure (Aqualab)
- Aqualab® Decagon CX3
- Chambre Zanotti

Méthode

Le cornet est cassé en plusieurs petits morceaux et est reparti dans les cupules de mesure où il doit couvrir l'entièreté de la surface. Les cupules sont ensuite disposées durant 1 heure dans la chambre de mesure qui est à 20°C. La cupule est ensuite mise dans l'appareil sans son couvercle pour la mesure.

1.3.5.3. Teneur en humidité

Matériel

- Balance Infra-rouge Sartorius
- Cornet à tester

Méthode : 2 à 3 grammes de cornets émiettés à la main sont posés sur la balance. La balance chauffe l'échantillon à une température de 130°C jusqu'à avoir une teneur en humidité constante.

1.3.5.4. Colorimètre

La couleur des poudres de marc de pommes a été mesurée par un spectrocolorimètre ColorFlex EZ. L'appareil donne comme résultats des valeurs a^* , b^* et L^* . Comme le présente la figure 44, L^* correspond à la luminosité tandis que a^* et b^* représentent les couleurs respectivement « rouge-vert » et « jaune-bleu ».

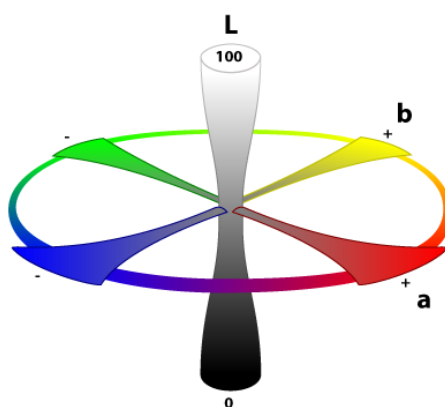


Figure 44 : Signification des valeurs L^* , a^* et b^*

1.4. Analyses sensorielles

Les testeurs sont ignorants des objectifs du test afin de ne pas être influencés et ils sont représentatifs de la population visée, il n'est en effet pas nécessaire de faire appel à un panel entraîné lorsqu'il s'agit de communiquer sa préférence.

La salle de dégustation répond à différents critères : box individuels, couleur et odeur neutre, éclairage uniforme, verre d'eau à disposition et climatisation.

Les échantillons sont présentés à l'aveugle et de manière aléatoire (chaque personne déguste les mêmes échantillons, mais dans un ordre différent). Chaque échantillon est représentatif du produit, par exemple des cornets entiers sont présentés.

Questionnaires

L'analyse sensorielle est divisée en **2 parties** :

- La première partie correspond à un test hédonique d'acceptabilité
- La seconde partie est un test d'évaluation des préférences

1.4.1. Test hédonique d'acceptabilité

Nous suivrons une **méthode « de classement »** dans laquelle les consommateurs évaluent indépendamment 4 produits en les classant selon l'intensité perçue d'une caractéristique donnée. L'échelle de classement va de « très désagréable » à « très agréable ».

Les 4 produits étudiés sont les suivants :

- « **Cornet 26 %** » : notre cornet sans gluten contenant 26% de marc de pommes
- « **Cornet 63 %** » : notre cornet sans gluten exempt de farine
- Cornet industriel **Le Vesuve** : avec gluten, retrouvé chez la plupart des glaciers belges
- Cornet industriel **Miran** : sans gluten, très peu disponible sur le marché, nous permettant une comparaison avec un produit sans gluten

Les caractéristiques étudiées lors de cette première phase de test sont les suivantes :

- La couleur, la texture et l'odeur, avant la mise en bouche
- Le goût (arôme/saveurs) et la croustillance, après la mise en bouche

1.4.2. Test d'évaluation des préférences

Dans cette seconde partie, le testeur reçoit les 4 cornets étudiés. Ceux-ci sont donnés simultanément et entier, de façon à inclure l'évaluation de la tenue en main du produit.

Les testeurs classent les 4 cornets selon leur préférence, pour les caractéristiques suivantes : la couleur, la texture, la tenue en main et le goût

Ensuite, ils identifient leur cornet « préféré » ainsi que celui qu'ils « aiment le moins ». Ils doivent justifier ce choix, nous laissant ainsi des commentaires nous permettant de comprendre ce qu'il reste à améliorer pour satisfaire les consommateurs.

Enfin, la dernière question est de savoir si le testeur détecte un arôme de pomme, et si oui dans quel(s) cornet(s).

Le questionnaire distribué lors des analyses sensorielles se trouve dans l'annexe 11.

CHAPITRE 2 : RESULTATS ET ANALYSES

2.1. Poudre de marc de pommes

2.1.1. Séchage

Séchage à l'étuve

Différents paramètres ont été étudiés afin d'optimiser ce séchage. La figure 45 met en évidence l'évolution de la teneur en humidité du marc en fonction du temps. Le marc a donc été séché 13h30 heures à une température de 80°C. La teneur en humidité désirée de **5%** est obtenue après 10 heures.

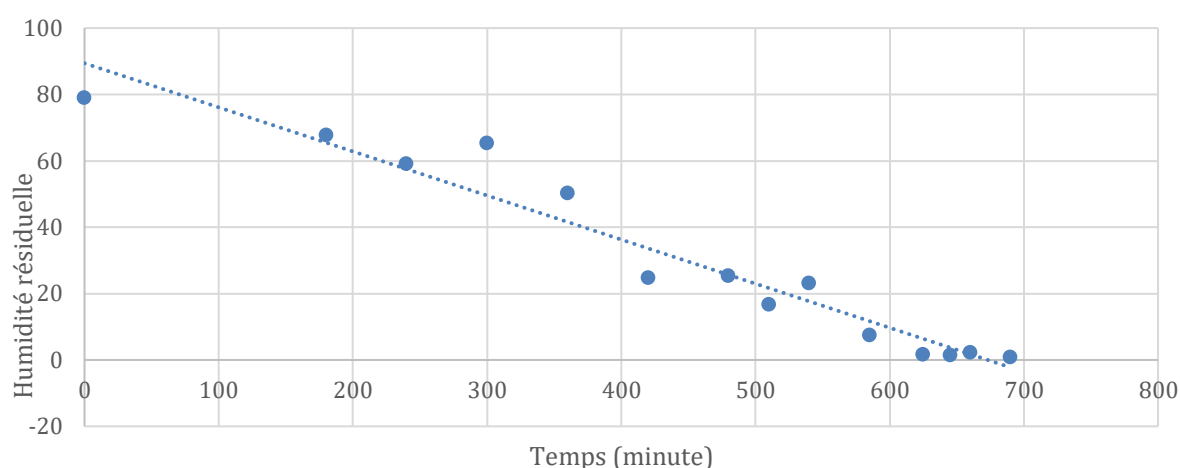


Figure 45 : Évolution de la teneur en humidité en fonction du temps

Séchage au lyophilisateur

Ce deuxième type de séchage a été réalisé afin de comparer la dégradation thermique subie par le marc durant le séchage à l'étuve avec une poudre obtenue par lyophilisation, servant de référence. En effet, le marc lyophilisé donnera une poudre ayant subi un **minimum de dégradations**.

Comparaison des différents types de séchage

Teneur en polyphénols en fonction du temps de séchage :

Différents temps de séchage ont été testés afin de comparer la dégradation subie par les polyphénols. Un séchage par lyophilisation a également été réalisé, celui-ci servira de point de comparaison.

L'acide gallique est utilisé afin d'estimer la quantité de polyphénols présents dans le marc de pommes. Le tableau 31 montre les teneurs en polyphénols des différentes poudres.

N° de séchage	Type de séchage	Lot de pommes	Température (°C)	Temps (minutes)	Concentration en équivalent d'acide gallique (g/kg)
1	Lyophilisation	1	/	/	0,00427
2	Étuve	1	80	1350	0,00257
3	Étuve	1	80	1635	0,00215
4	Étuve	2	80	1440	0,00265
5	Étuve	2	80	1500	0,00249

Tableau 31 : Teneur en équivalent d'acide gallique selon le type et le temps de séchage

Lots de pommes 1 : réception du marc le 9/03/2022

Lot de pommes 2 : réception du marc le 6/04/2022

Les points suivants sont à mettre en évidence :

- Le marc de pommes séché par lyophilisation contient la plus haute concentration en polyphénols, c'est ce qui était attendu.
- L'augmentation du temps de séchage du marc de pommes séché à l'étuve diminue sa concentration en polyphénols.
- La teneur en polyphénols des 2 lots de pommes est différente ce qui explique la non-linéarité des points dans le graphique ci-dessous.

Coloration en fonction du type et du temps de séchage :

Au niveau de la couleur, la poudre lyophilisée semble être d'une coloration plus claire. En effet, la lyophilisation permet de conserver la couleur naturelle du marc. La poudre de marc séché à l'étuve, qui subit une dégradation plus élevée, sera de couleur plus foncée.

Les valeurs de colorimétrie obtenues pour les différentes techniques de séchage sont présentées dans le tableau 32.

N° de séchage	Type de séchage	Lot de pommes	L*	a*	b*
1	Lyophilisation	1	68,84	8,09	22,34
2	Étuve	1	70,41	5,34	19,49
3	Étuve	1	68,53	6,78	22,6
4	Étuve	2	68,31	7,75	26,6
5	Étuve	2	69,83	7,02	25,49

Tableau 32 : Comparaison au colorimètre des poudres lyophilisées et séchées à l'étuve

Lots de pommes 1 : réception du marc le 9/03/2022

Lot de pommes 2 : réception du marc le 6/04/2022

Contrairement à ce qui était attendu, la coloration du marc de pommes lyophilisé n'est pas forcément plus claire, elle se distingue surtout par une couleur tendant plus vers le rouge. Il n'est donc pas possible d'estimer la dégradation des polyphénols par cette méthode.

Temps de séchage à l'étuve :

Bien qu'un temps de séchage de 13h30 soit suffisant pour obtenir l'humidité voulue pour le marc de pommes séché, les qualités organoleptiques de celui-ci ne sont pas satisfaisantes pour les cornets, c'est pour cette raison que les temps réalisés sont plus élevés par rapport à ce qui est montré dans la figure 45.

Conclusion :

Comme vu dans la littérature, l'augmentation en temps du séchage diminue la concentration en polyphénols restant dans les poudres de marc de pommes. En comparaison avec la lyophilisation, 50% des polyphénols présents sont perdus lors du séchage à l'étuve, ce qui est significatif. Cependant, au vu du temps de séchage élevé qui est réalisé, par rapport à ce qui a été trouvé dans la littérature, on aurait pu s'attendre à une diminution plus importante.

Bien que ces résultats soient meilleurs, **la lyophilisation n'est pas une alternative** envisageable pour les raisons suivantes :

- Le temps nécessaire au séchage est d'environ 72h contre des temps de 22 à 28h pour le séchage à l'étuve
- Les quantités limitées réalisables au lyophilisateur par rapport à l'étuve
- La consommation énergétique qui rend la valorisation du marc de pommes moins intéressante d'un point de vue économique et écologique

Le séchage retenu est donc : à l'étuve, durant 24 heures, à 80°C

2.1.2. Broyage

Le rendement du broyage a été étudié pour afin de connaître les valeurs de poudre de marc de pommes obtenues à partir du marc de pommes frais.

Le rendement obtenu, c'est-à-dire la quantité de poudre obtenue à partir du marc frais est de 20%.

2.1.3. Caractérisation

La caractérisation a été réalisée afin de connaître les caractéristiques de la matière première et ainsi connaître les apports en sucres et fibres. La caractérisation sera également utilisée pour obtenir les valeurs nutritionnelles du produit fini.

Doser les taux de sucrose, glucose et fructose avait pour objectif d'ajuster le taux de sucre de la formulation et déterminer la teneur en humidité avait pour objectif d'ajuster la quantité d'eau. Le dosage des polyphénols a été réalisé afin d'estimer la quantité de polyphénols présents dans la poudre de marc de pommes et également de comparer l'effet du séchage sur leur dégradation.

La caractérisation a été réalisée sur les 2 lots de marc de pommes. Elle a été faite sur la poudre afin de pouvoir compléter les valeurs nutritionnelles des ingrédients utilisés lors des formulations.

Les 2 lots testés sont de la variété jonagold venant de chez EVH. Le lot 1 a été récupéré le 9/03/2022 et le lot 2 le 6/04/2022.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 33. Ces résultats sont mis en parallèle avec ceux de l'étude de Zlatanovic.

g/100g	Lot 1	Lot 2	Limite inférieure (Zlatanovic)	Limite supérieure (Zlatanovic)
Protéine	2,78	4,59	3,1	5,5
Lipide	0,36	0,66	1,3	4,3
Glucide	47,81	40,30	48	55
Glucose	7,51	9,87	7,7	16,8
Fructose	24,08	23,76	20	33
Saccharose	16,22	6,66	5,4	9,3
Fibres	35,80	41,97	35	50
Solubles	26,39	31,66	NA	NA
Insolubles	9,41	10,31	NA	NA
Cendre	4,39	3,27	NA	NA
Humidité	8,86	9,21	NA	NA

Tableau 33 : Résultats de caractérisation des lots 1 et 2 et comparaison avec les données de l'étude Zlatanovic

Nous avons comparé ces valeurs avec celles de l'étude de Zlatanovic. Ce tableau est disponible dans l'annexe 2.

La majorité des valeurs sont dans les limites de celles trouvées dans la littérature. En revanche, la teneur en lipides est très faible. Elle varie entre 0,36 et 0,66 g/100g alors qu'elle devrait varier entre 1,3 et 4,3g/100g. Une deuxième valeur s'écarte fortement de la littérature : la teneur en saccharose pour le lot 1. Celle-ci est de 16,22g/100g alors qu'elle devrait se trouver entre 5,4 et 9,3g/100g. Par contre, le lot 2 se retrouve bien dans ces limites. Cette teneur élevée est un avantage au vu du rôle structural qu'a le saccharose.

Veuillez noter que l'étude de Zlatanovic n'utilise pas des pommes de variété jonagold, ce qui peut expliquer ces variations, c'est pourquoi uniquement les valeurs variant fortement sont mentionnées ici.

Nous avons également comparé les valeurs des lots entre elles. **Certaines valeurs varient fortement entre les lots ayant, pour rappel, seulement la date de réception du marc frais qui varie :**

- La teneur en protéines est supérieure de 65% dans le lot 2 par rapport au lot 1
- La teneur en lipides est supérieure de 83% dans le lot 2 par rapport au lot 1
- Les teneurs en glucides sont similaires
- La teneur en saccharose est plus de 2,4 fois supérieure dans le lot 1

Certaines différences sont difficilement explicables étant donné que ce sont 2 lots de la même variété, réceptionnés et traités dans les mêmes conditions. Les teneurs en protéines et en lipides peuvent s'expliquer par une différence individuelle, en revanche la différence de la teneur en saccharose est surprenante.

2.1.4. Dénombrement des microorganismes

Le dénombrement des microorganismes (levures, moisissures totales, flore mésophile aérobie totale et bactéries lactiques) a été réalisé afin de s'assurer du respect des normes sanitaires de notre produit. Ces analyses permettent également de comparer les lots de marc de pommes entre eux.

Les limites fixées pour le nombre de microorganismes sont de 10^5 g CFU/g pour les germes totaux et de 10^4 CFU/g pour les levures et moisissures. Les valeurs des 2 lots de marc de pommes sont reprises dans le tableau 34.

	Lot 1	Lot 2
	CFU/g	CFU/g
Germes totaux	5000	4300
Bactéries lactiques	0	0
Levures et moisissures	910/0	810/60

Tableau 34 : Dénombrement des microorganismes dans les lots 1 et 2 de marc de pommes

Les 2 échantillons se retrouvent dans les normes fixées. Cependant, en ce qui concerne les levures et moisissures les résultats obtenus se rapprochent de la limite, il s'agit donc d'un point à surveiller.

2.1.5. Capacité de rétention d'eau

La capacité de rétention d'eau évolue en fonction de sa granulométrie comme repris dans l'étude de Sudha, M. L. (2011) et sont du même ordre de grandeur. Les capacités de rétention d'eau des poudres de granulométrie 250, 500 et 750 microns ont été testées et sont présentées dans le tableau 35.

Granulométrie (µm)	Capacité de rétention d'eau (g d'eau / g de marc de pommes)
250	2,71
500	3,00
750	3,39

Tableau 35 : Capacités de rétention d'eau en fonction des granulométries des poudres

2.2. Cornets

2.2.1. Cornets de référence

Les cornets de référence ont été analysés afin de s'assurer qu'ils correspondent aux valeurs trouvées dans la littérature.

Les données des analyses de craquement réalisées sur les cornets de références sont reprises dans le tableau 36.

Références	Force de rupture (N)	Nombre de pics
Boni	17,79	100,2
Le Vésuve	46,42	30,67
Miran	13,95	97,67

Tableau 36 : Données relatives à la texture des cornets de références

Nous voyons que pour les cornets de référence, Le Vésuve est très largement supérieur aux 2 autres, qui se retrouvent dans des valeurs similaires.

Les cornets Boni et Miran comprennent un grand nombre de pics et ont des graphiques présentant des courbes chaotiques. Pour évaluer la croustillance des formulations réalisées, ceux-ci seront pris comme références. Une courbe similaire à celle des cornets Le Vésuve, donne des cornets très résistants mais présentant très peu de croustillance à la mâche. Il faut donc éviter ce type de graphique pour les cornets réalisés. Les 3 graphiques sont repris sur les figures 46, 47 et 48.

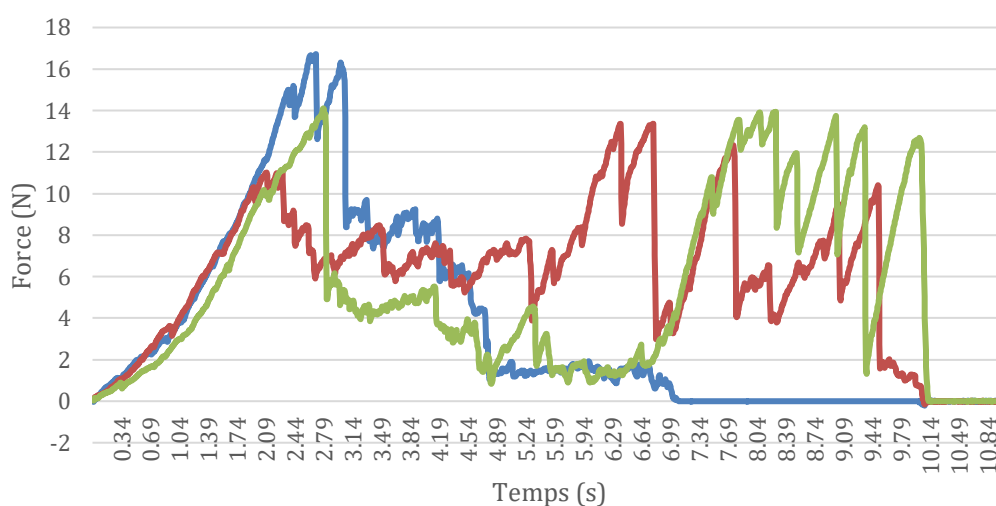


Figure 46 : Graphique de la force en fonction du temps des cornets de références Miran

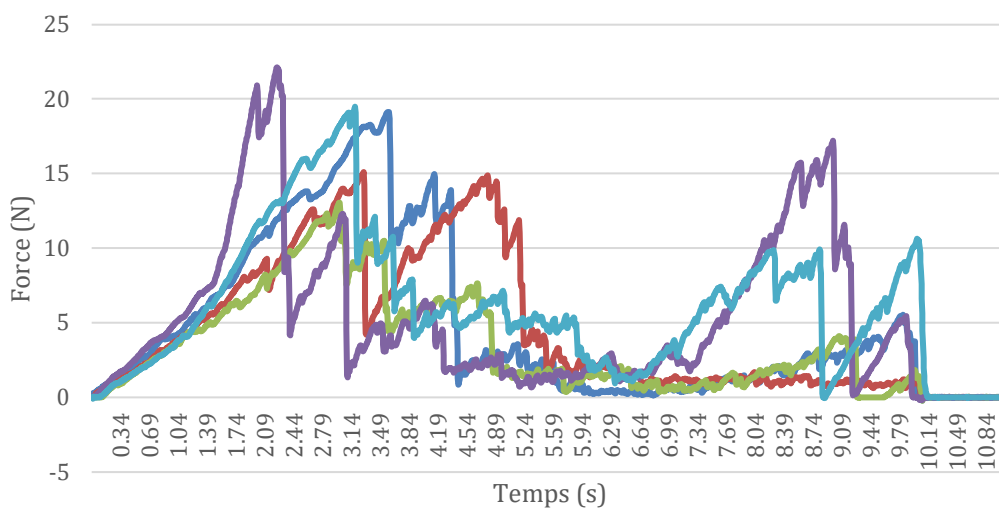


Figure 47 : Graphique de la force en fonction du temps des cornets de références Boni

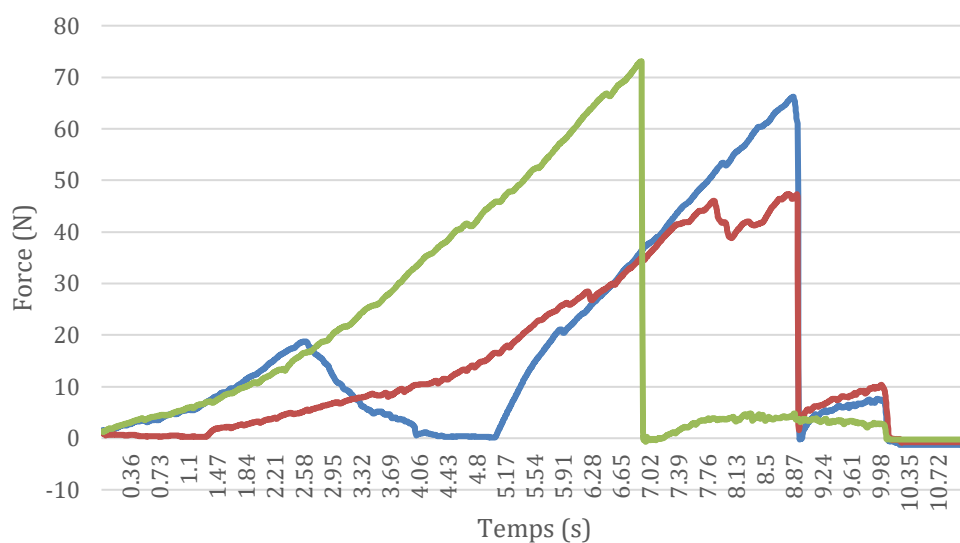


Figure 48 : Graphique de la force en fonction du temps des cornets de références Le Vésuve

L'activité de l'eau

L'activité de l'eau est utilisée pour évaluer la conservation du produit. L'activité de l'eau des cornets de références est reprise dans le tableau 37.

Références	Activité de l'eau (A_w)
Boni	0,256
Le Vésuve	0,417
Miran	0,353

Tableau 37 : Activité de l'eau des cornets de référence

L'humidité résiduelle

L'humidité résiduelle est utilisée pour évaluer la cuisson du produit. Les valeurs des cornets de références sont présentées dans le tableau 38.

Références	Humidité résiduelle (%)
Boni	3,40
Le Vésuve	3,31
Miran	3,31

Tableau 38 : Humidité résiduelle des cornets de référence

Conclusion des analyses des cornets de référence

Les résultats des cornets de référence correspondent aux valeurs trouvées dans la littérature, et pourrons donc être utilisés comme comparaison avec nos formulations

2.2.2. Formulation de cornets avec gluten

Plusieurs cornets avec gluten ont été réalisés. Leurs formulations sont basées sur des cornets retrouvés dans le commerce notamment ceux de la marque Boni et de la marque Delhaize.

Afin de simplifier les tableaux, les cornets réalisés sont identifiés à l'aide de lettres :

- **A** : cornets avec gluten
- **B** : cornets avec gluten avec une substitution de 47% de la farine de blé par de la poudre de marc de pommes
 - ⇒ Le cornet contient 20% de poudre de marc de pommes au total

Les différentes formulations sont reprises dans le tableau 26.

Identification du cornet	Composition du cornet	Force de rupture (N)	Nombre de pics
A	Avec gluten	18,45	97,00
B	Avec gluten et marc	17,05	97,67

Tableau 39 : Données relatives à la texture des cornets avec gluten

Les résultats obtenus pour ces 2 formulations sont proches bien que le cornet A avec gluten obtient les meilleurs résultats.

L'ajout d'amidon au cornet B avec gluten et marc a été testé afin de voir s'il était possible de se rapprocher des valeurs obtenues pour la formulation A. Malgré plusieurs formulations modifiant les teneurs en farine de blé et d'amidon, aucune formulations n'a pu plus se rapprocher des valeurs obtenues pour le cornet B avec gluten et marc.

L'humidité résiduelle de ces 2 formulations est reprise dans le tableau 40.

Identification du cornet	Composition du cornet	Humidité résiduelle (%)
A	Avec gluten	5,55
B	Avec gluten et marc	2,84

Tableau 40 : Humidité résiduelle des formulations A et B

L'ajout de poudre de marc de pommes permet d'obtenir des teneurs en humidités plus basses et se rapprochant plus des valeurs recherchées. La formulation des cornets B avec gluten et marc obtient même une teneur en humidité plus faible que les cornets de référence.

Plusieurs taux de **substitution de farine de blé par de la poudre de marc de pommes** ont également été testés pour les cornets avec gluten afin de voir la limite de substitution. Le pourcentage de substitution correspond à la teneur en masse de la poudre de marc de pommes dans le cornet.

Pourcentage de substitution (%)	Force de rupture (N)	Nombre de pics
25	26,82	64,67
30	23,54	81,67
35	25,42	90,00

Tableau 41 : Données relatives à la texture des cornets avec gluten à différents taux de substitution

Des substitutions supérieures ont été testées mais leurs textures ne sont plus acceptables pour un cornet. En effet, à partir de **35%** de substitution de la farine de blé par la poudre de marc de pommes, les cornets se **déforment** sous la pression, ne donnant aucune valeur exploitable.

Le tableau 42 met en relation la teneur en humidité avec le pourcentage de substitution de farine de blé par de la poudre de marc de pommes. **Cette teneur en humidité augmente avec l'augmentation de la substitution et est trop élevée.**

Teneur en poudre de marc de pommes (%)	Humidité résiduelle (%)
25	4,39
30	4,80
35	4,35
40	4,86
45	5,35
50	5,67
60	6,25

Tableau 42 : Humidité résiduelle en fonction du pourcentage de substitution de farine de blé par de la poudre de marc de pommes

Au vu des bons résultats obtenus par les cornets avec 25% de substitution autant sur le point de la texture que sur les propriétés organoleptiques, le dosage de la quantité d'eau et de sucre a été modifié pour cette formulation.

En effet, la poudre de marc de pommes contient des sucres simples, contrairement à la farine. Afin d'obtenir une teneur en sucre similaire au cornet avec gluten sans poudre de marc de pommes, le sucre a été diminué par rapport à la teneur en sucre retrouvée dans la littérature, qui est d'environ 45% selon l'étude de Zlatanovic (2019a).

Une conséquence de l'augmentation de la poudre de marc de pommes est l'augmentation de la viscosité de la pâte, qui une fois trop importante, empêche la pâte de s'étaler correctement sur le gaufrier et de ce fait entraîne une cuisson non homogène.

Une formulation finale **C** a donc été testée en modifiant ces 2 paramètres (sucre et eau), les résultats obtenus sont repris dans le tableau 43.

Identification du cornet	Composition du cornet	Force de rupture (N)	Nombre de pics
C	Avec gluten et marc	19,74	97,00

Tableau 43 : Données relatives à la texture des cornets de la formulation C

Le cornet C avec gluten et marc obtient de bons résultats et présente un graphique (figure 49) de la pression en fonction du temps correspondant à ce qui est recherché pour la solidité et la croustillance.

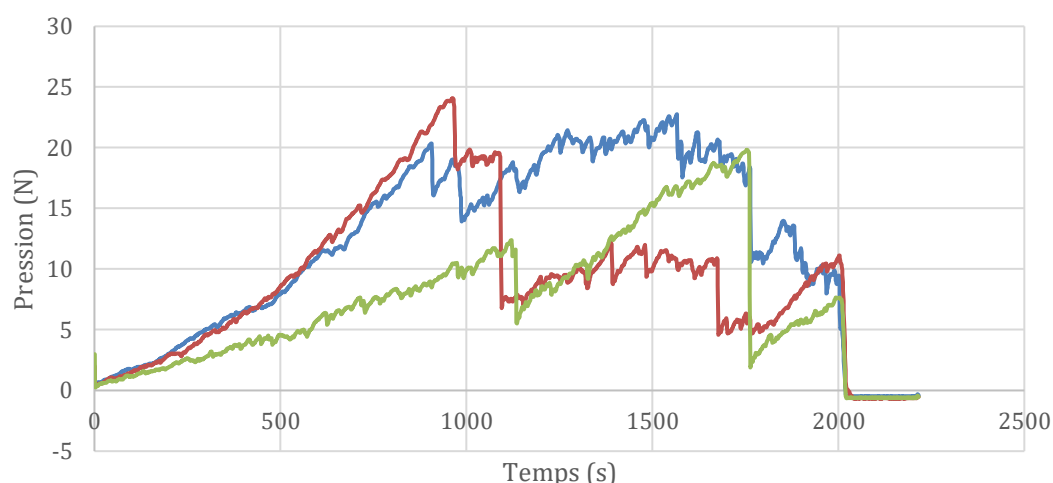


Figure 49 : Graphique de la force en fonction du temps de la formulation C (avec gluten avec marc)

L'humidité résiduelle des cornets C avec gluten et marc est reprise dans le tableau 44.

Formulation 25%	Humidité résiduelle (%)
C	4,63

Tableau 44 : Humidité résiduelle de la formulation C

Cette dernière formulation (cornets C avec gluten et marc) satisfaisant les attentes d'un cornet de par ses propriétés de texture et organoleptiques, elle est choisie comme formulation finale pour les cornets avec gluten, elle constituera également la base de la formulation sans gluten avec la poudre de marc de pommes.

2.2.3. Formulation de cornets sans gluten

2.2.3.1. Cornets sans gluten avec substitution totale de la farine par du marc de pommes

Comme montré dans le tableau 41, pour pouvoir augmenter la teneur en poudre de marc de pommes dans les cornets tout en gardant une texture acceptable, il est nécessaire de modifier la cuisson.

Les gaufrettes ont subi une première cuisson au gaufrier avant de passer au four à chaleur tournante avant d'être roulées. Plusieurs temps de cuisson ont été testés. La cuisson au gaufrier suivi d'une cuisson de 120 secondes dans le four à chaleur tournante à 180°C donne les meilleurs résultats. Les données sont reprises dans le tableau 45.

Identification du cornet	Composition du cornet	Force de rupture (N)	Nombre de pics
D	Substitution totale de la farine par du marc	14,11	68,00

Tableau 45 : Données relatives à la texture des cornets de la formulation D (tableau 29)

La figure 50 reprend l'évolution de la force en fonction du temps d'un cornet de la formulation **D** (substitution totale de la farine par du marc). Il présente plusieurs variations abruptes de la force, ce qui est recherché pour les cornets.

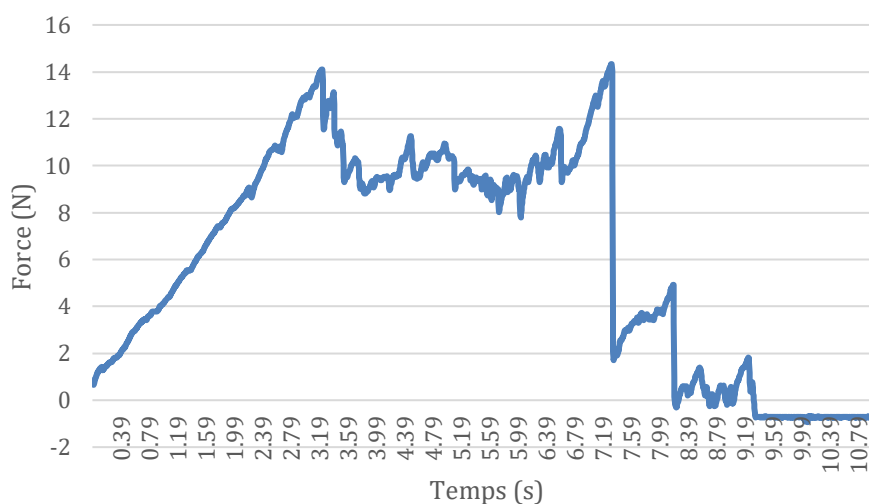


Figure 50 : Données relatives à la texture des cornets de la formulation D

Le tableau 46 reprend la différence d'humidité résiduelle et d'activité de l'eau entre une simple cuisson au gaufrier et une double cuisson au gaufrier et au four des cornets :

Cornet D substitution totale	Humidité résiduelle (%)	Activité de l'eau
Gaufrier	4,65	0,376
Gaufrier + four	1,20	0,294

Tableau 46 : Comparaison d'une simple et d'une double cuisson de la formulation totale

2.2.3.2. Cornets sans gluten avec substitution partielle de la farine par de la poudre de marc de pommes

La formulation C, correspondant aux cornets C avec gluten et marc, est utilisée comme base pour la formulation sans gluten avec poudre de marc de pommes. La farine de blé y a été remplacée par un mélange de farine de maïs et de sarrasin.

Les cornets sont réalisables mais présentent quelques imperfections au niveau de leurs textures. L'ajout de gomme de guar a été testé pour pallier à ce problème. Les résultats sont repris dans le tableau 47.

	Force de rupture (N)	Nombre de pics
Avec guar	11,69	84,06
Sans guar	10,16	75,71

Tableau 47 : Données relatives à la texture de cornets sans gluten, avec et sans gomme de guar

L'analyse statistique ne montre pas de différence significative entre les cornets avec et sans guar malgré la différence de moyenne. Les calculs sont repris dans l'annexe 12.

L'absence de la gomme de guar entraîne une baisse de la force de rupture. La pâte est également moins homogène et moins cohésive, elle ne donne pas le même rendu à la cuisson et laisse apparaître des trous dans le cornet. L'amélioration apportée par la gomme de guar est significative il a donc été décidé la garder pour la formulation finale sans gluten.

Les données d'humidité résiduelle et d'activité de l'eau ont également été testées et sont reprises dans le tableau 48.

	Humidité résiduelle (%)	Activité de l'eau
Avec guar	2,07	0,384
Sans guar	1,97	0,365

Tableau 48 : Humidité résiduelle et activité de l'eau en fonction de l'ajout de gomme de guar

Les résultats obtenus pour ces deux formulations, avec et sans guar, sont du même ordre de grandeur que les cornets de référence.

Étude de l'utilité des additifs utilisés

Étant donné que nous nous sommes basés sur des recettes industrielles pour la formulation de nos cornets et au vu de nos recherches nous avons choisi d'introduire dès le début, certains additifs qui nous semblaient indispensables dans la production des cornets industrialisables. Une fois la formulation finale obtenue, nous voulions nous assurer de leur utilité en retirant les additifs un à un :

▪ Retrait de la lécithine

La formulation sans lécithine donne des gaufrettes roulables mais rend l'ouverture du gaufrier difficile, laissant des résidus sur les plaques de cuisson. Ces résidus rendent les cuissons suivantes de plus en plus compliquées. Comme expliqué dans la partie concernant les ingrédients, la lécithine a, dans notre cas, un rôle d'aide au démoulage plutôt qu'émulsifiant.

▪ Retrait du bicarbonate de magnésium

Tout comme l'absence de lécithine, le retrait du bicarbonate de magnésium entraîne une ouverture très difficile du gaufrier et laisse des résidus importants sur celui-ci. Son absence donne également des cornets ayant des graphiques de la force en fonction du temps relativement rectilignes, ce qui est à éviter. Pour les mêmes raisons nous jugeons son utilisation indispensable. Comme expliqué dans la partie concernant les ingrédients, le bicarbonate de magnésium est là pour faciliter le démoulage des gaufrettes.

2.2.4. Tests de vieillissement

Les tests de vieillissement permettent de connaître l'évolution des propriétés du produit dans le temps.

Plusieurs tests sont effectués :

- Le texturomètre pour évaluer la variation de texture au cours du temps
- L'humidité résiduelle et l'activité de l'eau pour s'assurer de l'étanchéité de l'emballage et l'innocuité du produit au cours du temps

2.2.4.1. « Cornets 26% »

Le tableau 49 présente les données texturales en fonction du temps des cornets 26%.

Pour rappel, les « cornet 26 % » correspondent à notre formulation finale : cornet sans gluten dont la poudre de marc de pommes représente 26% de la masse de celui-ci.

Temps (semaines)	Force de rupture (N)	Nombre de pics
0	9,78	84
1	12,18	73
2	8,26	78
3	12,66	81
4	14,88	75
5	10,57	105
6	13,01	85,5
7	13,16	91

Tableau 49 : Évolution des données texturales des cornets 26% en fonction du temps

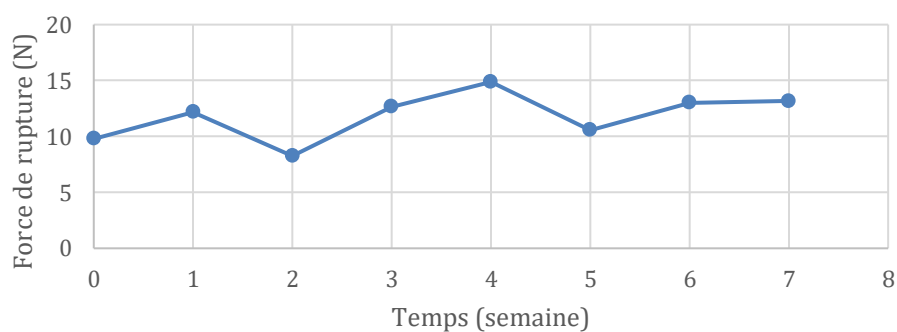


Figure 51 : Force de rupture en fonction du temps des cornets 26% marc de pommes

Les données sont stables au cours des 2 mois de test. Un emballage adapté peut donc permettre leur conservation durant ce temps.

L'analyse statistique a montré des résultats stables au cours du temps pour la force de rupture. Les calculs sont repris dans l'annexe 13.

Les valeurs d'activité de l'eau et d'humidité résiduelle en fonction du temps sont reprises dans le tableau 50.

Temps (semaines)	Activité de l'eau (A_w)	Humidité résiduelle (%)
0	0,415	3,61
1	0,365	3,80
2	0,396	2,51
3	0,417	5,41
4	0,413	4,13
5	0,428	4,24
6	0,381	4,77
7	0,406	5,22

Tableau 50 : Activité de l'eau et humidité résiduelle en fonction du temps des cornets 26%

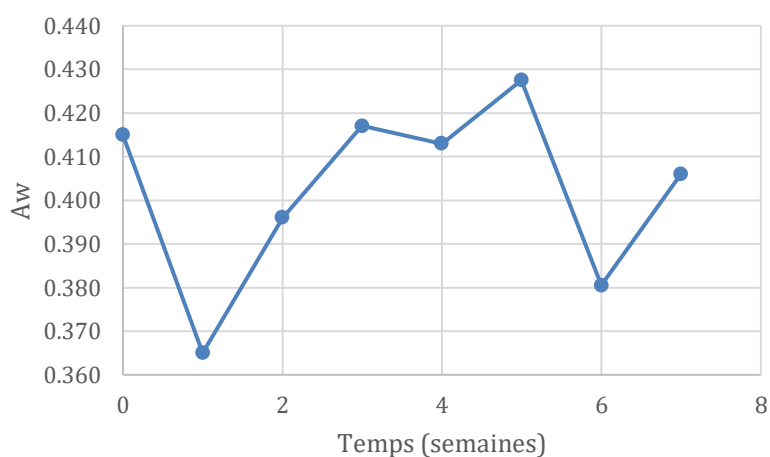


Figure 52 : Activité de l'eau en fonction du temps des cornets 26%

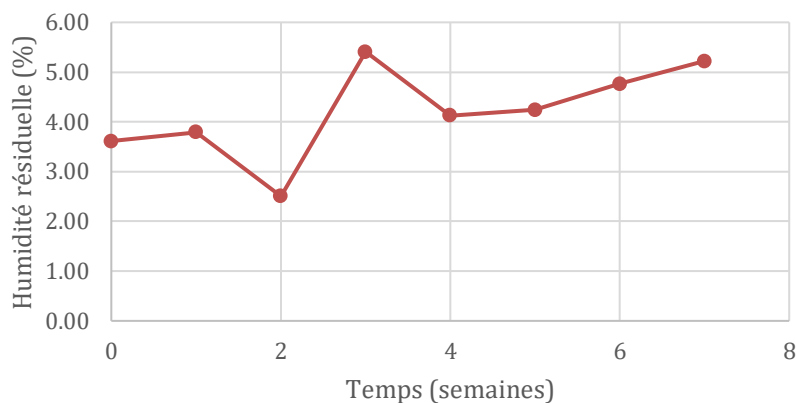


Figure 53 : Humidité résiduelle en fonction du temps des cornets 26%

Nous constatons que l'activité de l'eau et l'humidité résiduelle restent stables durant toute la durée du test de vieillissement.

2.2.4.2. « Cornets 63% »

Pour rappel, les « cornets 63 % » correspondent aux cornets exempts de farine : cornet sans gluten dont la poudre de marc de pommes représente 63 % de la masse de celui-ci.

Les données texturales en fonction du temps des cornets 63% sont reprises dans le tableau 51.

Temps (semaines)	Force de rupture (N)	Nombre de pics
0	7,53	60
1	10,49	17
2	7,48	23
3	12,90	73
4	21,99	61
5	8,75	55
6	9,81	52
7	14,08	71
8	4,66	80

Tableau 51 : Évolution des données texturales des cornets 63% en fonction du temps

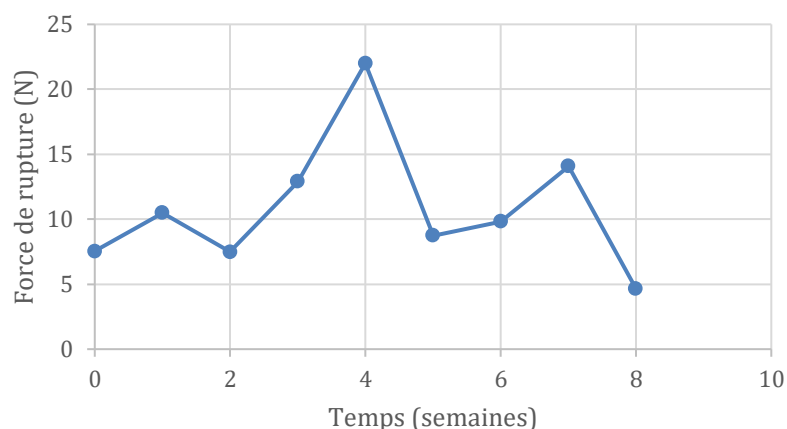


Figure 54 : Force de rupture en fonction du temps des cornets 63% marc de pommes

Les données semblent stables au cours des 2 mois de test. Il y a des variations que nous attribuerons à la variation individuelle des cornets. Un emballage adapté peut donc permettre la conservation des cornets au cours du temps.

L'analyse statistique n'a pas prouvé la stabilité de la force de rupture en fonction du temps. Les calculs sont repris dans l'annexe 14.

Les valeurs d'activité de l'eau et d'humidité résiduelle en fonction du temps sont reprises dans le tableau 52.

Temps (semaines)	Activité de l'eau (Aw)	Humidité résiduelle (%)
0	0,385	1,14
1	0,283	1,58
2	0,302	2,56
3	0,360	1,80
4	0,406	2,86
5	0,315	2,53
6	0,335	2,41
7	0,296	3,42
8	0,382	4,48

Tableau 52 : Activité de l'eau et humidité résiduelle en fonction du temps des cornets 63%

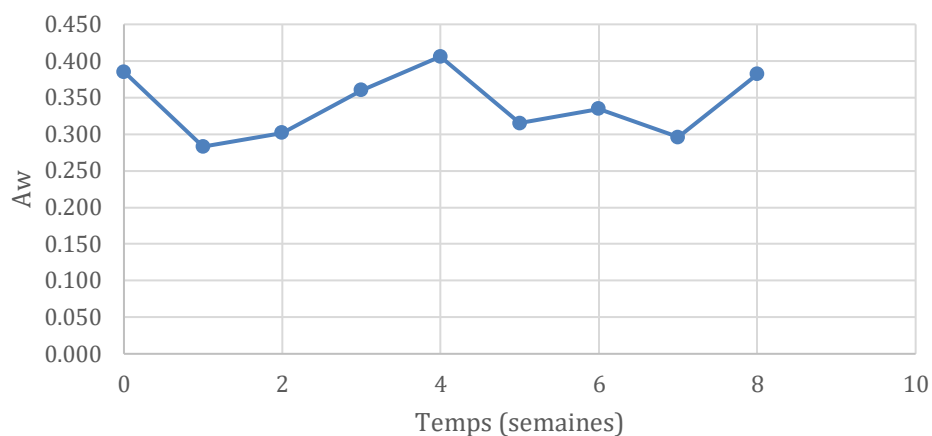


Figure 55 : Activité de l'eau en fonction du temps des cornets 63%

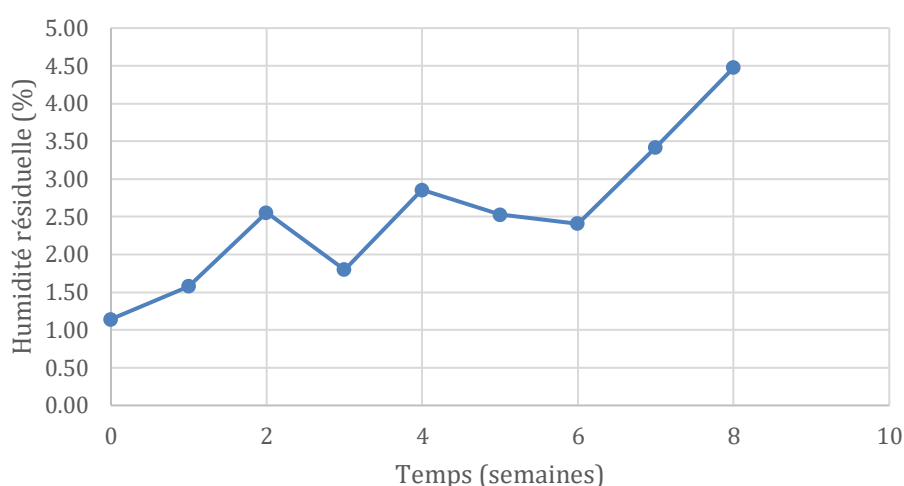


Figure 56 : Humidité résiduelle en fonction du temps des cornets 63%

Nous constatons que l'activité de l'eau reste stable au cours du temps. Par contre, l'humidité résiduelle augmente jusqu'à se rapprocher des valeurs obtenues pour le cornet « 26% ».

2.3. Déclaration nutritionnelle

Les valeurs nutritionnelles du produit fini ont été calculées sur base des valeurs nutritionnelles des ingrédients entrant dans la formulation, disponibles dans les annexes 5 à 11, ainsi que sur la caractérisation de la poudre de marc de pommes, disponible dans le tableau 29. Les valeurs du lot 1 (9/03/2022) ont été utilisées.

Conformément à notre cahier des charges, la déclaration nutritionnelle est exprimée par 100 grammes de produit ainsi que par portion et inclut les points présentés dans le tableau 53.

	/100g	/1 cornet
Énergie (kJ)	1392,52	231,37
Énergie (kcal)	331,82	55,13
Matières grasses (g)	4,56	0,76
Acides gras saturés (g)	0,63	0,11
Glucides	75,39	12,53
Sucres (g)	36,52	6,07
Fibres alimentaires (g)	11,35	1,89
Protéines (g)	4,43	0,74
Sel (g)	0,33	0,06

Tableau 53 : Valeurs nutritionnelles du produit

Le tableau 54 compare les valeurs nutritionnelles de notre produit avec les produits concurrents.

	26% marc de pommes	Le Vésuve (avec gluten)	Miran (sans gluten)
	/100g	/100g	/100g
Énergie (kJ)	1392,52	1700,00	1700,00
Énergie (kcal)	331,82	401,00	406,00
Matières grasses (g)	4,56	3,80	4,10
Acides gras saturés (g)	0,63	1,90	2,20
Glucides	75,39	84,00	84,00
Sucres (g)	36,52	29,00	30,00
Fibres alimentaires (g)	11,35	Pas d'information	2,80
Protéines (g)	4,43	7,50	5,90
Sel (g)	0,33	0,40	0,39

Tableau 54 : Comparaison des valeurs nutritionnelles

Au niveau de l'apport calorique, notre produit est du même ordre de grandeur que les produits concurrents, qu'ils soient avec ou sans gluten.

Au niveau des fibres, notre produit en a un apport nettement supérieur à celui des cornets Miran sans gluten. Selon le règlement N°1924/2006 du parlement européen, le produit bénéficie de l'appellation « **riche en fibres** » car il dépasse la valeur de 6 grammes de fibres par 100 grammes.

2.4. Analyses sensorielles

Notre analyse sensorielle a suivi une **approche hédonique** afin de savoir si les consommateurs d'une part, acceptent notre produit, et d'autre part s'ils le préfèrent ou non aux autres cornets existants sur le marché et comparables.

Les tests ont pour objectif de vérifier le respect de notre **cahier des charges** et de répondre à différentes questions :

- Puisque nous créons un nouveau produit, nous voulons savoir si celui-ci sera **accepté** par les consommateurs.
- Nous voulons comparer notre formulation finale de cornet à des produits existants et déjà acceptés par les consommateurs et savoir si notre produit est préféré, équivalent ou moins apprécié.
- Nous voulons également connaître l'appréciation des consommateurs de notre « cornet 63 % ».

Soixante-trois personnes ont participé à l'analyse sensorielle, rendant donc celle-ci valable puisqu'il nous fallait minimum 60 personnes. La répartition hommes/femmes ainsi que la répartition des âges est illustrée dans le tableau 55. Il y a donc eu 36 femmes et 27 hommes. Les âges s'étendent de moins de 18 ans à plus de 65 ans. La répartition est illustrée dans la figure 57.

Genre/âges	< 18 ans	18 ans - 25 ans	26 ans - 35 ans	36 ans - 45 ans	46 ans - 55 ans	56 ans - 65 ans	> 65 ans	Total général
F		8	9	4	5	8	2	36
H	1	8	8	3	2	4	1	27
Total général	1	16	17	7	7	12	3	63

Tableau 55 : Distribution des âges et des genres des testeurs

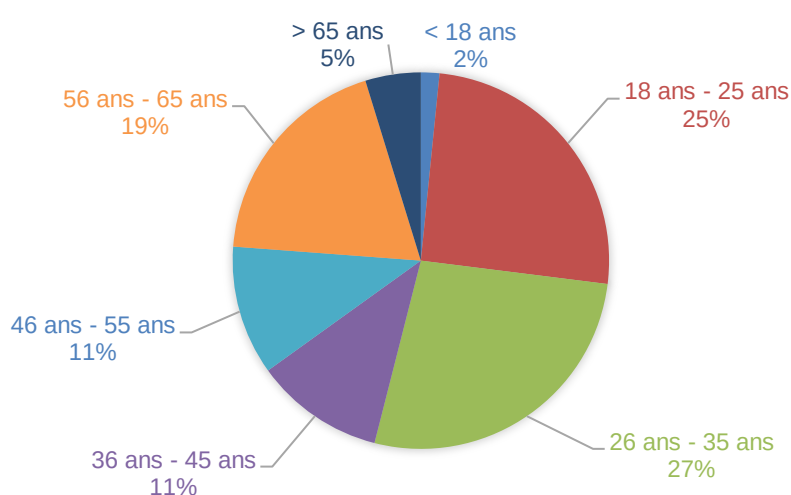


Figure 57 : Répartition des âges des testeurs

Le tableau 56 présente les moyennes des notes obtenues pour les 4 cornets étudiés pour 5 caractéristiques, afin de savoir si les objectifs fixés dans le cahier des charges ont été atteints.

	MOYENNE COULEUR	MOYENNE TEXTURE	MOYENNE ODEUR	MOYENNE GOÛT	MOYENNE CROUSTILLANCE
VESUVE	4,0	4,1	4,3	4,2	4,5
MIRAN	4,3	4,1	3,3	3,9	4,5
« Cornet 26% »	3,8	4,2	3,5	4,0	4,2
« Cornet 63% »	3,1	3,8	3,5	3,4	2,9

Tableau 56 : Moyenne des notes obtenues par cornet et par caractéristique

Note : 1 = Très désagréable ; 2 = Plutôt désagréable ; 3 = Ni désagréable, ni agréable ; 4 = Plutôt agréable ; 5 = Très agréable

La croustillance

Dans le cahier des charges, nous souhaitons une croustillance similaire ou légèrement inférieure à celle des cornets sans gluten, qui serait acceptable si elle n'est pas en dessous de 0,5 point des valeurs des cornets concurrents. **Cet objectif est pleinement atteint puisque notre cornet 26% obtient une note de 4,2/5.** Il est donc jugé « plutôt agréable », comme le sont les 2 cornets concurrents (note de 4,5/5).

La croustillance du « cornet 63% marc de pommes » est quant à elle jugée de « plutôt désagréable » à « ni désagréable ni agréable ». La deuxième cuisson au four de cette sorte de cornet, réalisée pour améliorer la croustillance n'a donc pas été concluante.

Le goût

Notre cornet final obtient la note la plus élevée pour son goût, de **4,2/5**. Notre **objectif**, qui était d'obtenir un score égal ou supérieur à 3, est donc **atteint**, et le goût de notre cornet est celui **le plus apprécié** par les testeurs.

Le « cornet 63% » a une note est inférieure aux autres (3,4/5). Son goût est jugé trop prononcé, avec un goût de pomme trop important, parfois même un goût de brûlé, qui dénaturerait le cornet et empiéterait sur la glace qui l'accompagne. Certains testeurs disent cependant apprécier son goût mais en tant que biscuit.

L'odeur

Le cornet 26% obtient une note de 3,5/5. L'odeur est donc préférée par rapport à un cornet sans gluten (Miran). Cependant, les testeurs préfèrent l'odeur des cornets du Vesuve, qui sentent la vanille et qui leur rappelle l'odeur d'un cornet « classique » auquel ils sont habitués. Nous pourrions retravailler notre formulation finale en y intégrant par exemple de la vanilline gousse de vanille séchée comme l'a suggéré un testeur.

La texture

Au niveau de la texture, **le cornet 26% obtient la meilleure note (4,2/5)**, légèrement supérieure aux 2 cornets industriels.

La couleur

Dans notre cahier des charges, nous ne voulions pas d'une coloration trop sombre pour ne pas lui donner une impression de « brûlé », ce qui est donc évité. Cependant le cornet 26% obtient une note pour sa couleur légèrement **inférieure** à celles des 2 cornets industriels.

Certains testeurs apprécient justement cette couleur plus sombre, leur donnant une impression d' « artisanal ».

Par contre, le « cornet 63% » n'est quant à lui pas accepté pour sa couleur qui est trop sombre, faisant penser à une sur-cuisson.

Les tableaux 57 et 58 illustrent quel a été le cornet le plus apprécié et inversement.

Cornet	Nombre de personnes
« Cornet 26% »	28
MIRAN	21
VESUVE	10
« Cornet 63% »	4
Total général	63

Tableau 57 : Cornet préféré des testeurs

Cornet	Nombre de personnes
« Cornet 63% »	46
« Cornet 26% »	1
MIRAN	4
VESUVE	12
Total général	63

Tableau 58 : Cornet le moins apprécié des testeurs

À la question « **quel cornet aimez-vous le plus ?** », il s'agit de **notre cornet 26% qui termine le plus grand nombre de fois en première position**. Globalement, les consommateurs l'apprécient donc plus qu'un cornet industriel, avec ou sans gluten.

Les commentaires laissés par ceux préférant notre cornet 26% sont :

- Très bon équilibre et combinaison goût/texture
- Excellente croustillance, ne s'effrite pas
- Agréable tenue en main
- Agréable couleur
- Agréable goût de pommes compatible avec de la glace, objectif du cahier des charges.

Les commentaires laissés par ceux préférant les cornets Miran et Le Vesuve sont :

- Son goût sucré et vanillé de cornet classique. En effet, les cornets du Vesuve sont ceux les plus retrouvés chez les glaciers et donc correspondant à ce que le consommateur est habitué à avoir.
- Son croustillant
- Sa couleur dorée

4 personnes ont préféré les « cornets 63% » pour son goût mais disent que la texture est à améliorer. En effet le caractère croustillant attendu d'un cornet ne s'y retrouve pas.

À la question « **quel cornet aimez-vous le moins ?** », c'est le « cornet 63% » qui termine le plus grand nombre de fois en première position. Les critiques faites sont les suivantes :

- Goût nouveau nécessitant un temps d'adaptation
- Goût trop prononcé et goût de pomme trop important
- Goût parfois jugé désagréable et de brûlé
- Texture pas assez croustillante et trop compact le rendant résistant en bouche et à mâcher
- Couleur trop foncée rappelant celle d'un produit trop cuit
- Taille trop petite

Cependant certains apprécient ce cornet justement pour sa couleur foncée faisant « biscuit » et naturelle et pour son goût de pommes. Ce cornet conviendrait donc mieux en tant que biscuit et non en tant que cornet.

Les critiques du cornet du Vesuve et du Miran sont semblables et sont : banal, trop sucré, ayant un goût écœurant de vanille, laisse l'impression de "manger du vide, de l'air", fade, commun, artificiel, faible goût et sans intérêt, texture en bouche pas agréable.

La dernière question du questionnaire se rapportait à la détection de l'arôme de pomme. Il y en avait donc dans nos deux cornets. La proportion de détection est reprise dans le tableau 59.

Détection	Pourcentage de détection global	Pourcentage de détection « cornet 63% »	Pourcentage de détection « cornet 26% »	Pourcentage de détection Vesuve	Pourcentage de détection Miran
Non	9,52%	0%	0%	0%	0%
Oui	90,48%	87%	70%	2%	3%
Total général	100,00%	87%	70%	2%	3%

Tableau 59 : Détection de l'arôme de pommes dans les différents cornets

L'arôme de pomme se détecte dans 87% des cas dans le « cornet 63% » marc de pomme et dans 70% des cas dans le « cornet 26% » marc de pomme. Nous n'avions pas d'objectif quant à la détection, excepté que le goût de pomme ne soit pas dérangeant.

Dans les annexes de 4 à 10, vous pouvez trouver d'avantages de détails sur cette analyse, et plus précisément sur les classements des cornets selon différents critères.

Conclusion de l'analyse sensorielle

« CORNET 26% »

L'étude des 5 caractéristiques individuellement nous révèle les points suivants :

- La note obtenue pour le goût est très bonne et est la plus appréciée.
- La note obtenue pour la texture est très bonne et est la plus appréciée.
- La croustillance est très bonne et au même niveau que les cornets concurrents.
- L'appréciation de la couleur et de l'odeur varie fortement selon les testeurs :
 - o Sa couleur plus foncée est appréciée car donne une impression d'artisanale et est dépréciée car s'éloigne trop de l'image du cornet « classique ».
 - o Sa légère odeur de pommes est appréciée par certains et dépréciée par ceux qui recherchent les arômes classiques telle que la vanille.

Ce cornet termine en première position à la question de la préférence principalement pour son goût, sa croustillance et sa texture. Cependant, le cornet Miran sans gluten est également apprécié par les testeurs qui peuvent chercher un produit se rapprochant de ce qu'ils connaissent, surtout concernant la couleur du cornet ainsi que pour l'arôme de vanille. Rappelons que le cornet Miran est très peu disponible sur le marché et qu'il ne se retrouve pas chez les glaciers.

De manière plus visuelle, voici un tableau résumant les objectifs atteint et ceux à améliorer :

Caractéristiques	Atteint	A améliorer
Goût		
Croustillance		
Texture		
Couleur		
Odeur		
Tenue en main		

Pour conclure, le cornet 26% répond pleinement à l'aspect « goût » du cahier des charges.

« CORNET 63% »

Le cornet 63% **ne répond pas à notre cahier des charges**, de par son odeur prononcée, sa couleur sombre, son goût rappelant trop la pomme, ses dimensions plus petites qu'un cornet classique et sa texture manquant de croustillant. En effet, ces caractéristiques ne correspondent pas à ce qu'un consommateur attend d'un cornet.

Cependant, cette formulation pourrait mener à la fabrication d'un **biscuit** où la totalité de la farine serait substituée par de la poudre de marc de pommes. Les gammes de textures et couleurs varient plus dans le cas d'un biscuit. Une couleur plus sombre ne serait pas dérangeante. De plus, les commentaires des testeurs par rapport au goût du ce cornet étant positifs, il serait intéressant de développer ce produit.

CHAPITRE 3 : PACKAGING

3.1. Emballage

L'emballage proposé premièrement (figure 36) a été revu afin de répondre au mieux au cahier des charges. Le principal manquement de ce premier emballage était l'écoconception qui n'était pas respectée au mieux. Ce deuxième emballage a donc pour objectif d'améliorer celle-ci en réduisant la quantité de matériaux utilisés.

Design

Le design consiste en une boîte en carton classique de dimensions 260mmx180mmx200mm. Son fond contient 11 socles qui soutiennent chacun une pile de 5 cornets. Une boîte contient donc 55 cornets. Les socles sont disposés en quinconce entre eux.

Chaque pile est soutenue :

- À sa base : par un socle qui a la forme d'un cône tronqué
- Dans sa partie supérieure : par une plaque en carton perforée disposée parallèlement au fond de la boîte. Cette plaque possède autant de trou qu'il y a de colonnes, et est prédécoupée afin de pouvoir séparer chaque rangée entre elles.

Le but de la plaque perforée est de pouvoir libérer des rangées de piles de cornets sans devoir retirer la plaque en entier. Cet emballage se veut pratique et sera utile si un glacier décide de prendre les cornets directement dans la boîte.

L'annexe 15 présente le développement à l'échelle de la boîte.

Chaque colonne de cornets sera emballée individuellement dans un sachet plastique.

La disposition permet de gagner du volume occupé par rapport à un alignement des socles (comme réalisé dans le premier projet d'emballage). Dans cet emballage il y a 65 cornets pour 200x270x180mm³, donc 0,00668 cornets/cm³. Pour le premier projet, il y avait 60 cornets pour 265x255x200mm³, donc 0,00444 cornets/cm³.

Sorte de cornet	Cornet / cm ³
Premier projet	0,00444
Second projet	0,00668
Miran	0,00280
Le Vésuve	0,00682

Tableau 60 : Comparaison des volumes occupés par cornets

Nous remarquons donc une amélioration de notre second projet par rapport au premier. Par rapport à la concurrence, les résultats sont meilleurs que les emballages des cornets sans gluten Miran (6 cornets pour 205x55x190mm³) mais restent inférieurs que les Le Vésuve (96 cornets pour 235x235x255mm³).

Nous acceptons ces résultats inférieurs car nous voulons utiliser des conditionnements plus petits pour des raisons de conservation. Les cornets sans gluten seront normalement moins vendus que des cornets traditionnels, il est donc préférable d'ouvrir des conditionnements plus petits afin de s'assurer de la conservation des boîtes entamées.

Choix des matériaux

a) Pour la caisse

La caisse a pour objectif de **protéger** les cornets jusqu'à leur utilisation. Elle doit pouvoir résister aux chocs durant le transport et l'utilisation. Elle doit également pouvoir résister au gerbage durant la palettisation et le stockage. Le **carton ondulé** est donc idéal pour sa grande résistance, sa rigidité et son faible poids. Il permettra également de soutenir les cornets en servant de support par les socles et la plaque en carton perforée.

b) Pour les sachets plastiques

Le sachet plastique est nécessaire pour maintenir les cornets à des valeurs d'activité de l'eau et d'humidité très basses. L'augmentation de ces 2 paramètres peut mener au développement de micro-organismes et à une dégradation des propriétés organoleptiques. Le plastique doit donc avoir de bonnes propriétés barrières contre l'eau. Il doit également permettre de protéger les cornets d'une prise d'odeur ou de goût. Le choix s'est porté sur les **polyhydroxyalcanoates ou PHA**. Ce sont des bioplastiques produits par la fermentation de matières organiques par des bactéries. Ils sont donc « bio-basés » mais également biodégradables (*Bioplastics*, 2022). Il existe plusieurs types de PHA qui varient en fonction de la souche bactérienne utilisée. Les propriétés de ceux-ci peuvent varier fortement d'une souche à l'autre (Masood, 2017 ; Plackett & Siró, 2011).

Le PHA n'a pas été souvent utilisé seul comme emballage de contact avec les aliments, on manque donc d'informations sur des cas de toxicité mais sa décomposition ne produit **aucun composé nocif** pour le milieu (Masood, 2017). Une seule étude a été faite sur la migration de ce type de bioplastique, elle a été faite avec du PHB dans différents types d'aliments, notamment les aliments solides secs ou à faible teneur en humidité dont nos cornets peuvent faire partie. Dans l'étude de Bucci et al. (2007), tous les aliments mis en contact avec du PHA ont présenté une concentration en plastique **inférieure à la limite recommandée** de 8,0 mg/dm² ou 50 mg/kg.

Bien que toujours en voie de développement afin d'améliorer sa production, il existe déjà de nombreuses firmes, et notamment européennes, qui proposent différents types de PHA.

Les PHA présentent cependant certains désavantages :

- Le volume de production reste limité dû à l'utilisation de microorganismes et à la difficulté d'extraire efficacement les molécules d'intérêt de ces microorganismes.
- Le prix est élevé comparé à d'autres matériaux en raison des volumes de production relativement faibles. Le prix du PHA est d'environ 10€/kilo. Un prix élevé de l'emballage sera reporté directement sur le prix de vente total du produit. (Masood, 2017).

Dans le cas où un emballage moins cher devait être utilisé, le choix se porterait sur du **polyéthylène téréphtalate recyclé (rPET)**. Le prix est aux alentours de 1,50€/kilo. Il présente également de très bonnes propriétés barrières contre l'humidité (Léonard, P. ; 2018).

L'**acide polylactique** avait été envisagé et aurait pu convenir pour l'emballage mais son recyclage n'est actuellement pas envisageable contrairement au PHA et au rPET. Bien qu'il soit possiblement recyclable en laboratoire, les stations de recyclage ne sont pas encore subventionnées pour s'en occuper et ils ne sont pas autorisés dans les sacs PMC. Le jour où

des volumes suffisants pourront être acceptés, il pourrait être un candidat comme matériaux pour l'emballage des cornets.

Les matériaux d'emballage utilisés sont résumés dans le tableau 61.

Matériaux	
Caisse	Carton ondulé
Sachet plastique	Polyhydroxyalcanoates (PHA)

Tableau 61 : Matériaux d'emballage

Mise en œuvre de l'emballage

Plusieurs machines pouvant convenir, le choix final se fera majoritairement en fonction de la production et des besoins d'un système manuel, semi-automatique ou automatique.

Dans le cadre d'une petite production, une **filmeuse à cloche manuelle** est préférable (*Filmeuse à cloche Minipack-Torre MINIMA EVO*, 2022).



Figure 58 : Filmeuse à cloche manuelle MINIMA EVO

Elle permet de sertir jusqu'à 300 sachets plastiques par heure et, en comptant 5 cornets par sachet, donnerait un rendement de 1500 cornets par heure. Une filmeuse manuelle à cloche nécessite donc un opérateur constamment présent.

Si une production plus importante est prévue, un système automatique avec des rendements plus élevés sera nécessaire. Le choix s'est porté sur une **ensacheuse horizontale Flowpack** (*Ensacheuse Horizontale Flowpack GSP45 S*, 2022).



Figure 59 : Ensacheuse horizontale Flowpack GSP45 S

Elle permet d'emballer et de sertir jusqu'à 150 emballages par minute, ce qui donnerait un rendement de 45000 cornets par heure. Cette machine ne requiert pas d'intervention manuelle et peut donc être placée dans une ligne de production automatique.

Une ensacheuse verticale n'aurait pas pu être envisagée, au vu de la fragilité que représente les cornets et également pour éviter que ceux-ci n'abiment l'emballage en tombant.

Pour la mise en œuvre du carton, une **plieuse-colleuse** classique suffit pour la production des caisses. Une **découpeuse** sera également nécessaire afin de réaliser les socles et les plaques perforées.

Palettisation

La mise en palette de notre emballage primaire a été simulée par le logiciel Stackbuilder. La palette choisie est une **palette EPAL** de dimensions 1200x800x144mm. Le résultat optimal obtenu par le logiciel est présenté dans la figure 60.

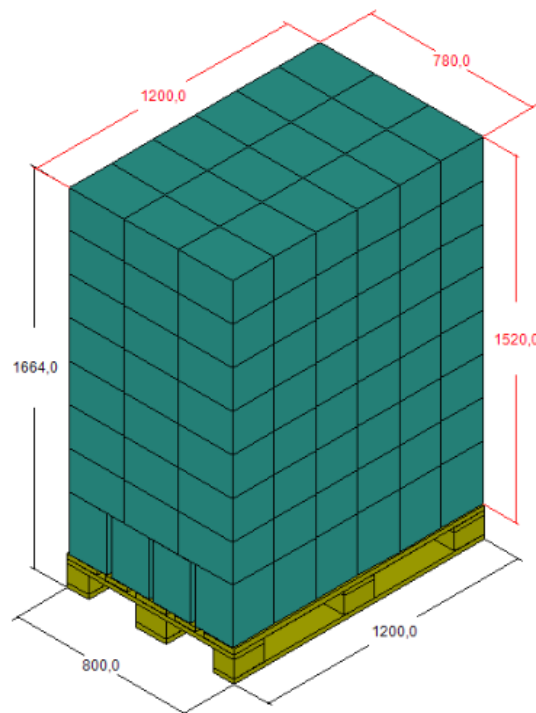


Figure 60 : Simulation de la palettisation par le logiciel Stackbuilder

Les caisses sont reprises sur 8 couches. La première couche, celle à la base et en contact avec la palette, contiendra 24 boîtes. Les couches suivantes, de la couche 2 à 8, contiendront 18 boîtes par couche. Ce qui donne un total de 150 boîtes. En comptant 55 cornets par boîte cela donne un total de 8250 cornets par palette. Le volume d'occupation de la palette est de **94%**.

En conclusion, ce deuxième projet améliore l'éco-conception de notre packaging via l'amélioration des points suivants :

- Réduction de la quantité de carton utilisée
- Réduction de l'espace nécessaire par cornet
- Plastique biosourcé et recyclable grâce à l'utilisation du PHA

3.2. Nom de marque et logo

Le nom « CORMA » a été choisi et correspond à l'union des mots « Cornets » et « Marc », tous deux représentant notre produit. Le logo reprend les mêmes éléments mais avec l'image de la pomme pour être plus parlant. Le logo a pour but de présenter directement l'origine de notre produit. En effet, les consommateurs pourraient ne pas connaître le marc de pommes, l'image de la pomme est là pour montrer directement l'origine de ce marc.

Le logo est présenté dans la figure 61.

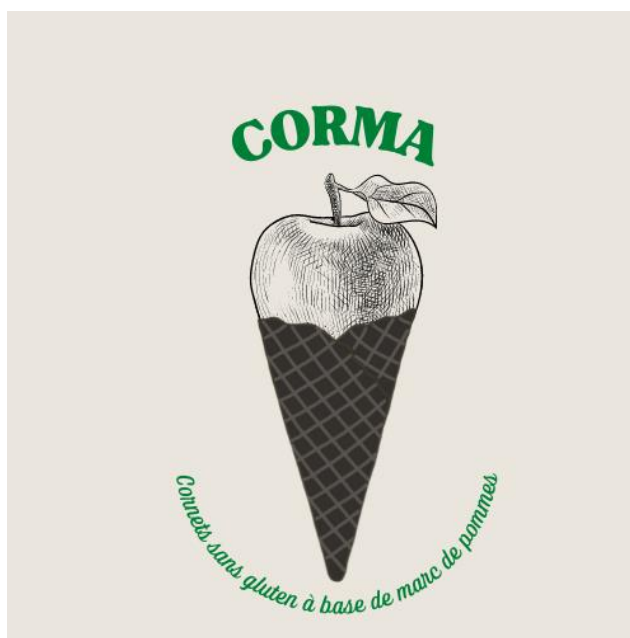


Figure 61 : Logo et nom de marque de notre produit

3.3. Étiquetage

Conformément au cahier des charges et selon le règlement (UE) n°1169/2011 du Parlement Européen et du Conseil du 25 décembre 2011, l'étiquette reprend les mentions suivantes, qui devront s'y retrouver en français, anglais et néerlandais :

- Cornets pour crèmes glacées
- Label sans gluten
- Label sans lactose
- Riche en fibres
- Ingrédients : Poudre de marc de pommes, farine de maïs, sucre, farine de sarrasin, fécule de pommes de terre, huile végétale, gomme de guar, lécithine de **soja**, sel, magnésium, bicarbonate.
- Poids net : 18 g
- Boîte contenant 55 cornets de 18 g

- À consommer de préférence avant fin 10/2022¹
- Conserver dans un endroit sec et frais
- Produit belge
- Fabricants : Laurent & Jeanne Associés : 66 rue du Cornet, 5150 Belgique
- Prêt-a-l'emploi,
- Déclaration nutritionnelle, voir tableau 53

La figure 62 présente l'étiquette, en 2 parties, de notre produit. Les dimensions de texte ont été réalisées sur base de la définition de la hauteur de X du règlement (UE) n°1169/2011 (voir annexe 3).



Figure 62 : Étiquette du produit fini

¹ Les tests de vieillissement ayant duré 2 mois, nous ne pouvons pas encore nous permettre de mettre une date de durabilité minimale de plus de 2 mois. Des tests de vieillissement d'une plus longue durée devront être réalisés.

La figure 63 montre une représentation 3D du packaging final.



Figure 63 : Représentation finale du packaging

DISCUSSION

L'objectif de cette section est de mettre en perspective nos hypothèses initiales ainsi que nos résultats. Nous reprendrons les points essentiels de notre projet, discuterons des objectifs atteints ainsi que ceux restant à améliorer, tel que la reproductibilité de la poudre. Nous discuterons également d'alternatives possibles à nos procédés de fabrication, et potentiellement plus en adéquation avec notre démarche de valorisation d'un sous-produit.

Premièrement, au niveau du **séchage** du marc de pommes frais, les temps cités dans la littérature, qui avoisinaient les 6 heures de séchage à 80°C, se sont révélés en inadéquation avec les temps que nous avons jugés optimaux lors de notre séchage à l'étuve.

L'objectif d'obtenir une teneur en humidité de 5% pour la poudre de marc de pommes est atteint après 10 heures de séchage à l'étuve à 80°C. Cependant, nous avons décidé d'opter pour un séchage d'une plus longue durée, de **24 heures**. Cette décision se justifie par 2 points importants :

- Sécher la poudre plus longtemps lui donne un goût caractéristique de pomme caramélisée. Ce goût est particulièrement recherché pour des produits tels que des cornets et a été apprécié par les testeurs lors des tests hédoniques. En effet, notre produit final a terminé en première position pour son goût, devant les cornets industriels.
- Sécher la poudre plus longtemps permet l'obtention d'une poudre plus **colorée**. Cette coloration rappelant, également selon les testeurs, celle de « produits artisanaux ».

Deuxièmement, la **caractérisation** des différentes poudres de marc de pommes, dont les paramètres de séchage diffèrent en durée et en procédés (étuve à 80°C ou lyophilisation), a permis d'évaluer la teneur en polyphénols. Il en ressort que **l'augmentation du temps de séchage du marc de pommes diminue sa concentration en polyphénols**. Pour rappel, lors du lancement du projet, nous voulions minimiser les temps de séchage afin de justement préserver au maximum les polyphénols. Cet objectif n'a donc pu être rempli au vu des résultats du séchage. Si nous avions opté pour un temps de séchage moins long (de 10 heures), nous aurions bénéficié d'une teneur plus élevée en polyphénols, mais comme expliqué dans le paragraphe précédent, nous n'avons pas fait ce choix car nous désirions privilégier les qualités organoleptiques du produit.

L'étude du séchage par **lyophilisation** a montré les meilleurs résultats en matière de teneur en polyphénols, qui y est donc la plus élevée, signifiant un minimum de dégradation de ceux-ci. Malgré cette information, cette méthode de séchage n'est pas retenue pour les 2 raisons principales :

- Son coût énergétique beaucoup trop élevé qui irait à l'encontre d'un objectif voulant revaloriser un sous-produit.
- Son goût « surêt », qui se rapproche de celui d'une pomme fraîche et non du goût de pommes caramélisées.

Troisièmement, nous avons identifié un problème de **reproductibilité** lors de la fabrication des poudres de marc de pommes. Deux lots de pommes ont été réceptionnés à des dates différentes. Les 2 lots issus de la même variété de pommes, jonagold, ont été réceptionnés, transportés et traités selon les mêmes méthodes et procédés. Cependant, lors de l'analyse de ces poudres, nous avons observé certaines **différences**. En effet, que ce soit la teneur en

polyphénols ou les teneurs en protéines et lipides, il existe des variations importantes. Celles-ci restent jusqu'à présent non expliquées. Si la fabrication de la poudre de marc de pommes ne se révèle pas reproductible, cela engendrera un problème majeur en cas d'industrialisation du procédé de fabrication. Si le procédé vient à être industrialisé, nous pourrions étudier la possibilité de mélanger les lots de pommes et/ou de poudre et évaluer l'effet que cela aura sur la poudre finale comme par exemple homogénéiser le tout et rendre reproductible le procédé.

Au niveau de la fabrication de la poudre, il serait intéressant de faire varier certains paramètres en relation avec les pommes qui permettraient, suite à une caractérisation de celle-ci, de répondre à des questions telles que :

1. Est-ce que la variété de pommes a une influence sur la poudre ?
2. Est-ce que le moment de récolte des pommes a une influence sur la poudre ?
3. Est-ce que l'année (bonne année à pommes versus mauvaise année) a une influence sur la poudre ?

En fonction des résultats à la première question, nous pourrions valoriser le marc de pommes de plusieurs variétés.

Afin d'**optimiser la dépense énergétique** liée à notre procédé de fabrication, il serait théoriquement possible de sécher le marc de pommes directement après sa sortie de la presse, donc en évitant l'étape de congélation. Au cours de notre projet, une des difficultés a été le transport et la conservation du marc, et c'est dans ce but que nous transportons au plus vite le marc, de son lieu de production à son lieu de transformation en farine, où il est stocké et congelé. La congélation engendre une consommation énergétique supplémentaire ainsi qu'un local de stockage de taille suffisante vu les volumes de marc à stocker. Une solution serait donc de **sécher le marc de pommes directement** et donc sur son site de production, sans passer par une congélation. Cela permettrait également d'amoinrir la prolifération des microorganismes ainsi que la fermentation dans le marc, car malgré les efforts de maintien au frais lors du dégel du marc avant son séchage, il s'agit d'une phase à risque. Cela réduirait également le temps de séchage car, en effet, le marc frais passerait d'une température de 10°C-15°C à une température de 80°C et non plus d'une température de - 20°C à une température de 80°C. Réduire le temps de séchage réduirait évidemment la dépense énergétique du procédé.

Soulignons également que, d'un point de vue **économique**, contrairement aux autres valorisations actuelles du marc, valoriser le marc en poudre de marc de pommes serait une source de revenu supplémentaire pour les producteurs de jus.

Afin de se rendre compte de l'**utilité de notre objectif de valorisation d'un sous-produit**, nous avons calculé le **rendement**, c'est-à-dire de la quantité de poudre obtenue à partir de marc de pommes frais. Ce rendement est de 20%. La quantité de marc de pommes frais nécessaire à la production d'un cornet est d'environ 17,5 grammes, donc 3,5 grammes de poudre de marc de pommes.

Enfin, au niveau des **produits formulés** au cours de ce projet, 2 ont été réalisés répondant aux objectifs principaux : valoriser le marc de pommes et obtenir un cornet sans gluten. Ces 2 produits sont les « cornets 63% » et les « cornets 26% ».

- **« Cornets 63% »**

Il s'agit donc de cornets exempts de farine et dont 63% de leur masse est représentée par la poudre de marc de pommes.

Ce produit a été formulé suite à l'ajout croissant de poudre de marc de pommes aux formulations, dans le but de connaître la quantité idéale de poudre à intégrer.

Une simple cuisson au gaufrier est insuffisante pour ce type de cornet. Nous avons donc réalisé une double cuisson: au gaufrier ainsi qu'au four à chaleur tournante) pour obtenir des résultats satisfaisants et ainsi répondre au cahier des charges.

Le produit présente un désavantage majeur, celui d'avoir un goût très prononcé, ainsi qu'un goût acidulé rappelant celui d'une pâte de fruit. Ce goût provient de la deuxième cuisson, mais qui est nécessaire à l'obtention d'une teneur en humidité adéquate à sa conservation.

Lors des tests hédoniques, il a été révélé que ce cornet ne se marierait pas avec le goût de la crème glacée, sur qui il prendrait trop le « dessus ». Cependant, un grand nombre de personnes l'ont apprécié, mais en tant que simple biscuit. Le mot « biscuit » était intéressant, puisqu'en effet, l'étymologie du mot, en latin bis cotus, signifie « cuit deux fois », comme ce cornet. De plus, la croustillance n'est pas satisfaisante et reste à améliorer.

Un autre point négatif identifié lors des tests hédoniques est la couleur jugée trop foncée. Ce problème pourrait être évité en trempant le marc de pommes frais dans de l'acide citrique avant le séchage. Cette étape permettrait de diminuer l'oxydation du marc qui aurait donc une couleur plus pâle. Une couleur moins foncée des cornets aurait une influence positive par rapport à l'acceptation des consommateurs.

Le « cornet 63% » répond donc pleinement à deux objectifs majeurs: valoriser le sous-produit et ce dans un produit sans gluten. De plus, le marc serait valorisé dans des proportions bien plus élevées que notre « cornet 26% ».

Cette découverte de "biscuit au marc de pommes", qui resterait donc sans gluten puisque sans farine, gagnerait à être étudiée. La formulation ainsi que le procédé de fabrication seraient tous deux à revoir, puisqu'une gaufrette roulable n'est plus nécessaire.

- **« Cornet 26% »**

Le « cornet 26% », réalisé avec un mélange de poudre de marc de pommes et de farines de maïs et de sarrasin, est notre cornet de formulation finale, celui répondant pleinement aux objectifs, malgré certains points à encore améliorer pour une meilleure appréciation par le consommateur. Dans ces cornets, 26% de leur masse est représentée par la poudre de marc de pommes.

Ce cornet remplit les différentes propriétés recherchées : une force de rupture et une activité de l'eau similaires aux cornets de références.

Il remplit les caractéristiques fixées par le cahier des charges et a également obtenu de très bons résultats aux tests hédoniques réalisés:

- son goût et sa texture sont les plus appréciés par rapport aux cornets industriels
- sa croustillance est très bonne et au même niveau que les cornets concurrents

Au niveau de sa couleur et de son odeur, les appréciations varient selon les testeurs :

- une couleur plus foncée donne une impression d'artisanat et en même temps s'éloigne de l'image du cornet « classique ».
- sa légère odeur de pommes est appréciée par certains et dépréciée par ceux qui recherchent les arômes plus classiques

Nous pourrions, pour la question de l'odeur, ajouter par exemple un arôme de vanille.

Malgré cela, il termine en première position à la question de la préférence globale.

Un point important à souligner est la mention « **riche en fibres** » dont pourra bénéficier notre produit. Cette haute teneur en fibres (11,35g fibres/100g) était recherchée dans notre cahier des charges et notre produit dépasse largement le seuil minimal (6g de fibres/100g). Cette mention est d'autant plus intéressante dans les produits sans gluten qui en contiennent peu alors que pour une personne cœliaque, les fibres sont essentielles au bon fonctionnement du système digestif. Cela montre l'intérêt de l'ajout de marc de pommes comme source de fibres pour des produits sans gluten.

Notre produit est également **sans lactose**, point qui ne faisait pas partie de nos objectifs mais qui se révèle extrêmement positif puisqu'il nous permet de toucher une plus grande part de la population.

Au niveau de la conservation des produits, les cornets ont été testés durant 8 semaines après leur production dans des sachets anti-uv, où ils sont stables au cours du temps. Il faudrait cependant tester l'emballage proposé, le PHA, afin de voir s'ils y conservent également leurs caractéristiques de texture, et donc de croustillance, et leur activité de l'eau.

Il y donc des perspectives à envisager. En effet, de nombreuses pistes doivent encore être explorées afin d'améliorer le processus de fabrication de la poudre et des cornets ainsi que le produit fini.

Par exemple, nous avons séché le marc à l'étuve. Cependant d'autres techniques sont envisageables, telle que le séchage sous-vide. Varier les techniques de séchage pourrait permettre de modifier, voir améliorer, les propriétés de la poudre et donc des cornets.

Au cours des tests et analyses de laboratoire, nous avons évalué la capacité de rétention d'eau des poudres en fonction de leur granulométrie or jusqu'ici, nous n'avons utilisé qu'un type de poudre pour réaliser les cornets. Il serait donc intéressant de réaliser des cornets en utilisant d'autres granulométries afin de se rendre compte de l'effet que cela aura sur le produit fini.

Une autre voie d'amélioration serait l'utilisation de nouvelles technologies lors de la préparation de la pâte, comme par exemple le traitement de la pâte par haute pression et le chauffage des ingrédients à sec. Ce traitement permettrait de modifier les propriétés fonctionnelles des protéines et de l'amidon suite à une dénaturation des protéines et une gélatinisation partielle de l'amidon. Ces techniques sont récentes et encore en cours de développement. Il sera également très important d'étudier leur consommation énergétique afin de savoir si elles sont en adéquation avec notre démarche et vision.

CONCLUSION

Nos recherches nous ont permis de constater que les maladies liées au gluten sont de plus en plus présentes dans notre société. Les diagnostics réalisés de plus en plus précocement en sont une des raisons. Actuellement, environ 1% de la population est diagnostiquée comme souffrant d'une pathologie liée au gluten, ce chiffre est cependant largement sous-estimé. En effet, une grande partie des personnes atteintes n'est pas diagnostiquée. De plus, les produits sans gluten restent minoritaires dans les commerces. Ces produits présentent de mauvaises propriétés nutritionnelles, celles-ci sont négligées au profit de leurs caractéristiques organoleptiques. L'étude du marché réalisée a révélé que le secteur du sans gluten est en plein essor, donnant l'opportunité à de nouveaux produits d'être conçus.

Nous nous sommes intéressés au marché de la crème glacée et plus particulièrement aux glaciers. Ceux-ci ne proposant pas suffisamment de solution sans gluten à leurs clients, nous avons décidé d'y remédier en proposant un cornet sans gluten. Cette réflexion nous a mené à nous focaliser sur une clientèle professionnelle et donc orientée Business-to-Business. Cette volonté nous donnera l'avantage de pouvoir traiter des volumes de commandes plus importants.

Le marc de pommes s'est révélé être un sous-produit trop peu valorisé dans l'industrie agro-alimentaire du fait de sa gestion complexe. En effet, le marc est un produit ayant une haute teneur en humidité, il fermente rapidement si rien n'est mis en place pour le conserver. Le marc se révèle être riche en polyphénols et en fibres. L'ajout de marc de pommes aux produits sans gluten permettrait d'enrichir ceux-ci en fibres et ainsi, améliorer leurs valeurs nutritionnelles. Les fibres ne sont présentes qu'en très faible proportion dans les produits sans gluten industriels, hors elles sont essentielles au bon fonctionnement du système digestif, qui est souvent fragilisé chez les personnes atteintes d'une pathologie liée au gluten.

En liant ces 2 problématiques, le projet a consisté à concevoir un cornet sans gluten à base de marc de pommes.

Afin de mener à bien le projet, le marc de pommes est premièrement transformé en poudre avant d'être intégré dans des formulations de cornet pour crèmes glacées. La poudre est réalisée de la manière suivante: séchage à l'étuve durant 24 heures à 80°C. Le but du séchage étant de réduire la teneur en humidité du marc afin de pouvoir conserver la poudre qui en découle et ainsi éviter la prolifération de microorganismes. Une durée de séchage de 24 heures a été choisie afin d'obtenir les meilleures qualités organoleptiques de la poudre, ayant un goût et une odeur de pomme caramélisée.

Deux types de cornets ont été réalisés au moyen de la poudre obtenue.

Le premier type de cornet consiste en une substitution partielle des farines sans gluten (maïs et sarrasin) par de la poudre de marc de pommes, qui représente 26% de la masse du cornet. Cette formulation, nommée « **cornet 26%** », s'est montrée concluante car, en effet, les cornets possèdent une texture, une tenue en main et une croustillance similaires à ceux trouvés dans le commerce. Lors d'analyses sensorielles, ces cornets se sont révélés être les plus appréciés des consommateurs.

Le second type de cornets consiste en une substitution totale de la farine par de la poudre de marc de pommes. Soixante-trois pourcents de la masse des cornets est représentée par du marc de pommes, le cornet est donc nommé « **cornet 63%** ». Une double cuisson est nécessaire à la réalisation de ce cornet (une cuisson au four est réalisée préalablement à la

cuisson « classique » au gaufrier). Cette seconde cuisson apporte un goût trop prononcé au cornet, qui ne convient dès lors plus aux attentes des consommateurs. Pour cette raison, le « cornet 63% » ne pourra pas être utilisé comme un cornet pour crème glacée. Cependant, la formulation de ce deuxième type de cornet nous invite à imaginer la conception d'un biscuit exempt de farine, permettant une valorisation d'autant plus importante du marc de pommes dans l'agro-alimentaire.

Pour conclure, la formulation et le procédé de fabrication du « cornet 26% » est celle choisie comme étant l'aboutissement du projet. En effet, ce cornet répond à la fois aux aspects **Service** et **Société** de notre cahier des charges en remplissant le rôle attendu d'un cornet. En effet, le cornet est résistant à la prise en main et à la pose de boule de crème glacée. Le produit répond également positivement à l'aspect **Sécurité** en respectant et en étant inférieur aux limites autorisées pour les tests microbiologiques. Quant à l'aspect **Santé**, les cornets présentent 3 qualités importantes : ils sont sans gluten, sans lactose et à haute teneur en fibres. L'aspect **Satisfaction** est également rempli puisque les tests hédoniques se sont révélés extrêmement positifs. Le « cornet 26% », de par ses propriétés, offrira une solution qualitative aux personnes ne consommant pas de gluten, qui ne devront plus choisir par défaut le petit pot chez le glacier.

BIBLIOGRAPHIE

Abdelmassih, M., Mahillon, J., Goffaux, M., Ferber, F., & Planchon, V. (2018). Guide pratique de microbiologie alimentaire à l'usage des producteurs. Requasud.

Adewusi, S. R. A., & Oke, O. L. (1985). On the metabolism of amygdalin. 1. The LD50 and biochemical changes in rats. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 63(9), 1080-1083. <https://doi.org/10.1139/y85-177>

Advanced Technology 12 Head Ice Cream Cone Maker. (s. d.). [Photographie]. Longer Food Machinery. <http://www.cookie-machine.com/>

AFSCA. (2019). AFSCA - Publication : Métaux lourds. <https://www.favv-afsca.be/denreesalimentaires/contaminants/metauxlourds/>

AFSSA. (2009). Évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale <https://www.anses.fr/fr/system/files/RCCP-Ra-Mycotoxines2009.pdf>

Agence française de sécurité sanitaire des aliments (2010), Avis de l'agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à l'évaluation de la demande de mise sur le marché d'un nouvel ingrédient alimentaire, la gomme de guar <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2009sa0214.pdf>

Agro Média. (2016, 13 juillet). Déchets de l'agroalimentaire : comment les valoriser? *Agro Media*. <https://www.agro-media.fr/analyse/dechets-de-lagroalimentaire-valoriser-21246.html>

Alongi, M., Melchior, S., & Anese, M. (2019). Reducing the glycemic index of short dough biscuits by using apple pomace as a functional ingredient. *LWT*, 100, 300-305. doi:10.1016/j.lwt.2018.10.068

ANSES. (2011). *Penicillium expansum* et autres moisissures productrices de patuline <https://www.anses.fr/fr/system/files/MIC2011sa0037Fi.pdf>

Anton, A. A., & Artfield, S. D. (2008). Hydrocolloids in gluten-free breads: A review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 59(1), 11-23. doi:10.1080/09637480701625630

Association Nationale des Industries Alimentaires (Éd.). (2010, mars). Comprendre l'étiquetage alimentaire. Institut Français pour la Nutrition. <https://alimentation-sante.org/wp-content/uploads/2012/03/etiquetage-mars2010-IFN-ANIA.pdf>

Autorité européenne de sécurité des aliments. (2020). Mycotoxines. EFSA. <https://www.efsa.europa.eu/fr/topics/topic/mycotoxins>

Azari, M., Shojaee-Aliabadi, S., Hosseini, H., Mirmoghtadaie, L., & Marzieh Hosseini, S. (2020). Optimization of physical properties of new gluten-free cake based on apple pomace powder using starch and xanthan gum. *Food Science and Technology International*, 26(7), 603-613. doi:10.1177/1082013220918709

B. (2017, 7 novembre). 2.481 Comprendre les féculs et les amidons. Bianca au Naturel. <https://biorganic.blog/2017/11/03/2-275-comprendre-les-fecules-et-les-amidons/>

Beaudouin, E., Renaudin, J. M., Codreanu, F., Kanny, G., & Moneret-Vautrin, D. A. (2007). Wheat allergy in adults. [Allergie à la farine de blé chez l'adulte] *Revue Francaise d'Allergologie Et d'Immunologie Clinique*, 47(3), 175-179. doi:10.1016/j.allerg.2007.01.018

Biagi, F., Gobbi, P., Marchese, A., Borsotti, E., Zingone, F., Ciacci, C., Volta, U., Caio, G., Carroccio, A., Ambrosiano, G., Mansueto, P., & Corazza, G. R. (2014). Low incidence but poor prognosis of complicated coeliac disease : A retrospective multicentre study. *Digestive and Liver Disease*, 46(3), 227-230. <https://doi.org/10.1016/j.dld.2013.10.010>

Biesiekierski, J. R. (2017). What is gluten ? *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 32, 78-81. <https://doi.org/10.1111/jgh.13703>

Bolarinwa, I. F., Orfila, C., & Morgan, M. R. (2014). Amygdalin content of seeds, kernels and food products commercially-available in the UK. *Food Chemistry*, 152, 133-139. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.002>

Boyer, J., & Liu, R. H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition Journal*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/1475-2891-3-5>

Bucci, D. Z., Tavares, L. B. B., & Sell, I. (2007). Biodegradation and physical evaluation of PHB packaging. *Polymer Testing*, 26(7), 908-915. doi:10.1016/j.polymertesting.2007.06.013

Calculateur de taille d'échantillon. (s. d.). CheckMarket. <https://fr.checkmarket.com/calculateur-taille-echantillon/>

Calvete-Torre, I., Muñoz-Almagro, N., Pacheco, M. T., Antón, M. J., Dapena, E., Ruiz, L., Margolles, A., Villamiel, M., & Moreno, F. J. (2021). Apple pomaces derived from mono-varietal Asturian ciders production are potential source of pectins with appealing functional properties. *Carbohydrate Polymers*, 264, 117980. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117980>

Céliane Gluten Free. (s. d.). CÉLIANE. <https://celianeglutenfree.com/>

Chen, M., & Lahaye, M. (2021). Natural deep eutectic solvents pretreatment as an aid for pectin extraction from apple pomace. *Food Hydrocolloids*, 115 doi:10.1016/j.foodhyd.2021.106601

Choprabisco. (2019). *Guide d'autocontrôle pour le secteur de l'industrie du biscuit, du chocolat, de la praline, de la confiserie et des céréales pour le petit déjeuner*.

Ciqua! Table de composition nutritionnelle des aliments. (s. d.). Ciqua!, Table de composition nutritionnelles des aliments. Consulté le 9 août 2022, à l'adresse <https://ciqua.anses.fr/>

Codex Alimentarius. (2019). *GSFA Online Catégories d'aliments*. Mise à jour jusqu'à la 41ème session de la Commission du Codex Alimentarius. Consulté le 25 décembre 2021, à l'adresse <https://www.fao.org/gsfaonline/foods/index.html?lang=fr>

Codex Stan 118-1979, (1979) (testimony of Codex Alimentarius).

Combien de glaces mangeons-nous ? (2019, 4 septembre). Groupement de l'industrie des crèmes glacées. <https://www.belgianicecream.be/fr/homepage/combien-de-glaces-mangeons-nous>

Commission du codex alimentarius. (2008). *Rapport de la vingt-neuvième session du comité du codex sur la nutrition et les aliments diététiques ou de régime de la commission du codex alimentarius*. <https://www.fao.org/3/w3663f/W3663F01.htm>

Commission Européenne. (2005). *Règlement (CE) n°2073/2005 de la Commission du 15 novembre 2005 concernant les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A02005R2073-20200308>

Commission Européenne. (2006). *Règlement (CE) No 1881/2006 de la commission du 19 décembre 2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A02006R1881-20220101&qid=1641485390211>

Commission Européenne. (2011a). *Règlement (UE) n ° 835/2011 de la Commission du 19 août 2011 modifiant le règlement (CE) n ° 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les denrées alimentaires*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A32011R0835>

Commission Européenne. (2011b). *Règlement (UE) n ° 1259/2011 de la Commission du 2 décembre 2011 modifiant le règlement (CE) n ° 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales en dioxines, en PCB de type dioxine et en PCB autres que ceux de type dioxine des denrées alimentaires*. <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/1259/oj/fra>

Commission Européenne. (2013a). *Recommandation de la Commission du 27 mars 2013 concernant la présence de toxines T-2 et HT-2 dans les céréales et les produits à base de céréales*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX%3A32013H0165>

Commission Européenne. (2013b). *Règlement (UE) n°2017/2158 de la Commission du 20 novembre 2017 établissant des mesures d'atténuation et des teneurs de référence pour la réduction de la présence d'acrylamide dans les denrées alimentaires*. <http://data.europa.eu/eli/reg/2017/2158/oj/fra>

Commission Européenne. (2013c). *Règlement (UE) N° 68/2013 de la commission du 16 janvier 2013 relatif au catalogue des matières premières pour aliments des animaux* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A02013R0068-20200701&qid=1641548226565>

Cosnes, J., Cellier, C., Viola, S., Colombel, J., Michaud, L., Sarles, J., Hugot, J., Ginies, J., Dabadie, A., & Mouterde, O. (2008). Incidence of Autoimmune Diseases in Celiac Disease : Protective Effect of the Gluten-Free Diet. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 6(7), 753-758. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2007.12.022>

Couverts écologiques, durablement bons. (s. d.). Ecopoon. Consulté le 27 mai 2022, à l'adresse <https://www.ecopoon.be/fr/accueil.htm>

Crackers Resurrection. (2021, septembre 30). *Crackers RÉSURRECTION (vraiment) écoresponsables*. Résurrection. <https://crackers-resurrection.com/>

Daube, G. (2021). *Gestion de la qualité microbiologique des aliments*. Année académique 2020-2021.

Day, L. (2011). Wheat gluten: Production, properties and application. *Handbook of food proteins* (pp. 267-288) doi:10.1016/B978-1-84569-758-7.50010-1

de Boissieu, D., & Dupont, C. (2009). Allergie au blé et maladie cœliaque : comment faire la différence ? *Archives de Pédiatrie*, 16(6), 873-875. [https://doi.org/10.1016/s0929-693x\(09\)74186-7](https://doi.org/10.1016/s0929-693x(09)74186-7)

Delcenserie, V. (2021). *Autocontrôle et contrôle de la chaîne alimentaire*. Année académique 2020-2021.

Demiray, E., Kut, A., Ertuğrul Karatay, S., & Dönmez, G. (2021). Usage of soluble soy protein on enzymatically hydrolysis of apple pomace for cost-efficient bioethanol production. *Fuel*, 289 doi:10.1016/j.fuel.2020.119785

Dogan, I. S., Yildiz, O., & Meral, R. (2015). Optimization of corn, rice and buckwheat formulations for gluten-free wafer production. *Food Science and Technology International*, 22(5), 410-419. <https://doi.org/10.1177/1082013215610981>

Fasano, A., & Catassi, C. (2001). Current approaches to diagnosis and treatment of celiac disease: An evolving spectrum. *Gastroenterology*, 120(3), 636-651. doi:10.1053/gast.2001.22123

Fernandes, P. A., Bastos, R., Calvão, J., Neto, F., Coelho, E., Wessel, D. F., Cardoso, S. M., Coimbra, M. A., & Passos, C. P. (2021). Microwave hydrodiffusion and gravity as a sustainable alternative approach for an efficient apple pomace drying. *Bioresource Technology*, 333, 125207. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125207>

Flambeau, M., Redl, A., & Respondek, F. (2016). Proteins from wheat: Sustainable production and new developments in nutrition-based and functional applications. *Sustainable protein sources* (pp. 67-78) doi:10.1016/B978-0-12-802778-3.00004-4

Fournitures d'hôtellerie et restauration | Garcia de Pou. (s. d.). <https://www.garciadepou.com/fra/>

Gassara, F., Brar, S. K., Pelletier, F., Verma, M., Godbout, S., & Tyagi, R. D. (2011). Pomace waste management scenarios in québec-impact on greenhouse gas emissions. *Journal of Hazardous Materials*, 192(3), 1178-1185. doi:10.1016/j.jhazmat.2011.06.026

Gleize, C. (2020, 29 décembre). *Que dit le baromètre sur les sans gluten en 2020*. Because Gus. <https://because-gus.com/que-dit-le-barometre-sur-les-sans-gluten-en-2020/>

Global Gluten Free Food Market Size, Share & Industry Forecast 2018–2025. (2020, février). <https://www.adroitmarketresearch.com/industry-reports/gluten-free-food-market>

Gluten-free Products Market. (s. d.). Markets And Markets. https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/gluten-free-products-market-738.html?gclid=Cj0KCQjww4OMBhCUARIsAILndv6SulX3UbBsEwduqwJGJeSAPVWYOEnINxJr6iO19MeueDKnJ18yEV0aAow-EALw_wcB

Gluten-free wafers Archives. (s. d.). Miran Ice Cones. <https://fr.miranicecones.com/shop/gluten-free-wafers/?fbclid=IwAR1av7IVzV5F6vs99XiXq4L0jvnVZyMiMHa-Yk8fawNChNYnyyPvCLDqAvk>

Goffin, D (2021). *Comportements alimentaires et évaluation sensorielle des aliments*. Année académique 2020-2021

Gorjanović, S., Micić, D., Pastor, F., Tosti, T., Kalušević, A., Ristić, S., & Zlatanovic, S. (2020). Evaluation of apple pomace flour obtained industrially by dehydration as a source of biomolecules with antioxidant, antidiabetic and antiobesity effects. *Antioxidants*, 9(5) doi:10.3390/antiox9050413

Grover, S. S., Chauhan, G. S., & Masoodi, F. A. (2003). Effect of particle size on surface properties of apple pomace. *International Journal of Food Properties*, 6(1), 1-7. doi:10.1081/JFP-120016620

Gumul, D., Ziobro, R., Korus, J., & Kruczek, M. (2021). Apple Pomace as a Source of Bioactive Polyphenol Compounds in Gluten-Free Breads. *Antioxidants*, 10(5), 807. <https://doi.org/10.3390/antiox10050807>

Haas, F. *Waffelmaschinen industriengesellschaft* n°85 06685. 2 mai 1985. <https://patentimages.storage.googleapis.com/1c/b6/09/3dcf9065db9101/FR2563697A1.pdf>

Harel, C. (2021, 21 avril). *Les glaces ont fait fondre les Français en 2020*. LSA. <https://www.lsa-conso.fr/les-glaces-ont-fait-fondre-les-francais-en-2020,379253>

He, Y., & Lu, Q. (2015). Impact of Apple Pomace on the Property of French Bread. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 8(3), 167-172. <https://doi.org/10.19026/ajfst.8.1487>

Herawati, H. (2019). Hydrocolloids to the effects of gluten free bakery products. Paper presented at the *Journal of Physics: Conference Series*, , 1295(1) doi:10.1088/1742-6596/1295/1/012052

How ice cream cone is made - making, history, used, parts, product, industry, machine, History, Raw Materials. (s. d.). How Products Are Made. <http://www.madehow.com/Volume-6/Ice-Cream-Cone.html>

Ice Cream Cones Manufacturing and Production Project Report. (s. d.). Space Consultancy Services. Consulté le 25 décembre 2021, à l'adresse <https://www.projectreportinfo.com/2018/12/ice-cream-cones-manufacturing-and.html>

Ice Cream Cone Manufacturing Setup. (2019, 25 octobre). Food Buddies. <http://www.foodbuddies.in/ice-cream-cone-manufacturing-setup/>

Jannati, N., Hojjatoleslami, M., Hosseini, E., Mozafari, H. R., & Siavoshi, M. (2018). Effect of apple pomace powder on rheological properties of dough and sangak bread texture. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 10(2), 77-84.

Jaszczak-Wilke, E., Polkowska, A., Koprowski, M., Owsianik, K., Mitchell, A. E., & Balczewski, P. (2021). Amygdalin : Toxicity, Anticancer Activity and Analytical Procedures for Its Determination in Plant Seeds. *Molecules*, 26(8), 2253. <https://doi.org/10.3390/molecules26082253>

Journal officiel de l'Union Européenne. (2008). *Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A02008L0098-20180705&qid=1635844557704>

Journal officiel de l'Union Européenne. (1998). *Directive 98/83/CE relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.* <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0083:20090807:FR:PDF>

Journal officiel de l'Union Européenne. (2009). *Règlement (UE) n°41/2009 du parlement européen et du conseil du 20 janvier 2009 relatif à la composition et à l'étiquetage des denrées alimentaires*

convenant aux personnes souffrant d'une intolérance au gluten. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:016:0003:0005:FR:PDF>

Journal officiel de l'Union Européenne. (2011). *Règlement (UE) n°1169/2011 du parlement européen et du conseil du 25 octobre 2011 concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires*. https://www.senat.fr/europe/textes_europeens/ue0120.pdf

JUICE PRESS E.V.H. (s. d.). Consulté le 23 décembre 2021, à l'adresse <http://www.presseoir.net/accueil.html>

Jung, J., Cavender, G., & Zhao, Y. (2015). Impingement drying for preparing dried apple pomace flour and its fortification in bakery and meat products. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5568-5578. doi:10.1007/s13197-014-1680-4

Kelly, C. P., Bai, J. C., Liu, E., & Leffler, D. A. (2015). Advances in diagnosis and management of celiac disease. *Gastroenterology*, 148(6), 1175-1186. doi:10.1053/j.gastro.2015.01.044

Kestemont, P. (2020) Introduction à l'écotoxicologie. Année académique 2020-2021.

Kneepkens, C. M. F., & Von Blomberg, B. M. E. (2012). Clinical practice: Coeliac disease. *European Journal of Pediatrics*, 171(7), 1011-1021. doi:10.1007/s00431-012-1714-8

Korus, A., Gumul, D., Krystijan, M., Juszczak, L., & Korus, J. (2017). Evaluation of the quality, nutritional value and antioxidant activity of gluten-free biscuits made from corn-acorn flour or corn-hemp flour composites. *European Food Research and Technology*, 243(8), 1429-1438. doi:10.1007/s00217-017-2853-y

Lavelli, V., & Corti, S. (2011). Phloridzin and other phytochemicals in apple pomace: Stability evaluation upon dehydration and storage of dried product. *Food Chemistry*, 129(4), 1578-1583. doi:10.1016/j.foodchem.2011.06.011

Les types de sucre. (s. d.). The Canadian Sugar Institute. <https://sugar.ca/sugar-basics/types-of-sugar?lang=fr>

Les ventes de crèmes glacées se sont envolées en 2020 en Belgique. (2021, 26 mars). RTBF Info. https://www.rtbf.be/info/economie/detail_les-ventes-de-cremes-glacees-se-sont-envolees-en-2020-en-belgique?id=10728030

Le Vesuve. (s. d.). <https://www.levesuve.be/fr/societe/>

Léonard, P. (2018). *Moyens de production et de mise en œuvre d'un emballage & Conditionnement et technologies avancées*. Année académique 2021-2022.

Liang, X., Feng, L., Ran, J., Sun, J., Chen, X., Jiao, Z., Liu, B., & Jiao, L. (2020). Influence of adding steam-exploded apple pomace on wheat flour characteristics and biscuit quality. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 3031-3039. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04336-2>

Malumba, P., Janas, S., Deroanne, C., Masimango, T., & Béra, F. (2011). Structures and phenomena occurring during the heat treatment of cornstarch. [Structure de l'amidon de maïs et principaux phénomènes impliqués dans sa modification thermique] *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 15(2), 315-326.

Marco, C., & Rosell, C. M. (2008). Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads. *European Food Research and Technology*, 227(4), 1205-1213. doi:10.1007/s00217-008-0838-6

Maréchal, C. (s. d.). *Jusqu'où ira le sans gluten?* RUNGIS marché international. <https://www.rungisinternational.com/tendances/jusquou-ira-gluten%E2%80%89/>

Masood, F. (2017). *Polyhydroxyalkanoates in the food packaging industry. Nanotechnology applications in food: Flavor, stability, nutrition and safety* (pp. 153-177) doi:10.1016/B978-0-12-811942-6.00008-X

Masumoto, S., Akimoto, Y., Oike, H., & Kobori, M. (2009). Dietary phloridzin reduces blood glucose levels and reverses Sglt1 expression in the small intestine in streptozotocin-induced diabetic mice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(11), 4651-4656. doi:10.1021/jf9008197

Ministère des affaires économiques (2000), Règlement métrologique relatif à l'arrêté royal du 2 septembre 1985 relatif aux farines. https://ng3.economie.fgov.be/Nl/metrology/showole_FR.asp?cParam=36084

Mir, S. A., Bosco, S. J. D., Shah, M. A., Santhalakshmy, S., & Mir, M. M. (2017). Effect of apple pomace on quality characteristics of brown rice based cracker. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.01.001>

Novasina (2006), Theory of Water Activity (aw) - Quality control of food, Equinlab

Quels sont les chiffres et les données sur le marché de la glace? (2021). Modèles de business plan. <https://modelesdebusinessplan.com/blogs/infos/consommation-glaces-chiffres>

Quin, J.R.; Paton, D. A practical measurement of water hydration capacity of protein material. *Cereal Chem.* 1979, 56, 38.

Parlement européen (2006) Règlement (CE) N° 1924/2006 du parlement européen et du conseil du 20 décembre 2006 concernant les allégations nutritionnelles et de santé portant sur les denrées alimentaires <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A02006R1924-20141213&qid=1659947564411>

Parlement français (2010) Ordonnance n° 2010-1579 du 17 décembre 2010 portant diverses dispositions d'adaptation au droit de l'Union européenne dans le domaine des déchets

PaneRiso, always gluten free. (s. d.). http://www.paneriso.com/?fbclid=IwAR14v1NmCSq-jeTUX6dh_K10iKH_aj5V2n3ZEqNoDtEUNGbTfpU6ghqk7Jl

Paquot, N., (2021) *Nutrition humaine, normale et pathologique - Nutrition, éléments de diététique et pathologies, Nutrition et pathologies.* Année académique 2020-2021.

Planet Glace - fournisseur pour glaciers. (s. d.). <https://www.planetglace.com/?fond=index>

Podsędek, A., Wilska-Jeszka, J., Anders, B., & Markowski, J. (2000). Compositional characterisation of some apple varieties. *European Food Research and Technology*, 210(4), 268-272. doi:10.1007/s002179900101

Popp, A., & Mäki, M. (2019). Gluten-induced extra-intestinal manifestations in potential celiac disease—Celiac trait. *Nutrients*, 11(2) doi:10.3390/nu11020320

Reenaers, C., (2021) *Nutrition humaine, normale et pathologique - Allergies et intolérances alimentaires.* Année académique 2020-2021.

Rocha Parra, A. F., Sahagún, M., Ribotta, P. D., Ferrero, C., & Gómez, M. (2019). Particle Size and Hydration Properties of Dried Apple Pomace : Effect on Dough Viscoelasticity and Quality of Sugar-Snap Cookies. *Food and Bioprocess Technology*, 12(7), 1083-1092. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02273-3>

Ronie, M. E., Zainol, M. K., & Mamat, H. (2021). A review on the recent applications of gluten-free flour, functional ingredients and novel technologies approach in the development of gluten-free bakery products. *Food Research*, 5(5), 43-54. doi:10.26656/fr.2017.5(5).721

Roy, H. & Desnoux, P. (2013) Valorisation des coproduits d'industries agroalimentaires bretonnes. *Chambres d'agriculture de Bretagne.* [http://www.bretagne.synagri.com/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/21106/\\$File/Valorisation%20des%20coproduits%20des%20IAA%20bretonnes_2013_8%20page%20Definitif.pdf](http://www.bretagne.synagri.com/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/21106/$File/Valorisation%20des%20coproduits%20des%20IAA%20bretonnes_2013_8%20page%20Definitif.pdf)

Saadoun-Cousin, C., Paty, E., & Scheinmann, P. (2002). Allergie au blé. *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique*, 42(6), 583-594. [https://doi.org/10.1016/s0335-7457\(02\)00201-0](https://doi.org/10.1016/s0335-7457(02)00201-0)

Sapone, A., Bai, J. C., Ciacci, C., Dolinsek, J., Green, P. H., Hadjivassiliou, M., Kaukinen, K., Rostami, K., Sanders, D. S., Schumann, M., Ullrich, R., Villalta, D., Volta, U., Catassi, C., & Fasano, A. (2012). Spectrum of gluten-related disorders : consensus on new nomenclature and classification. *BMC Medicine*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/1741-7015-10-13>

Schmid, V., Trabert, A., Keller, J., Bunzel, M., Karbstein, H. P., & Emin, M. A. (2021). Defined shear and heat treatment of apple pomace: Impact on dietary fiber structures and functional properties. *European Food Research and Technology*, 247(8), 2109-2122. doi:10.1007/s00217-021-03776-0

Semoule et sucre impalpable. (2018). [Http://Industrie.Raffinerietirlemontoise.Com/](http://Industrie.Raffinerietirlemontoise.Com/). <http://industrie.raffinerietirlemontoise.com/fr-BE/Dry%20Sugars/Bloemsuiker%20en%20griessuiker>

Sergi, C., Villanacci, V., & Carroccio, A. (2021). Non-celiac wheat sensitivity: Rationality and irrationality of a gluten-free diet in individuals affected with non-celiac disease: A review. *BMC Gastroenterology*, 21(1) doi:10.1186/s12876-020-01568-6

Shimamoto, G. G., Aricetti, J. A., & Tubino, M. (2016). A simple, fast, and green titrimetric method for the determination of the iodine value of vegetable oils without wijs solution (ICI). *Food Analytical Methods*, 9(9), 2479-2483. doi:10.1007/s12161-016-0401-1

Skinner, R. C., Warren, D. C., Naveed, M., Agarwal, G., Benedito, V. A., & Tou, J. C. (2019). Apple pomace improves liver and adipose inflammatory and antioxidant status in young female rats consuming a western diet. *Journal of Functional Foods*, 61 doi:10.1016/j.jff.2019.103471

Spokas, K., Bogner, J., Chanton, J., Morcet, M., Aran, C., Graff, C., Golvan, Y. M. L., & Hebe, I. (2006). Methane mass balance at three landfill sites : What is the efficiency of capture by gas collection systems ? *Waste Management*, 26(5), 516-525. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.07.021>

Statbel, l'office belge de statistique | Statbel. (s. d.). Consulté le 23 décembre 2021, à l'adresse <https://statbel.fgov.be/fr>

Sudha, M. L. (2011). Apple pomace (by-product of fruit juice industry) as a flour fortification strategy. *Flour and breads and their fortification in health and disease prevention* (pp. 395-405) doi:10.1016/B978-0-12-380886-8.10036-4

Tiefenbacher, K. F. (2018). *The Technology of Wafers and Waffles II : Recipes, Product Development and Know-How* (1^{re} éd.). Academic Press.

Types of Ice Cream Cones : Waffle, Cake, and Sugar. (s. d.). Joy Cone. <https://joycone.com/types-of-ice-cream-cones-waffle-cake-and-sugar/#>

Usman, M., Ahmed, S., Mehmood, A., Bilal, M., Patil, P. J., Akram, K., & Farooq, U. (2020). Effect of apple pomace on nutrition, rheology of dough and cookies quality. *Journal of Food Science and Technology*, 57(9), 3244-3251. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04355-z>

Verkarre, V., & Brousse, N. (2013). Histopathology of coeliac disease. [Le diagnostic histologique de la maladie cœliaque] *Pathologie Biologie*, 61(2), e13-e19. doi:10.1016/j.patbio.2011.03.003

Vitali, D., Klarić, D. A., & Dragojević, I. V. (2010). Nutritional and functional properties of certain gluten-free raw materials. *Czech Journal of Food Sciences*, 28(6), 495-505. doi:10.17221/253/2009-cjfs

Wang, X., Kristo, E., & LaPointe, G. (2019). The effect of apple pomace on the texture, rheology and microstructure of set type yogurt. *Food Hydrocolloids*, 91, 83-91. doi:10.1016/j.foodhyd.2019.01.004

Weber Shandwick. (2017, février). *Tendances alimentaires en Belgique - 2017.* <http://sprimont2018.be/portfolio/wp-content/uploads/2017/12/2017-Tendances-Alimentaires-en-Belgique.pdf>

Wieser, H. (2007). *Chemistry of gluten proteins.* *Food Microbiology*, 24(2), 115-119. doi:10.1016/j.fm.2006.07.004

Williams, P. A., & Phillips, G. O. (2009). Introduction to food hydrocolloids. *Handbook of hydrocolloids: Second edition* (pp. 1-22) doi:10.1533/9781845695873.1

Wolfe, K., Wu, X., & Liu, R. H. (2003). Antioxidant activity of apple peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(3), 609-614. doi:10.1021/jf020782a

Zhao, T., Xu, H., He, Y., Tai, C., Meng, H., Zeng, F., & Xing, M. (2009). Agricultural non-point nitrogen pollution control function of different vegetation types in riparian wetlands: A case study in the yellow river wetland in china. *Journal of Environmental Sciences*, 21(7), 933-939. doi:10.1016/S1001-0742(08)62364-5

Zhou, W. (2014). *Bakery Products Science and Technology* (2^e éd.). Wiley-Blackwell.

Zlatanović, S.; Gorjanović, S.; Ostojić, S.; Micić, D.; Pastor, F.; Kalušević, A.; Laličić-Petronijević, J. (2019a). Method for producing gluten-free flour made of apple pomace. WO2020/027683 06.02.2020. (Published).

Zlatanović, S., Kalušević, A., Micić, D., Laličić-Petronijević, J., Tomić, N., Ostojić, S., & Gorjanović, S. (2019b). Functionality and Storability of Cookies Fortified at the Industrial Scale with up to 75% of Apple Pomace Flour Produced by Dehydration. *Foods*, 8(11), 561. <https://doi.org/10.3390/foods8110561>

ANNEXES

Annexe 1 : Polyphénols identifiés et quantifiés dans la poudre de marc de pommes en fonction de la variété (en mg/kg) (Gorjanovic et al., 2020)

	Idraded mix	Idraded	Idraded mix	Granny smith	Red delicious	Moyenne
Dihydrochalcones						
Phlorétine	0,77	0,7	0,98	0,29	0,78	0,704
Phlorizine	215,1	194,5	227,3	112	165,8	182,94
<i>Total :</i>	215,9	195,2	228,3	112	166,3	183,54
Flavones						
Lutéoline	0,26	0,11	0,15	0,1	0,13	0,15
Apigénine-7-O-glucoside	0,84	0,73	1,01	0,68	0,47	0,746
Apigénine	0,48	0,38	0,46	0,31	0,41	0,408
Chrysin	0,19	0,18	0,22	0,13	0,11	0,166
<i>Total :</i>	1,77	1,4	1,84	1,22	1,12	1,47
Flavanones						
Eriodictyol	0,18	0,13	0,26	0,11	0,21	0,178
Naringinine	0,24	0,18	0,21	0,11	0,17	0,182
Naringine	0,22	0,57	0,6	0,48	0,35	0,444
<i>Total :</i>	0,64	0,88	1,07	0,7	0,73	0,804
Flavonols et flavonol glycosides						
Quercétine	14,2	10,9	13,1	7,2	4,1	9,9
Quercétine-3-O-rhamnoside	121,9	85,3	124,8	114,1	34,1	96,04
Quercétine-3-O-galactoside	165,2	158,5	149,9	126,7	121,4	144,34
Rutoside	46,93	20,37	23,9	64,86	7,99	32,81
Isorhamnetin-3-O-rutinoside	1,11	0,82	0,41	0,4	0,36	0,62
Isorhamnétine	12,31	17,62	4,05	2,08	1,1	7,432
Kaempférol	2,46	0,71	2,82	1,37	0,48	1,568

	Idraded mix	Idraded	Idraded mix	Granny smith	Red delicious	Moyenne
Dihydrochalcones						
Phlorétine	0,77	0,7	0,98	0,29	0,78	0,704
Phlorizine	215,1	194,5	227,3	112	165,8	182,94
<i>Total :</i>	215,9	195,2	228,3	112	166,3	183,54
Flavones						
Lutéoline	0,26	0,11	0,15	0,1	0,13	0,15
Apigénine-7-O-glucoside	0,84	0,73	1,01	0,68	0,47	0,746
Apigénine	0,48	0,38	0,46	0,31	0,41	0,408
Kaempférol-7-O-glucoside	0,05	0,03	0,7	1,19	0,11	0,416
<i>Total :</i>	363,9	257,5	328,4	341,1	129,1	284
Flavanonols						
Taxifoline	0,16	0,46	0,33	0,33	0,24	0,304
Acides hydroxycinnamiques						
Acide cafféique	0,33	0,22	0,35	0,23	0,12	0,25
Acide coumarique-p	0,32	0,44	0,44	0,76	0,57	0,506
Acide férulique	23,8	23,43	13,24	23,48	19,48	20,686
Acide sinapique	7,2	4,29	2,97	2,78	2,6	3,968
Acide chlorogénique	224,4	214,3	308,3	89	185,7	204,34
<i>Total :</i>	251,8	245,6	325,1	117,7	208,5	229,74
Acides hydroxybenzoïques						
Acide gallique	4,53	2,22	4,8	3,2	3,2	3,59
Acide protocatechuique	28,61	7,29	21,15	6,58	17,22	16,17
Acide ellagique	19,7	14,17	24,04	22,88	22,49	20,656
Acide hydroxybenzoïque-p	2,51	2,15	2,24	2,92	1,16	2,196
<i>Total :</i>	55,4	25,8	52,2	35,6	44,1	42,62

	Idraded mix	Idraded	Idraded mix	Granny smith	Red delicious	Moyenne
Dihydrochalcones						
Phlorétine	0,77	0,7	0,98	0,29	0,78	0,704
Phlorizine	215,1	194,5	227,3	112	165,8	182,94
<i>Total :</i>	215,9	195,2	228,3	112	166,3	183,54
Flavones						
Lutéoline	0,26	0,11	0,15	0,1	0,13	0,15
Apigénine-7-O-glucoside	0,84	0,73	1,01	0,68	0,47	0,746
Apigénine	0,48	0,38	0,46	0,31	0,41	0,408
Coumarine						
Aesculine	9,38	8,8	10,67	7,96	9,68	9,298
Autres						
Resvératrol	0,16	0,89	0,82	0,24	0,22	0,466
Pterostilbene	0,19	0,9	0,7	0,35	0,29	0,486
Pinocembrine	0,39	0,32	0,22	0,25	0,29	0,294
Total :	899,9	736,1	948,6	619	560,5	752,82

Annexe 2 : Composition de la poudre de marc de pommes (Zlatanović et al., 2019a)

	Limite inférieure	Limite supérieure
Glucides totaux (g/100g)	48	55
Fibres (g/100g)	35	50
Lipides (g/100g)	1,3	4,3
Protéines (g/100g)	3,1	5,5
Azote (g/100g)	0,6	1
Cellulose (%)	13	19
Glucose (%)	7,7	16,8
Fructose (%)	20	33
Sacharose (%)	5,4	9,3
Sorbitol (%)	0,5	0,7
Potassium (mg/kg)	4642	6398
Calcium (mg/kg)	455	744
Sodium (mg/kg)	370	540
Magnesium (mg/kg)	394	715
Cuivre (mg/kg)	2,4	5
Zinc (mg/kg)	0,6	8,9

Annexe 3 : Définition de la hauteur de X selon le règlement (UE) n°1169/2011



Annexe 4 : Valeurs nutritionnelles de la farine de sarrasin

(Ciqua Table de composition nutritionnelle des aliments, s. d.)

Énergie (kJ/100g)	1470
Énergie (kcal/100g)	348
Protéines (g/100g)	11,5
Glucides (g/100g)	68,4
Lipides (g/100g)	2,19
Sucres (g/100g)	0,03
AG saturés (g/100g)	0,33
Sel chlorure de sodium (g/100g)	0,042
Fibres alimentaires	4,2

Annexe 5 : Valeurs nutritionnelles de l'huile végétale

(Ciqua Table de composition nutritionnelle des aliments, s. d.)

Énergie (kJ/100g)	3700
Énergie (kcal/100g)	900
Protéines (g/100g)	0,21
Glucides (g/100g)	0
Lipides (g/100g)	99,9
Sucres (g/100g)	0
AG saturés (g/100g)	13,5
Sel chlorure de sodium (g/100g)	0,0098
Fibres alimentaires (g/100g)	0

Annexe 6 : Valeurs nutritionnelles du sucre

(Ciqua Table de composition nutritionnelle des aliments, s. d.)

Énergie (kJ/100g)	1671,4
Énergie (kcal/100g)	399,2
Protéines (g/100g)	0
Glucides (g/100g)	99,8
Lipides (g/100g)	0
Sucres (g/100g)	99,8
AG saturés (g/100g)	0
Sel chlorure de sodium (g/100g)	0,0054
Fibres alimentaires (g/100g)	0

Annexe 7 : Valeurs nutritionnelles de la farine de maïs

(Ciqua Table de composition nutritionnelle des aliments, s. d.)

Énergie (kJ/100g)	1362
Énergie (kcal/100g)	323
Protéines (g/100g)	9,5
Glucides (g/100g)	60,7
Lipides (g/100g)	1,7
Sucres (g/100g)	0,9
AG saturés (g/100g)	0,3
Sel chlorure de sodium (g/100g)	0,01
Fibres alimentaires (g/100g)	2,55

Annexe 8 : Valeurs nutritionnelles de la féculé de pomme de terre

(Ciqua Table de composition nutritionnelle des aliments, s. d.)

Énergie (kJ/100g)	1480
Énergie (kcal/100g)	348
Protéines (g/100g)	0
Glucides (g/100g)	86,3
Lipides (g/100g)	0,2
Sucres (g/100g)	0
AG saturés (g/100g)	0,039
Sel chlorure de sodium (g/100g)	0,0094
Fibres alimentaires (g/100g)	0,55

Annexe 9 : Valeurs nutritionnelles de la gomme de guar

(Agence française de sécurité sanitaire des aliments (2010))

Énergie (kJ/100g)	774
Énergie (kcal/100g)	182
Protéines (g/100g)	5
Glucides (g/100g)	0
Lipides (g/100g)	1
Sucres (g/100g)	0
AG saturés (g/100g)	0
Sel chlorure de sodium (g/100g)	0
Fibres alimentaires (g/100g)	81

Annexe 10 : Valeurs nutritionnelles de la lécithine de soja

(Ciqua) Table de composition nutritionnelle des aliments, s. d.)

Énergie (kJ/100g)	3210
Énergie (kcal/100g)	779
Protéines (g/100g)	0
Glucides (g/100g)	8
Lipides (g/100g)	83
Sucres (g/100g)	3,3
AG saturés (g/100g)	12,6
Sel chlorure de sodium (g/100g)	0,038
Fibres alimentaires (g/100g)	Traces

Analyse sensorielle

Dégustation de cornets pour crèmes glacées

Un verre d'eau est mis à votre disposition afin de pouvoir vous rincer la bouche entre les dégustations.

PARTIE I : Test hédonique d'acceptabilité

Veillez répondre aux questions 1 à 3 **SANS** goûter l'échantillon.

1. Comment évaluez-vous la **couleur** de l'échantillon ?

☐	☐	☐	☐	☐
Très désagréable	Plutôt désagréable	Ni désagréable, ni agréable	Plutôt agréable	Très agréable

2. Comment évaluez-vous la **texture** (le touché) de l'échantillon ?

☐	☐	☐	☐	☐
Très désagréable	Plutôt désagréable	Ni désagréable, ni agréable	Plutôt agréable	Très agréable

3. Comment évaluez-vous l'**odeur** de l'échantillon ?

☐	☐	☐	☐	☐
Très désagréable	Plutôt désagréable	Ni désagréable, ni agréable	Plutôt agréable	Très agréable

Veillez répondre aux questions 4 à 5 **en goûtant** l'échantillon.

4. Comment évaluez-vous le **goût** (arômes/saveurs) de l'échantillon ?

☐	☐	☐	☐	☐
Très désagréable	Plutôt désagréable	Ni désagréable, ni agréable	Plutôt agréable	Très agréable

5. Comment évaluez-vous la **croustillance** de l'échantillon ?

☐	☐	☐	☐	☐
Très désagréable	Plutôt désagréable	Ni désagréable, ni agréable	Plutôt agréable	Très agréable

Veillez répondre aux questions 1 à 3 **SANS** goûter l'échantillon.

1. Comment évaluez-vous la **couleur** de l'échantillon ?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐
Très désagréable Plutôt désagréable Ni désagréable, ni agréable Plutôt agréable Très agréable

2. Comment évaluez-vous la **texture** (le touché) de l'échantillon ?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐
Très désagréable Plutôt désagréable Ni désagréable, ni agréable Plutôt agréable Très agréable

3. Comment évaluez-vous l'**odeur** de l'échantillon ?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐
Très désagréable Plutôt désagréable Ni désagréable, ni agréable Plutôt agréable Très agréable

Veillez répondre aux questions 4 à 5 **en goûtant** l'échantillon.

4. Comment évaluez-vous le **goût** (arômes/saveurs) de l'échantillon ?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐
Très désagréable Plutôt désagréable Ni désagréable, ni agréable Plutôt agréable Très agréable

5. Comment évaluez-vous la **croustillance** de l'échantillon ?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐
Très désagréable Plutôt désagréable Ni désagréable, ni agréable Plutôt agréable Très agréable

Veillez répondre aux questions 1 à 3 **SANS** goûter l'échantillon.

1. Comment évaluez-vous la **couleur** de l'échantillon ?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐
Très désagréable Plutôt désagréable Ni désagréable, ni agréable Plutôt agréable Très agréable

2. Comment évaluez-vous la **texture** (le touché) de l'échantillon ?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐
Très désagréable Plutôt désagréable Ni désagréable, ni agréable Plutôt agréable Très agréable

3. Comment évaluez-vous l'**odeur** de l'échantillon ?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐
Très désagréable Plutôt désagréable Ni désagréable, ni agréable Plutôt agréable Très agréable

Veillez répondre aux questions 4 à 5 **en goûtant** l'échantillon.

4. Comment évaluez-vous le **goût** (arômes/saveurs) de l'échantillon ?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐
Très désagréable Plutôt désagréable Ni désagréable, ni agréable Plutôt agréable Très agréable

5. Comment évaluez-vous la **croustillance** de l'échantillon ?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐
Très désagréable Plutôt désagréable Ni désagréable, ni agréable Plutôt agréable Très agréable

Veillez répondre aux questions 1 à 3 **sans goûter** l'échantillon.

1. Comment évaluez-vous la **couleur** de l'échantillon ?

☐	☐	☐	☐	☐
Très désagréable	Plutôt désagréable	Ni désagréable, ni agréable	Plutôt agréable	Très agréable

2. Comment évaluez-vous la **texture** (le touché) de l'échantillon ?

☐	☐	☐	☐	☐
Très désagréable	Plutôt désagréable	Ni désagréable, ni agréable	Plutôt agréable	Très agréable

3. Comment évaluez-vous l'**odeur** de l'échantillon ?

☐	☐	☐	☐	☐
Très désagréable	Plutôt désagréable	Ni désagréable, ni agréable	Plutôt agréable	Très agréable

Veillez répondre aux questions 4 à 5 **en goûtant** l'échantillon.

4. Comment évaluez-vous le **goût** (arômes/saveurs) de l'échantillon ?

☐	☐	☐	☐	☐
Très désagréable	Plutôt désagréable	Ni désagréable, ni agréable	Plutôt agréable	Très agréable

5. Comment évaluez-vous la **croustillance** de l'échantillon ?

☐	☐	☐	☐	☐
Très désagréable	Plutôt désagréable	Ni désagréable, ni agréable	Plutôt agréable	Très agréable

PARTIE II : Test d'évaluation des préférences

Veillez goûter séparément les 4 échantillons et évaluez votre préférence selon le caractère étudié.

1. Classez les échantillons selon votre préférence, en vous basant exclusivement sur la **couleur**?

☐ ... (meilleur)
☐ ...
☐ ...
☐ ... (moins bon)

2. Quel échantillon préférez-vous, en vous basant exclusivement sur la **texture**?

☐ ... (meilleur)
☐ ...
☐ ...
☐ ... (moins bon)

3. Quel échantillon préférez-vous, en vous basant exclusivement sur la **tenue en main**?

☐ ... (meilleur)
☐ ...
☐ ...
☐ ... (moins bon)

4. Quel échantillon préférez-vous, en vous basant exclusivement sur le **goût**?

☐ ... (meilleur)
☐ ...
☐ ...
☐ ... (moins bon)

5. De manière générale, quel échantillon **aimez-vous le plus** ? Et pourquoi ?

Numéro : ...

Pourquoi ? _____

6. De manière générale, quel échantillon **aimez-vous le moins** ? Et pourquoi ?

Numéro : ...

Pourquoi ? _____

7. Détectez-vous un arôme de **pommes** ? Si oui, dans quel(s) échantillon(s) ?

Numéro : ...
...
...
...

Partie III:

Pour terminer ce questionnaire et afin de caractériser la population échantillonnée, veuillez répondre à ces deux questions.

Quel est votre genre ?

- ☐ Femme
☐ Homme

Dans quelle tranche d'âge vous trouvez-vous ?

- ☐ < 18 ans
☐ 18 ans - 25 ans
☐ 26 ans - 35 ans
☐ 36 ans - 45 ans
☐ 46 ans - 55 ans
☐ 56 ans - 65 ans
☐ > 65 ans

Nous vous remercions sincèrement du temps que vous venez de consacrer à ce questionnaire.

Laurent Seutin et Jeanne Verhaegen

Annexe 11 : Analyse sensorielle : classement des 4 types de cornets selon 4 caractéristiques (couleur, texture, tenue en main et goût).

Chaque numéro représente le nombre de personne ayant cocher la caractéristique : par exemple : le « cornet 26 % » est arrivé 10 fois en première position pour sa couleur.

« Cornet 26% marc de pommes »	1^{ère} position	2^e position	3^e position	4^e position
COULEUR	10	20	28	5
TEXTURE	19	18	19	7
TENUE	17	19	26	1
GOÛT	22	19	20	2

Nombre totale de personnes : 63

« Cornet 63% marc de pommes »	1^{ère} position	2^e position	3^e position	4^e position
COULEUR	0	5	13	45
TEXTURE	8	8	20	28
TENUE	5	13	7	38
GOÛT	8	8	7	40

Nombre totale de personnes : 63

MIRAN sans gluten	1^{ère} position	2^e position	3^e position	4^e position
COULEUR	40	15	6	2
TEXTURE	26	18	11	8
TENUE	15	22	16	10
GOÛT	19	26	11	7

Nombre totale de personnes : 63

LE VESUVE avec gluten	1^{ère} position	2^e position	3^e position	4^e position
COULEUR	13	23	16	11
TEXTURE	10	19	13	20
TENUE	26	9	14	14
GOÛT	14	10	25	14

Nombre totale de personnes : 63

Annexe 12 : Analyse statistique de l'ajout de gomme de guar dans les formulations

	Sans guar		Avec guar
	Échantillon 1		Échantillon 2
1	12,06		9,82
2	11,32		9,45
3	10,08		8,09
4	12,83		16,28
5	8,22		9,45
6	9,81		20,30
7	6,74		16,19
8			10,00
9			7,05
10			15,24
11			8,72
12			16,73
Moyennes	10,15		12,28
Variances	4,61		19,00
Variance commune		13,70	
Effectif	7		12
Différence de moyennes		2,13	

H0 : Aucune différence si présence ou non de guar

H1 : Différence entre les 2 groupes

Valeur de t	1,2075
Degrés liberté	17
t limite (alpha=5% ; unilatéral)	1,7396
p(>t)	0,2438

t limite > t => Acceptation
H0

Annexe 13 : Analyse statistique du vieillissement des « cornets 26% »

	Temps (semaines)	Cornet 1	Cornet 2	Moyenne	Variance
	0	9,876	9,692	9,784	0,017
	1	8,088	16,279	12,184	33,543
	2	11,817	4,697	8,257	25,347
	3	11,537	13,777	12,657	2,509
	4	9,451	20,299	14,875	58,835
	5	9,752	11,392	10,572	1,345
	6	16,189	9,824	13,006	20,260
	7	18,511	7,811	13,161	57,245
				11,812	24,888
Source	Somme²	Degré de liberté	Carrés moyens	F	p>F
Effet	63,546	7	9,078	0,365	0,899
Erreur	199,101	8	24,888		
Total	262,647	15	17,510	F limite	3,5

Annexe 14 : Analyse statistique du vieillissement des cornets 63%

Temps (semaines)	Cornet 1	Cornet 2	Moyenne	Variance
0	9,017	6,037	7,527	4,440
1	10,718	10,270	10,494	0,101
2	9,431	5,522	7,477	7,639
3	13,268	12,528	12,898	0,274
4	24,792	19,192	21,992	15,680
5	6,688	10,808	8,748	8,487
6	11,620	8,000	9,810	6,552
7	8,705	19,445	14,075	57,674
8	4,235	5,075	4,655	0,353
			10,853	11,244

Source	Somme ²	Degré de liberté	Carrés moyens	F	p>F
Effet	410,328	8	51,291	4,561	0,018
Erreur	101,199	9	11,244		
Total	511,527	17	30,090	F limite	3,23

Annexe 15 : Développement à l'échelle de la boîte

