

Conception de snacks apéritifs à base de drêches de brasserie

Auteur : Mabillard, Maurine

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/2268.2/16175>

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.



Conception de snacks apéritifs à base de drêches de brasserie

BÉKA Marie, D'HONDT Lisa, MABILLARD Maurine

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

Promoteur : Blecker C.

Co-Promoteur : Léonard P.

Parrain industriel : Gobron P.

Année académique 2021 - 2022

Remerciements

Nous souhaitons dans un premier temps remercier le Professeur Christophe Blecker, notre promoteur, qui nous a guidés tout au long de ce travail et qui a mis à disposition son laboratoire.

Nous remercions également le Professeur Nicolas Jacquet, pour ses conseils et le temps qu'il nous a consacré durant les étapes d'extrusion.

Nous tenons aussi à adresser nos remerciements à M. Pascal Léonard, notre co-promoteur, pour ses conseils et pour nous avoir incités à réfléchir davantage au niveau de l'écoconception de l'emballage.

Pour continuer, nous remercions M. Pierre Gobron, notre parrain industriel, de nous avoir fourni les drêches de brasserie et pour son engagement dans ce projet.

Nous tenons également à adresser notre reconnaissance à Mme. Marjorie Servais, à M. Sandrino Filocco et à tout le personnel du laboratoire pour leurs conseils, leur aide et le temps qu'ils nous ont consacré.

Et pour finir, nous sommes reconnaissantes envers Emery Bosten pour ses conseils sur les statistiques et nos familles pour leur soutien tout au long de cette année.

Abstract

To respond to the problem of food resource scarcity, extruded and expanded snacks and crackers, that make use of a by-product of the brewing industry, brewer's spent grain, were developed.

This work is based on the five S's principle: Safety, Society, Service, Health and Satisfaction (Sécurité, Société, Service, Santé et Satisfaction).

A market survey was conducted to assess consumer interest and expectations for these snacks.

A literature review showed that brewer's spent grains hold several advantages, including high fibre and protein content, but these same advantages can become drawbacks in the formulation of extruded snacks by reducing expansion and increasing hardness. The addition of pectin has been studied to counteract this problem. Fibre has also caused difficulties in the development of crackers, particularly in dough formation, as it has a higher water retention capacity than flour.

The omega-3 provided by flaxseed and rapeseed oil increase the risk of oxidation, therefore rosemary extract was tested, and an eco-designed packaging was developed to reduce this risk.

Résumé

Afin de répondre à la problématique de pénurie de ressources alimentaires, des snacks extrudés et expansés ainsi que des crackers valorisant un sous-produit de l'industrie brassicole, la drêche de brasserie, ont été élaborés.

Ce travail est axé sur le principe des cinq S : Sécurité, Société, Service, Santé et Satisfaction. Une étude de marché a été menée pour évaluer l'intérêt et les attentes des consommateurs envers ces snacks apéritifs.

Une recherche dans la littérature a permis de montrer que les drêches de brasseries possèdent des avantages, notamment une teneur élevée en fibres et en protéines. Mais celles-ci présentent également des inconvénients au niveau de la formulation des snacks extrudés en réduisant leur expansion et en augmentant leur dureté. L'ajout de la pectine a été étudié pour contrer ce problème. Les fibres ont aussi entravé la mise au point des crackers, particulièrement au niveau de la formation de la pâte, car leur capacité de rétention d'eau est plus élevée que celle de la farine.

L'ajout de graines de lin et d'huile de colza permet d'enrichir les snacks en oméga-3, mais augmente leur risque d'oxydation. Pour cette raison, l'extrait de romarin a été testé comme antioxydant et un emballage hautement protecteur et éco-conçu a été réfléchi.

Liste des abréviations

A : ampère

AA : acide aminé

AAE : acide aminé essentiel

AGPI : acide gras poly-insaturés

AGS : acide gras saturés

ALA : acide alpha-linolénique

Aw : activité de l'eau

cm : centimètre

CSS : Conseil Supérieur de la Santé

DDM : date de durabilité minimale

dm : décimètre

DHA : acide docosahexaénoïque

ECA : Échange Céréales-Aliments

EPA : acide eicosapentaénoïque

FSC : Forest Stewardship Council

g : gramme

HR : humidité relative

ISP : Institut Scientifique de Santé Publique

Kcal : kilocalorie

kg : kilogramme

l : litre

LNA : acide linoléique

µm : micromètre

mm : millimètre

mg : milligramme

MS : matière sèche

N : Newton

PEFC : Programme for Endorsement of Forest Certification Schemes

PHA : polyhydroxyalcanoates

PLA : acide polylactique

PNNS : Programme national nutrition santé

rpm : rotation per minute

ufc : unité formant colonie

UV : ultra-violet

Table des matières

REMERCIEMENTS.....	I
ABSTRACT.....	II
RESUME.....	III
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	IV
LISTE DES FIGURES.....	XII
LISTE DES TABLEAUX.....	XIX
LISTE DES ANNEXES.....	XXII
I. INTRODUCTION	1
II. ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE	2
1. LES DIFFÉRENTES GAMMES DU SNACKING.....	2
2. L'EXTRUSION.....	4
2. 1 LES TYPES D'EXTRUSIONS.....	4
2. 2 LE PROCESSUS D'EXTRUSION.....	5
2. 2. 1 <i>Le rôle de l'amidon</i>	5
2. 2. 2 <i>Les types d'extrudeuses</i>	6
2. 2. 3 <i>Les paramètres de l'extrudeuse</i>	7
2. 3 BÉNÉFICES DE L'EXTRUSION SUR L'OXYDATION.....	9
3. LES CRACKERS	10
3. 1 LES DIFFÉRENTS TYPES DE CRACKERS	10
3. 2 LES DIFFÉRENTS INGRÉDIENTS DES CRACKERS.....	11
3. 2. 1 <i>La farine de blé tendre</i>	11
3. 2. 2 <i>L'eau</i>	11
3. 2. 3 <i>La matière grasse</i>	11
3. 2. 4 <i>Le sel</i>	12
3. 2. 5 <i>Les agents levants</i>	12
3. 2. 6 <i>Le sucre</i>	12
3. 3 LA STRUCTURE DE LA PÂTE.....	13
3. 3. 1 <i>L'impact de la farine complète</i>	14
3. 4 FABRICATION INDUSTRIELLE DES CRACKERS.....	14
4. L'ASPECT SENSORIEL : LE CROUSTILLANT	17
5. LES COMPOSANTS PRINCIPAUX DES SNACKS	18
5. 1 LES DRÊCHES DE BRASSERIE.....	18
5. 1. 1 <i>Processus de fabrication de la bière : l'origine des drêches</i>	19
5. 1. 2 <i>Composition</i>	20
5. 1. 3 <i>Les propriétés et fonctionnalités de la drêche de brasserie</i>	24
5. 1. 4 <i>La valorisation des drêches de brasserie</i>	25
5. 1. 5 <i>La conservation de la drêche de brasserie</i>	27
5. 1. 6 <i>L'influence de la drêche de brasserie sur l'extrusion</i>	28
5. 1. 7 <i>L'influence des drêches sur les crackers</i>	30

5. 1. 8 APPRÉCIATION DES CRACKERS AUX DRÊCHES DE BRASSERIE	31
5. 2 LES GRAINES DE LIN	32
5. 2. 1 Composition.....	32
5. 2. 2 Recommandation en ALA	33
5. 3 L'HUILE DE COLZA	33
5. 3. 1 Composition.....	33
5. 4 LA FARINE DE MAÏS	34
6. LA SÉCURITÉ ET LA CONSERVATION DES PRODUITS	35
6. 1 L'ACTIVITÉ DE L'EAU	35
6. 2 L'OXYDATION	36
6. 2. 1 Les additifs antioxydants	38
6. 3 LES RISQUES MICROBIOLOGIQUES	38
6. 3. 1 Risques microbiologiques des drêches de brasseries.....	39
6. 3. 2 Risques microbiologiques des produits finis	40
6. 4 LES RISQUES CHIMIQUES	41
6. 5 LES RISQUES PHYSIQUES	43
III. LE CAHIER DES CHARGES.....	44
1. SÉCURITÉ	44
2. SOCIÉTÉ.....	44
3. SERVICE.....	45
4. SANTÉ	45
5. SATISFACTION.....	46
6. PREMIERE FORMULATION DES SNACKS EXTRUDES	46
7. PREMIERE FORMULATION DES CRACKERS	47
IV. L'ÉTUDE DE MARCHÉ	49
1. THÈME	49
2. OBJECTIFS	49
3. PRÉ-ENQUÊTE	49
3. 1 LES HABITUDES ALIMENTAIRES.....	49
3. 1. 1 La consommation d'alcool.....	49
3. 1. 2 Le grignotage.....	51
3. 1. 3 Les recommandations nutritionnelles de snacks apéritifs	52
3. 2 LE MARCHÉ DU SNACKING APÉRITIF	53
3. 2. 1 Les snacks salés	53
3. 2. 2 Les tendances des snacks sains	55
3. 3 LE MARCHÉ DU BIO	56
3. 4 LE GASPILLAGE ALIMENTAIRE.....	57
3. 5 L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE.....	58
3. 6 ANALYSE DE LA CONCURRENCE	59
3. 6. 1 La concurrence directe : les snacks apéritifs à base de drêche.....	59
3. 6. 2 La concurrence indirecte : autres produits alimentaires à base de drêches.....	60
3. 6. 3 La concurrence indirecte : les snacks apéritifs sans drêches	60
3. 6. 4 Conclusion de l'analyse de la concurrence	61

4. PRÉ-ENQUÊTE PAR APPEL TÉLÉPHONIQUE	61
4. 1 LES MAGASINS BIOLOGIQUES : QUESTIONS.....	61
4. 2 LES MAGASINS BIOLOGIQUES : RÉSUMÉ.....	62
4. 3 LES CONSOMMATEURS : QUESTIONS.....	62
4. 4 LES CONSOMMATEURS : RÉSUMÉ.....	63
4. 5 CONCLUSION DE LA PRÉ-ENQUÊTE.....	64
5. PREMIÈRES HYPOTHÈSES	64
6. PERSONAS.....	65
7. ÉTUDE DE MARCHÉ QUALITATIVE	67
7. 1 CONCLUSION DE L'ÉTUDE QUALITATIVE.....	67
8. ÉTUDE DE MARCHÉ QUANTITATIVE	67
8. 1 ANALYSE DE LA POPULATION.....	68
8. 2 ORDINOGRAMME.....	69
8. 3 NETTOYAGE DES DONNÉES	70
8. 4 DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLON	70
8. 4. 1 Description en fonction du sexe, de l'âge et de la communauté.....	70
8. 4. 2 Répartition selon le lieu de vie et le niveau d'étude.....	72
8. 5 ANALYSE DESCRIPTIVE DES RÉSULTATS.....	73
8. 5. 1 La consommation d'alcool.....	73
8. 5. 2 La consommation de snacks apéritifs.....	74
8. 5. 3 La revalorisation des drêches de brasserie.....	81
8. 5. 4 Le prix	83
8. 6 STATISTIQUE ANALYTIQUE DES RÉSULTATS	85
8. 6. 1 Intention d'achat.....	85
8. 6. 2 Connaissances sur les drêches de brasserie.....	88
8. 6. 3 Prix maximal.....	89
9. CONCLUSION	91
V. DÉVELOPPEMENT DES SNACKS APÉRITIFS	93
1. MATÉRIEL ET MÉTHODES	93
1. 1 LES MATIÈRES PREMIÈRES.....	93
1. 1. 1 Les matières premières de base	93
1. 1. 2 Les additifs.....	94
1. 1. 3 Les épices.....	94
1. 2 PRÉPARATION DES MATIÈRES PREMIÈRES	94
1. 2. 1 La drêche de brasserie.....	94
1. 2. 2 Le maïs.....	96
1. 3 L'ANALYSE DES MATIÈRES PREMIÈRES	96
1. 3. 1 La matière sèche.....	96
1. 3. 2 Les protéines.....	96
1. 3. 3 Les lipides	97
1. 3. 4 Les fibres.....	98
1. 3. 5 L'Amidon.....	99
1. 3. 6 L'amylose et l'amylopectine	101
1. 3. 7 Les cendres	101
1. 3. 8 L'activité de l'eau.....	102

1. 3. 9	La capacité de rétention d'eau	102
1. 3. 10	La capacité de rétention d'huile	102
1. 3. 11	Les tests microbiologiques sur la drêche de brasserie	103
1. 4	LA FABRICATION ET L'ANALYSE DES SNACKS EXTRUDÉS	104
1. 4. 1	Diagramme de fabrication des snacks extrudés	105
1. 4. 2	Préparation du mélange	105
1. 4. 3	L'extrusion	106
1. 4. 4	L'enrobage	107
1. 4. 5	La texture	107
1. 4. 6	La couleur	108
1. 4. 7	La teneur en matière sèche	108
1. 4. 8	L'activité de l'eau	108
1. 4. 9	La taille, la masse et la densité apparente des snacks extrudés	109
1. 4. 10	La teneur en lipides du produit fini	110
1. 4. 11	Tests de vieillissement	110
1. 4. 12	Test de vieillissement accéléré : l'oxydation de l'huile d'enrobage	110
1. 5	LA FABRICATION ET L'ANALYSE DES CRACKERS	111
1. 5. 1	Diagramme de fabrication des crackers	111
1. 5. 2	Le mélange	112
1. 5. 3	Le laminage	112
1. 5. 4	La découpe	113
1. 5. 5	La cuisson	113
1. 5. 6	La texture	113
1. 5. 7	La couleur	114
1. 5. 8	La teneur en matière sèche	114
1. 5. 9	L'activité de l'eau	114
1. 5. 10	La teneur en lipides du produit fini	114
1. 5. 11	Tests de vieillissement accéléré	115
1. 5. 12	Les tests microbiologiques	115
2.	RÉSULTATS ET DISCUSSION	116
2. 1	LE SÉCHAGE DES DRÊCHES DE BRASSERIE	116
2. 1. 1	Le séchage à l'étuve	116
2. 2	LES ANALYSES SUR LA MATIÈRE PREMIÈRE	119
2. 2. 1	L'activité de l'eau	120
2. 2. 2	La matière sèche	120
2. 2. 3	Les protéines	121
2. 2. 4	Les lipides	121
2. 2. 5	L'amidon et pourcentage d'amylose et d'amylopectine	121
2. 2. 6	Les fibres insolubles et solubles	122
2. 2. 7	Les cendres	122
2. 2. 8	La capacité de rétention d'eau	122
2. 2. 9	La capacité de rétention d'huile	124
2. 2. 10	L'analyse microbiologique	125
2. 3	L'ÉLABORATION DES SNACKS EXTRUDÉS	127
2. 3. 1	Mise au point des paramètres	127
2. 3. 2	Mise au point des formulations	128
2. 3. 3	Étude de l'influence de l'incorporation de la drêche de brasserie	130
2. 3. 4	Étude de l'influence de l'incorporation de la pectine	137

2. 3. 5 Étude de l'influence de l'incorporation de graines de lin.....	139
2. 3. 6 Étude de l'influence des graines de lin et de la pectine en plus des drêches de brasserie.....	142
2. 3. 7 Étude de l'influence du débit.....	146
2. 3. 8 Études de l'influence de la taille des drêches de brasserie.....	147
2. 3. 9 Formulation finale du snack extrudé.....	148
2. 3. 10 Tableau résumé des snacks extrudés réalisés.....	149
2. 3. 11 L'enrobage du snack extrudé final.....	151
2. 3. 12 Analyses du snack extrudé avec enrobage.....	152
2. 3. 13 L'influence du vieillissement sur trois mois.....	157
2. 3. 14 Test de vieillissement accéléré sur l'huile d'enrobage.....	160
2. 3. 15 Conclusion de la conception de snacks extrudés.....	163
2. 4 ÉLABORATION DES CRACKERS.....	165
2. 4. 1 Mise au point des paramètres.....	165
2. 4. 2 Mise au point des formulations.....	165
2. 4. 3 Mise au point du goût.....	166
2. 4. 4 Étude de l'influence de l'incorporation de drêches de brasserie.....	166
2. 4. 5 Étude de l'influence du type de four.....	171
2. 4. 6 Étude de l'influence de l'incorporation de bicarbonate.....	173
2. 4. 7 Conclusion de l'analyse des crackers.....	175
2. 4. 8 Tableau résumé des crackers réalisés.....	176
2. 4. 9 Analyses du cracker final.....	179
2. 4. 10 Analyse du vieillissement accéléré.....	183
2. 4. 11 Analyse de l'oxydation sur les crackers.....	187
2. 4. 12 L'analyse microbiologique.....	189
2. 4. 13 Conclusion de la conception des crackers.....	191
2. 5 MISE EN PLACE D'UNE ANALYSE SENSORIELLE.....	193
VI. L'EMBALLAGE.....	195
1. LE CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL DU PACKAGING.....	195
2. LES MATÉRIAUX D'EMBALLAGES.....	199
2. 1 LES MATÉRIAUX D'EMBALLAGE DE LA CONCURRENCE.....	199
2. 1. 1 Emballages de chips et snacks extrudés.....	199
2. 1. 2 Crackers et biscuits salés.....	200
2. 2 LES MATÉRIAUX D'EMBALLAGE ALTERNATIFS ET ÉCO-CONÇUS.....	202
2. 3 LES MATÉRIAUX D'EMBALLAGES À BASE DE DRÊCHES DE BRASSERIE.....	204
3. CHOIX DE L'EMBALLAGE.....	205
3. 1 L'EMBALLAGE DES SNACKS EXTRUDÉS.....	206
3. 1. 1 L'emballage primaire.....	206
3. 1. 2 L'emballage secondaire et tertiaire.....	208
3. 2 L'EMBALLAGE DES CRACKERS.....	209
3. 2. 1 L'emballage primaire.....	209
3. 2. 2 L'emballage secondaire et tertiaire.....	210
3. 3 L'EMBALLAGE « ACTION PROMOTIONNELLE ».....	211
3. 3. 1 L'emballage primaire.....	211
3. 3. 2 L'emballage secondaire et tertiaire.....	212
4. DESIGN ET INFORMATIONS DE L'EMBALLAGE.....	213
4. 1 LE LOGO.....	213

4. 2 L'EMBALLAGE PROMOTIONNEL.....	213
4. 3 L'ÉTIQUETTE.....	215
5. RESPECT DU CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL DE L'EMBALLAGE.....	216
6. CONCLUSION DE L'EMBALLAGE.....	219
VII. CONCLUSION	220
VIII. BIBLIOGRAPHIE.....	221
1. LIVRES.....	221
2. BIBLIOGRAPHIE	223
3. WEBOGRAPHIE	246
VIII. ANNEXE	I

Liste des figures

Figure 1 : Le schéma de fabrication des snacks de deuxième et de troisième génération (Joy et al., 2012).	3
Figure 2 : Schéma d'une extrudeuse baxis et ses parties différentes (modèle Evolum 53, Clextal, 1999) (Roustel et al., 2000).	7
Figure 3 : Water biscuits (Sykes & Davidson, 2020).	10
Figure 4 : Cream cracker (Sykes & Davidson, 2020).	11
Figure 5 : Microstructures d'une pâte à crackers. a) pâte mal mélangée b) pâte bien mélangée, puis, de de c) à h) la pâte bien mélangée avec : c) après 2 min de cuisson, d) après 4 min de cuisson, e) après 6 min de cuisson (centre du cracker), f) après 6 min de cuisson (bord du cracker), g) après 12 min de cuisson (pâte cuite) (centre du cracker), h) après 12 min de cuisson (pâte cuite) (bord du cracker) (Chong et al., 2017).	13
Figure 6 : Mixer horizontal (Open frame tree-roller bar horizontal mixer).	15
Figure 7 : Laminoir à trois rouleaux (Chavan et al. 2016).	15
.....	16
Figure 8 : Système de moulage rotatif avec A) rouleau de forcing, B) rouleau de montage, C) rouleau d'extraction, D) lame, E) revêtement en caoutchouc et bande d'extraction et F) lame de nettoyage (Chavan et al., 2011).	16
Figure 9 : Exemple de ligne de production de « laminage-jaugeage-découpage » pour crackers à grande échelle.	16
Figure 10 : représentation de la force nécessaire à casser un crackerbread à différentes Aw (Arimi et al., 2010).	18
Figure 11 : représentation de la fréquence sonore produite par la cassure d'un crackerbread à différentes Aw (Arimi et al., 2010).	18
Figure ... : représentation de la force nécessaire à casser un crackerbread à différentes Aw (Arimi et al., 2010).	Erreur ! Signet non défini.
.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 12 : Diagramme de fabrication de la bière (adapté de Brasseurs Belges, 2007 ; Blecker, 2020).	20
Figure 13 : Illustration du principe d'expansion avec (2) et sans fibres (1).	29
Figure 14 : Hierarchical value map des crackers (Crofton & Scannell, 2020).	32
Figure 15 : Corrélation entre l'oxydabilité et la teneur en acide α -linoléique, pour les différentes huiles vierges de lin, cameline, colza et olive, dans des conditions isothermes à 60 °C (Dridi, 2016).	34
Figure 16 : Principaux agents de dégradation des aliments en fonction de l'Aw (Baldet & Colas, 2012 ; adapté de Labuza et al., 1971).	35
Figure 17 : Évolution de l'auto-oxydation des acides gras insaturés au cours du temps (Cuvelier et Maillard, 2012, adapté de Labuza & Dugan, 1971).	36

Figure 18 : Représentation schématique de l'effet antioxydant (pointillés : cinétique témoin ; traits pleins : cinétique avec antioxydant) (Cuvelier & Maillard, 2012).	37
Figure 19 : MAD LAB, crackers « Drêche et thym ».	38
Figure 20 : Les différents microorganismes pouvant altérer la bière (ENILBIO, 2014).	39
Figure 21 : Les microorganismes qui peuvent être présents au niveau des drêches de brasserie six heures (T0) après leur production (Bianco et al., 2022).	40
Figure 22 : Prévalence de la surconsommation d'alcool dans la population âgée de 15 ans et plus, par groupes d'âges et par sexe, Belgique, 2018.	50
Figure 23 : Boissons consommées lors de l'apéritif en France (Lanco, 2021).	51
Figure 24 : Lieu privilégiés pour prendre un apéritif dans la population française (Lanco, 2021).	53
Figure 25 : Part du marché en 2018 (Perriot, 2018).	54
Figure 26 : Produits consommés lors de l'apéritif (Lanco, 2021).	54
Figure 27 : Chiffre d'affaires des segments de la catégorie produits apéritifs, en M €, et évolution en un an, en % (Lavabre, 2019).	54
Figure 28 : Consommation par an et par habitant dans différents pays européens (Chauvel, 2021).	55
Figure 29 : Ensemble des raisons freinant les Français à consommer des produits biologiques en 2018 (Statista, 2019).	57
Figure 30 : Structure de l'échantillon de l'étude (Apaq-W, 2020).	58
Figure 31 : Tendances ressorties de la pré-enquête : moments de consommation des snacks apéritifs.	63
Figure 32 : Tendances ressorties de la pré-enquête : critères de choix et de souhaits des snacks apéritifs.	63
Figure 33 : Tendances ressorties de la pré-enquête : snacks à base de drêches de brasserie.	64
Figure 34 : Premier persona.	65
Figure 35 : Deuxième persona.	66
Figure 36 : Troisième persona.	66
Figure 37 : Ordinoigramme du questionnaire.	69
Figure 38 : Répartition (en pourcent) des répondants hommes en fonction de l'âge.	70
Figure 39 : Répartition (en pourcent) des répondants femmes en fonction de l'âge.	70
Figure 40 : Répartition des répondants (en pourcent) en fonction de la communauté.	70
Figure 41 : Répartition (en pourcent) du lieu de vie en fonction de l'âge.	72
Figure 42 : Répartition (en pourcent) du niveau d'étude.	73
Figure 43 : Fréquence de consommation d'alcool (de type bière) lors des apéritifs (en pourcent) en fonction du sexe.	73
Figure 44 : Fréquence de consommation de snacks apéritifs (en pourcent).	74
Figure 45 : Fréquence de consommation de snacks apéritifs (en pourcent) en fonction du sexe.	75

Figure 46 : Fréquence de consommation de snacks apéritifs (en pourcent) en fonction de l'âge	75
Figure 47 : Préférences en termes de snacks apéritifs (en pourcent).....	76
Figure 48 : Préférences en termes de goût des chips/crackers (en pourcent).	77
Figure 49 : Préférences en termes de taille d'emballage (en pourcent).	78
Figure 50 : Pourcentage des répondants achetant des snacks apéritifs dans des magasins bio en fonction du niveau d'étude.....	79
Figure 51 : Caractéristiques importantes lors de l'achat d'un snack apéritif (en pourcent)...	80
Figure 52 : Pourcentage des répondants faisant attention à l'origine biologique lors de l'achat de snacks apéritifs en fonction de leur lieu de vie.	80
Figure 53 : Pourcentage des répondants achetant les snacks apéritifs dans des magasins biologiques en fonction de leur lieu de vie.....	81
Figure 54 : Raisons d'un non-intérêt de la consommation d'un snack apéritif à base de drêche de brasserie (en pourcent).....	82
Figure 55 : Aprioris concernant la consommation d'un snack apéritif à base de drêche de brasserie (en pourcent).....	83
Figure 56 : Le prix (pour 100 g) en dessous duquel la qualité du produit serait perçue comme médiocre (en pourcent).	83
Figure 57 : Prix au-dessus duquel le produit (pour 100 g) est perçu comme trop cher (en pourcent).	84
Figure 58 : Évaluation du prix psychologique pour 100 g de snacks apéritifs à base de drêche de brasserie.....	84
Figure 59 : Prix au-dessus duquel le produit (pour 100 g) est perçu comme trop cher (en pourcent) en fonction de l'âge.	85
Figure 60 : Séchage des drêches de brasserie en étuve à 70°C.....	94
Figure 61 : Presse hydraulique Hafico.	95
Figure 62 : Gâteau de drêches de brasserie après pressage.	95
Figure 63 : broyage des drêches de brasserie avec le rotor à couteau Fritsch	95
Figure 64 : Les drêches humides, sèches et broyées à < 750 µm (de gauche à droite).	96
Figure 66 : Évaporateur rotatif Büchi R210 et d'un bain thermostaté UKT3 EDB.	97
Figure 65 : Mojonnier avant (à droite) et après	97
(à gauche) hydrolyse acide.	97
Figure 67 : Filtration avec 2 filtres Whatman 2V pour obtenir une solution qui contient l'amidon et qui peut être analysée au polarimètre.....	100
Figure 68 : Four à moufle Nabertherm.	101
Figure 69 : Aqualab Decagon.	102
Figure 70 : Diagramme de fabrication des snacks extrudés.....	105
Figure 71 : Mélangeur Hobart avec une capacité de 5 kg.	105
Figure 72 : Extrudeuse bivis (Creuset-Loire).	106
Figure 73 : Refroidissement des snacks extrudés.....	106
Figure 74 : Stephan UMC 5 électronique utilisé pour l'enrobage des snacks extrudés.....	107

Figure 75 : Texturomètre SMS TA.XT2 avec la presse « HD/P50 50 mm DIA Cylinder Stainless » pour comprimer les snacks extrudés et analyser leur dureté et croustillance.	107
Figure 76 : Disposition des rondelles de snacks extrudés dans les récipients pour l'Aqualab.	109
Figure 77 : Rancimat Methohom 743.	110
Figure 78 : Diagramme de fabrication des crackers.	112
Figure 79 : Montage du texturomètre avec la lame Warner Bratzer Rectangular Natch Blade pour l'analyse de la texture des crackers.	113
Figure 80 : L'évolution de la matière sèche (%) de la drêche de brasserie séchée en étuve à 70 °C au cours du temps (h).....	117
Figure 81 : L'évolution de la matière sèche (%) de la drêche de brasserie séchée en étuve à 100 °C au cours du temps (min).....	118
Figure 82 : L'évolution de la matière sèche (%) de la drêche de brasserie séchée en étuve à 100 °C au cours du temps (min) avec un pressage préalable.....	118
Figure 83 : Les différents snacks extrudés en entier et avec leur coupe transversale dans l'ordre chronologique.	129
Figure 84 : La force (N) nécessaire (± 2 écarts-types) pour compresser un snack extrudé en fonction de la teneur en drêche à 0 %, 5 %, 10 % et 15 %.	130
Figure 85 : Le nombre de pics (± 2 écarts-types) en fonction de la teneur en drêche à 0 %, 5 %, 10 % et 15 %.	131
Figure 86 : Couleur des snacks extrudés en fonction du pourcentage de drêche (bleu foncé = 0 %, bleu clair = 5 %, vert = 10 % et jaune = 20 % de drêches).....	132
Figure 87 : La valeur de luminance L^* (± 2 écarts-types) en fonction de la teneur en drêche à 0 %, 5 %, 10 % et 15 %.	132
.....	132
Figure 88 : Couleur des snacks extrudés en fonction du pourcentage de drêches ajoutées (bleu foncé = 0 %, bleu clair = 5 %, vert = 10 % et jaune = à 20 % de drêches).....	133
Figure 89 : Graphique de la matière sèche des snacks extrudés (± 2 écarts-types) en fonction de la teneur en drêche à 0 %, 5 %, 10 % et 15 %.	134
Figure 90 : Pourcentage d'expansion (± 2 écarts-types) en fonction de la teneur en drêches à 0 %, 5 %, 10 % et 15 %.	135
Figure 91 : Coupe transversale des snacks extrudés avec différents taux d'incorporation de drêches à 0 %, 5 %, 10 % et 15 % (de gauche à droite).	135
Figure 92 : La densité apparente en fonction de la teneur en drêches à 0 %, 5 %, 10 % et 15 % par la méthode du berlin.	136
Figure 93 : Densité apparente (g/dm^3) par rapport au pourcentage d'expansion des snacks extrudés.	136
Figure 94 : Influence de la dureté (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 1 % de pectine sur des snacks à 0 %, 10 % et 15 % de drêches de brasserie.....	137
Figure 95 : Influence du nombre de pics (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 1 % de pectine sur des snacks à 0 %, 10 % et 15 % de drêches de brasserie.....	138

Figure 96 : Influence du pourcentage d'expansion (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 1 % de pectine sur des snacks à 0 %, 10 % et 15 % de drêches de brasserie.	138
Figure 97 : Influence de la densité apparente (g/dm^3) en fonction de l'incorporation de 1 % de pectine sur des snacks à 0 %, 10 % et 15 % de drêches de brasserie.....	139
Figure 98 : Influence de la dureté (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 5 % de graines de lin sur la formulation de base.....	140
Figure 99 : Influence du nombre de pics (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 5 % de graines de lin sur la formulation de base.....	140
Figure 100 : Influence du pourcentage d'expansion (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 5 % de graines de lin sur la formulation de base.....	141
Figure 101 : La densité apparente en fonction de l'ajout de graines de lin de l'ordre de 5 % par la méthode du berlin.....	141
Figure 102 : Coupe transversale des snacks extrudés en comparant l'impact de l'ajout des graines de lin.....	142
Figure 103 : Influence de la dureté (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 5 % de graines de lin et 1 % de pectine sur une formulation de snacks extrudés avec 10 %, 12,5 % et 15 % de drêches de brasserie.	143
Figure 104 : Influence du nombre de pics (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 5 % de graines de lin et 1 % de pectine sur une formulation de snacks extrudés avec 10 %, 12,5 % et 15 % de drêches de brasserie.	144
Figure 105 : Influence du pourcentage d'expansion (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 5 % de graines de lin et 1 % de pectine sur une formulation de snacks extrudés avec 10 %, 12,5 % et 15 % de drêches de brasserie.	144
Figure 106 : Influence de la densité apparente en fonction de l'incorporation de 5 % de graines de lin et 1 % de pectine sur une formulation de snacks extrudés avec 10 %, 12,5 % et 15 % de drêches de brasserie.	145
Figure 107 : Influence du pourcentage d'expansion (± 2 écarts-types) en fonction du débit pour les formulations à 0 %, 5 %, 10 % et 15 % de drêches.	146
Figure 108 : Influence du pourcentage d'expansion (± 2 écarts-types) en fonction de l'augmentation du débit sur des formulations avec un pourcentage de drêches croissant (10 %, 12,5 % et 15%) avec 1 % de pectine et 5 % de graines de lin.	147
Figure 109 : Influence du pourcentage d'expansion (± 2 écarts-types) en fonction de la taille de la drêche (entière ou broyée à $< 750 \mu\text{m}$) pour une formulation à 10 % de drêches.....	148
Figure 110 : Influence du temps (en semaines) sur la force de compression (en Newton) (± 2 écarts-types) du snack extrudé.....	158
Figure 111 : Influence du temps (en semaines) sur le nombre de pics (± 2 écarts-types) du snack extrudé.....	159
Figure 112 : Influence du temps (en semaines) sur l'activité de l'eau (± 2 écarts-types) du snack extrudé.....	159

Figure 113 : Influence du temps (en semaines) sur la matière sèche (en pourcent) (± 2 écarts-types) du snack extrudé.....	160
Figure 114 : Extrapolation du temps d'induction à 20 °C des snacks extrudés sans extrait de romarin à gauche et avec extrait de romarin à droite.	162
Figure 115 : La force nécessaire (± 2 écarts-types) à casser les crackers à pourcentage d'incorporation de drêche croissante (0 %, 5 %, 10 % et 15 %).	167
Figure 116 : Impact des différents taux d'incorporation de drêche de brasserie (0 %, 10 %, 15 % et 20 %), sur le nombre de pics (± 2 écarts-types).....	168
Figure 117 : La couleur des crackers par rapport au pourcentage de drêche.....	168
Figure 118 : La couleur des crackers par rapport au pourcentage de drêche.....	169
Figure 119 : L'épaisseur (± 2 écarts-types) des crackers à pourcentage d'incorporation de drêche croissante (0 %, 5 %, 10 % et 15 %).	169
Figure 120 : Influence de la teneur en drêche de brasserie de 0 %, 10 %, 15 % et 20 % sur la teneur en matière sèche (± 2 écarts-types) avec le four à air pulsé.	170
Figure 121 : Influence de la teneur en drêche de brasserie à 0 %, 10 %, 15 % et 20 % sur l'activité de l'eau (± 2 écarts-types).....	171
Figure 122 : Impact du four et du temps de cuisson sur le nombre de pics (± 2 écarts-types) sur la formulation de base du cracker.	172
Figure 123 : Impact du four et du temps de cuisson sur l'épaisseur (± 2 écarts-types) de la formulation de base du cracker.....	172
Figure 124 : Impact du four et du temps de cuisson sur l'activité de l'eau (± 2 écarts-types) sur la formulation de base du cracker.	173
Figure 125 : Influence de l'ajout de bicarbonate de soude sur la force (N) (± 2 écarts-types) sur des crackers à 15 % et 20 % de drêches.	174
Figure 126 : Influence de l'ajout de bicarbonate de soude sur le nombre de pics (± 2 écarts-types) sur des crackers à 15 et 20 % de drêches.	174
Figure 127 : Influence de l'ajout de bicarbonate de soude sur l'épaisseur (± 2 écarts-types) des crackers à 15 et 20 % de drêches.....	175
Figure 128 : Influence du temps (en jours) sur la force de nécessaire à couper le cracker (en Newton) sur des crackers avec et sans extrait de romarin.	184
Figure 129 : Influence du temps (jours) sur le nombre de pics des crackers (avec ± 2 écarts-types) sur des crackers avec et sans extrait de romarin.....	185
Figure 130 : Influence du temps (en semaines) sur l'activité de l'eau (avec ± 2 écarts-types) sur des crackers avec (A/E) et sans extrait de romarin (S/E).....	186
Figure 131 : Influence du temps (en jours) sur la matière sèche (en pourcent) (avec ± 2 écarts-types) des crackers sur des crackers avec (A/E) et sans extrait de romarin (S/E).....	186
Figure 132 : Extrapolation du temps d'induction de l'oxydation à 20 °C des crackers sans antioxydant.	187
Figure 133 : Extrapolation du temps d'induction de l'oxydation à 20 °C des crackers avec extrait de romarin.	188
Figure 134 : Illustration de l'utilisation des drêches au niveau de l'emballage.	204

Figure 135 : Fabrication d'un film biosourcé et biodégradable à base de drêche de brasserie (Moreirinha et al., 2020).....	205
Figure 136 : Machine form, fill and seal verticale avec une balance pondérale multi-têtes. /	207
Figure 137 : Plan du carton qui est l'emballage secondaire et le prêt à vendre (Self ready packaging with foldable cover) (Picador).	208
Figure 138 : L'emplacement des cartons sur la palette.....	208
Figure 139 : Schéma de l'emballage imaginé pour les crackers aux drêches de brasserie de face à droite et de profile à gauche.	209
Figure 140 : 6408 Active Lock de toasca avec en haut à droit la boite ouverte, à gauche la boite repliée et en bas ces mesures exactes.	210
Figure 141 : Idée d'empilage des boites à cracker dans l'emballage secondaire pour utiliser le moins d'espace.	211
Figure 142 : L'emplacement des bacs pliables remplis sur la palette.	211
Figure 143 : Conception du design de l'emballage promotionnel, avec le schéma de pliage (à gauche) et un prototype avec l'ouverture de la boîte (à droite).....	212
Figure 144 : l'emplacement que les cubes auraient dans le bac en plastique afin d'optimiser l'espace de manière optimale.....	213
Figure 145 : Conception du logo « Beer Snack ».	213
Figure 146 : Design de l'emballage promotionnel à gauche et de l'emballage des snacks extrudés à droite.....	214
Figure 147 : Design de trois faces (avant et deux cotés) de l'emballage promotionnel (images : « Les rescapés »).	214
Figure 148 : Étiquette des snacks extrudés aux drêches de brasserie.	215
.....	215
Figure 149 : Étiquette des crackers aux drêches de brasseries.	215

Liste des tableaux

Tableau 1 : Céréales pouvant être utilisées pour les snacks extrudés avec leurs propriétés fonctionnelles et la flaveur associée (inspiré de Riaz, 2015).....	6
Tableau 2 : Résumé des teneurs théoriques des différents composants de la drêche de brasserie.....	24
Tableau 3 : Normes des microorganismes pouvant être présents dans le produit fini.....	41
Tableau 4 : Risques chimiques de type mycotoxines (Règlement (CE) 1881/2006).....	42
Tableau 5 : Les risques chimiques de type pesticides et métaux lourds dans les drêches (Brasseurs Belges, 2007).	43
Tableau 6 : Recommandations en ce qui concerne la consommation de produits du groupe résiduel, par âge (De Ridder et al., 2016).	53
Tableau 7 : Distribution des principales raisons expliquant l’achat de produits biologiques, Belgique, 2014 (De Ridder, 2016).	56
Tableau 8 : Comparaison de différentes marques de biscuits apéritifs.....	60
Tableau 9 : La répartition des personnes qui devront répondre au questionnaire dans la communauté française en fonction de l’âge et du sexe.....	68
Tableau 10 : La répartition des personnes qui devront répondre au questionnaire dans la communauté flamande en fonction de l’âge et du sexe.	68
Tableau 11 : La répartition des personnes qui devront répondre au questionnaire dans la communauté germanophone en fonction de l’âge et du sexe.	68
Tableau 12 : Nombre de répondant par âge et sexe dans la communauté française.	71
Tableau 13 : Nombre de répondant par âge et sexe dans la communauté germanophone..	71
Tableau 14 : Nombre de répondant par âge et sexe dans la communauté flamande.	71
.....	72
Tableau 15 : Autres proposition en termes de préférence snacks apéritifs.	76
Tableau 16 : Autres proposition en termes de goût de chips/crackers apéritifs.....	77
Tableau 17 : Autres propositions en termes de lieu d’achats des snacks apéritifs.	78
Tableau 18 : Autres raisons d’un non-intérêt à la consommation de snacks apéritifs à base de drêche de brasserie.....	82
Tableau 19 : Paramètres utilisés pour l’analyse de texture des snacks extrudés.....	108
Tableau 20 : Paramètres utilisés pour l’analyse de texture des crackers.	114
Tableau 21 : L’évolution de la matière sèche des drêches de brasserie et du pourcentage d’eau évaporée en fonction du temps lors du séchage en étuve à 70 °C.	116
Tableau 22 : Résumé des compositions des matières premières.	119
Tableau 23 : Résultats de l’analyse de la capacité de rétention d’eau de la farine de blé, de la farine de maïs et de la farine de drêches de brasserie.....	123
Tableau 24 : Résultats de l’analyse de la capacité de rétention d’huile de la farine de blé, de la farine de maïs et de la farine de drêches de brasserie.	124
Tableau 25 : Bactéries lactiques dans les drêches de brasserie humides et sèches.....	125

Tableau 26 : Bactéries totales mésophiles dans les drêches de brasserie humides et sèches.	125
Tableau 27 : Levures et moisissures dans les drêches de brasserie humides et sèches.	126
Tableau 28 : Les différentes formulations réalisées selon le pourcentage de drêches de brasserie, de pectine, de graines de lin et de l'ampérage (soit le débit).	129
Tableau 29 : Résultats des analyses de la texture d'un snack sans et avec enrobage.	151
Tableau 30 : Présentation de la composition du snack extrudé et enrobé.	152
Tableau 31 : Comparaison des différents paramètres des Chipitos (Lay's) et nos snacks extrudés.	153
Tableau 32 : comparaison des valeurs nutritionnelles avec la référence Chipito et d'autres marques de chips classiques.	155
Tableau 33 : calcul du prix de revient pour 100g de snacks extrudés.	157
Tableau 34 : Les différents paramètres au cours du vieillissement sur trois mois.	158
Tableau 35 : L'analyse complète du cracker poivre et sel.	179
Tableau 36 : Résultats de la comparaison des crackers avec la référence MAD LAB.	180
Tableau 37 : Comparaison des crackers avec des marques de la concurrence.	181
Tableau 38 : calcul du prix de revient pour 100g de crackers.	183
Tableau 39 : Tableau des résultats des analyses de vieillissement des crackers sans extrait de romarin.	184
Tableau 40 : Tableau des résultats des analyses de vieillissement des crackers avec extrait de romarin.	184
Tableau 41 : Bactéries lactiques dans les crackers.	189
Tableau 42 : Bactéries totales dans les crackers.	189
Tableau 43 : Levures et moisissures dans les crackers.	190
Tableau 44 : Le cahier des charges fonctionnel du packaging (Léonard, 2021).	196
Tableau 45 : Emballages couramment retrouvés pour les chips.	199
Tableau 46 : Emballages couramment retrouvés pour les crackers et biscuits salés.	200
Tableau 47 : Emballages écoresponsables pour les chips et crackers.	202
Tableau 48 : Vérification du respect des points du cahier des charges fonctionnel du packaging en fonction des trois emballages proposés.	217
Tableau 49 : La concurrence directe.	v
Tableau 50 : La concurrence indirecte : les autres produits alimentaires à base de drêche.	viii
Tableau 51 : La concurrence indirecte : les autres snacks apéritifs sains (Nutri-Scores A & B).	ix
Tableau 52 : La concurrence indirecte : les autres snacks apéritifs.	x
Tableau 53 : Présentation des pré-tests pour obtenir une formulation de base des snacks extrudés.	xi
Tableau 54 : Présentation des formulations testées pour obtenir une formulation de snacks extrudés à base de drêches de brasserie.	xlii
Tableau 55 : Calcul du taux d'oméga-3 dans les crackers et snacks extrudés (Sebei, 2007 ; Prasad, 2009).	lii

Tableau 56 : Calcul du pourcentage d'acides gras saturés dans les snacks extrudés enrobés.	liii
Tableau 57 : Calcul du pourcentage d'acides gras saturés dans les cracker.	liii
Tableau 58 : Outil de calcul du Nutri-Score.	liv
Tableau 59 : Présentation des pré-tests pour obtenir une formulation de base des crackers.	lv
Tableau 60 : Présentation des essais pour obtenir un cracker aux drêches de brasserie.	lvii
Tableau 61 : Calcul de la teneur en protéine dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.	lxiv
Tableau 62 : Calcul de la teneur en lipides dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.	lxv
Tableau 63 : Calcul de la teneur en cendre dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.	lxvi
Tableau 64 : Calcul de la teneur en fibres solubles et insolubles dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.	lxvii
Tableau 65 : Calcul de la teneur en amidon dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.	lxix
Tableau 66 : Calcul de la teneur en amylose et en amylopectine dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.	lxxi
Tableau 67 : Résultats de l'activité de l'eau dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.	lxxii
Tableau 68 : Résultats la teneur en matière sèche dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.	lxxiii
Tableau 69 : Résultats la capacité de rétention d'eau de la farine de drêches de brasserie a différente granulométrie, de la farine de maïs et de la farine de blé blanche et complète.	lxxiv
Tableau 70 : Résultats de la capacité de rétention d'huile de la farine de drêches de brasserie a différentes granulométries, de la farine de maïs et de la farine de blé blanche et complète.	lxxv

Liste des annexes

Annexe 1 : Les allégations nutritionnelles et de santé	i
Annexe 2 : Le Nutri-Score	ii
Annexe 3 : La concurrence.....	v
Annexe 4 : L'étude qualitative	xii
Annexe 5 : Les questionnaires pour l'étude quantitative.....	xvii
Annexe 6 : Dosage de l'amylose apparent (Morrison & Laignelet, 1983).....	xxxiii
Annexe 7 : Détermination de la matière grasse	xxxvi
Annexe 8 : Tableau des différentes formulations des snacks extrudés	xl
Annexe 9 : Tableau du calcul du taux d'oméga-3 dans les snacks apéritifs	lii
Annexe 10 : Tableau du calcul des Nutri-Scores des snacks extrudés et des crackers	liii
Annexe 11 : Tableau des différentes formulations des crackers.....	lv
Annexe 12 : Détails des valeurs utilisées pour caractériser les matières premières et les snacks apéritifs	lxiv
Annexe 13 : Fiche technique de l'emballage	lxxvi
Annexe 14 : Estimation du prix de l'emballage	lxxvi

I. Introduction

À l'heure actuelle, la pénurie de matières premières est un thème de préoccupation grandissante. Les sous-produits de l'industrie agroalimentaire, notamment les drêches issues de l'industrie brassicole, permettent d'apporter une nouvelle ressource alimentaire, mais sont très peu revalorisées dans l'alimentation humaine (Robertson et al., 2010 ; Ikram et al., 2017). En effet, en raison de leur périssabilité, leur utilisation au niveau alimentaire n'est encore que peu répandue (Robertson et al., 2010 ; Ikram et al., 2017). Un processus de stabilisation est nécessaire à leur conservation (Jackowski et al., 2020).

L'objectif de ce travail est de créer une gamme de snacks apéritifs composée de snacks extrudés et expansés et de crackers valorisant des drêches de brasserie, tout en ayant une bonne composition nutritionnelle. Celle-ci est assurée par l'ajout des drêches qui apportent des fibres et des protéines (Mussatto & Roberto, 2005 ; Rachwał et al., 2020 ; Aliyu & Bala, 2011) et par des graines de lin et de l'huile de colza qui apportent des oméga-3 (Prasad, 2009). Les fibres ont montré plusieurs effets bénéfiques sur la santé par leur propriété prébiotique (Sebei, 2007 ; Lao et al., 2020), ainsi qu'en réduisant le taux de cholestérol, l'index glycémique du produit et en améliorant le métabolisme des lipides (Izydorczyk & Dexter, 2008 ; Bravi et al., 2020). Les oméga-3 ont des effets avantageux sur le système cardiovasculaire, les inflammations, le diabète et certains cancers (Thachil et al., 2014). Les ajouter aux snacks apéritifs permet d'améliorer leur composition nutritionnelle. Cependant, les oméga-3 sont très sensibles à l'oxydation (Genot et al., 2004), celle-ci doit être maîtrisée pour assurer la conservation du produit. L'ajout d'un antioxydant et d'un emballage adapté sont deux pistes envisagées. Cet emballage est également éco-conçu pour minimiser son impact sur l'environnement.

Afin d'établir les objectifs du cahier des charges, une recherche bibliographique est réalisée pour étudier les caractéristiques des techniques et des matières premières utilisées. L'objectif principal est l'incorporation du taux de drêches le plus élevé possible tout en gardant des caractéristiques physico-chimiques et sensorielles satisfaisantes. Pour le snack extrudé, trouver une formulation qui permet de garantir une texture optimale est important, car la flaveur des snacks extrudés est souvent peu développée (Dacremont, 2003).

Dans le but de déterminer la population cible, une étude de marché permettant de connaître les attentes des consommateurs vis-à-vis du prix, du lieu de vente, des caractéristiques et du goût des snacks apéritifs a été réalisée.

II. Étude bibliographique

La première partie de ce travail est dédiée à la recherche bibliographique afin de mieux connaître les techniques et les ingrédients utilisés. Pour commencer, les différentes gammes de snacking sont expliquées afin de pouvoir comprendre dans quelle catégorie se retrouvent les snacks extrudés et les crackers. Ensuite, les processus de fabrication des snacks apéritifs est développé, notamment le processus d'extrusion et la cuisson au four. Pour continuer, les différents composants des snacks sont détaillés. La drêche de brasserie étant l'ingrédient principal de ce travail, une partie conséquente y est dédiée. Pour terminer la partie bibliographique, les risques chimiques, biologiques et physiques des snacks apéritifs et de la drêche de brasserie sont étudiés.

1. Les différentes gammes du snacking

Les différents snacks disponibles sur le marché sont divisés en trois catégories.

Les snacks de première génération

Cette catégorie intègre tous les produits à ingrédient unique utilisés tels quels en tant que snacks ou tous les produits peu transformés comme les noix, les chips de pomme de terre ou encore le pop-corn (Riaz, 2015). Les crackers qui font l'objet de ce travail entrent dans cette catégorie.

Les snacks de deuxième génération

Cette catégorie comprend des snacks extrudés ayant une forme simple comme les tortillas, et des snacks soufflés/expansés à base de maïs, comme les Chipitos. Une extrudeuse est utilisée pour ce type de snacks (Riaz, 2015).

Les snacks de troisième génération

Également appelés des demi-produits ou pellets, cette catégorie comprend les snacks composés de plusieurs ingrédients et qui sont issus d'une cuisson par extrusion (Riaz, 2015). L'emploi d'une extrudeuse est donc essentiel pour ce type de snack. L'utilisation d'une basse pression est nécessaire pour éviter l'expansion du produit et aucune source de matière grasse qui pourrait s'oxyder n'est ajoutée. Les pellets issus de cette extrusion pourront être stockés avant d'être transformés ultérieurement (Joy et al., 2012). Ces aspects permettent d'améliorer la durée de vie du produit et de faciliter son stockage et son transport. Ces produits seront donc expansés dans un second temps par une cuisson à l'huile ou par une chaleur sèche. Ils seront ensuite assaisonnés et emballés. Pour une expansion idéale, le produit devra contenir au minimum 60 % d'amidon (Riaz, 2015).

Le snack extrudé qui fait l'objet de ce travail rentre dans la deuxième génération de snacks. Ceux-ci sont directement extrudés, expansés, assaisonnés et emballés (Joy et al., 2012).

La figure 1 reprend la fabrication des snacks de deuxième et troisième génération.

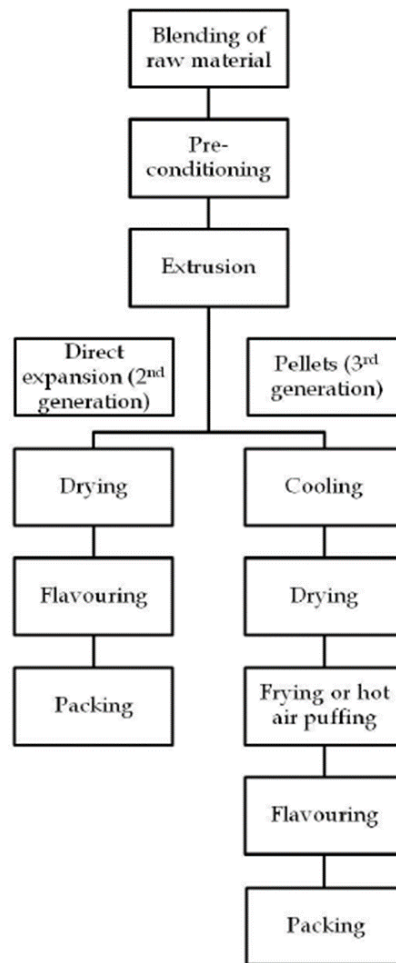


Figure 1 : Le schéma de fabrication des snacks de deuxième et de troisième génération (Joy et al., 2012).

Au niveau du codex Alimentarius, les snacks extrudés font partie de la catégorie des amuse-gueules salés prêts à être consommés (15.0). Plus précisément de la catégorie 15.1 qui inclut tous les amuse-gueules aromatisés ou non, autres que les crackers non sucrés (catégorie 07.1.2) (Codex alimentarius, 2019).

Exemples : pommes chips, pop-corn, bretzels, crackers de riz (*senbei*), crackers aromatisés (par exemple, au fromage), *bhujia* (namkeen; amuse-gueules obtenus à partir d'un mélange de farines, maïs, pommes de terre, sel, fruits séchés, arachides, épices, colorants, arômes et antioxydants) et *papads* (préparés à partir de farine de riz trempé ou de farine de haricot mungo ou de pois à vache, mélangée avec du sel et des épices, et présentés sous forme de boulettes ou de galettes) (Codex alimentarius, 2019).

Les snacks extrudés ne peuvent cependant pas porter l'appellation « chips », car cette dénomination est réservée aux produits à base de pommes de terre coupées obtenus après friture par immersion dans l'huile ou cuisson au four (Codex alimentarius, 2019).

2. L'extrusion

L'extrusion est une technique très répandue dans l'industrie céréalière pour augmenter le volume d'un produit par agglomération. Une pâte est formée par le mélange d'une farine, d'ingrédients secs (additifs, épices, ...) et d'une ou plusieurs sources de liquide (eau, huile). Cette pâte est pétrie, (chauffée), formée, texturée et extrudée (et expansée) pour obtenir le produit final (Bouvier & Campanella, 2014). Il existe plusieurs types d'extrusion.

L'extrusion suscite un intérêt croissant, car ce processus consomme peu d'énergie (Rol et al., 2017), possède une haute productivité et permet d'obtenir des formes uniques (Faraj et al., 2004 ; Yang et al., 2022). Plus les vis de l'extrudeuse vont vites, moins la machine consomme d'énergie (Kelly et al., 2006).

2. 1 Les types d'extrusions

Trois types d'extrusion existent et sont repris ci-dessous. La technique qui sera utilisée et développée pour la création des snacks apéritifs est celle de la « cuisson-extrusion-expansion ».

L'extrusion simple

Elle ne comporte ni cuisson ni expansion et est réalisée à une température ne dépassant pas 70 °C. Cette technique est utilisée uniquement pour la mise en forme de produits extrudés tels que les pâtes alimentaires. Cette extrusion se fait à basse pression (Pietsch, 1999).

La cuisson-extrusion

La pâte subit, durant un laps de temps très court, un traitement mécanique et thermique simultanément et continuellement. Le traitement mécanique consiste essentiellement en un cisaillement et en l'application d'une forte compression entraînant un échauffement de la pâte. Cette technique permet d'obtenir des produits tels que des snacks apéritifs (ready-to-eat), des biscuits de type « pain plat » et des céréales de petit-déjeuner. À la suite de ce procédé de cuisson-extrusion, les snacks apéritifs peuvent subir une cuisson à l'huile et un assaisonnement avant d'être emballés (Bouvier & Campanella, 2014).

La cuisson-extrusion-expansion

Les snacks apéritifs peuvent être extrudés et directement expansés. Ils présentent des caractéristiques telles qu'être aérés, croustillants et de formes diverses. Après expansion, ces snacks sont directement coupés et séchés sur des tapis pour atteindre le taux d'humidité souhaité. Les snacks ainsi formés peuvent être enrobés par un mélange d'huile et d'épices afin de les rendre plus savoureux. Ils sont ensuite refroidis et acheminés vers l'unité d'emballage. Cette technique d'extrusion permet de contrôler la quantité de graisse ajoutée au produit (Roustel et al., 2000).

La co-extrusion

Cette extrusion permet d'obtenir un produit possédant deux textures. En effet, un fourrage est directement injecté dans un produit à base de céréales durant l'extrusion (Bouvier & Campanella, 2014).

2. 2 Le processus d'extrusion

Différentes techniques peuvent être utilisées dans le domaine de l'extrusion, mais la technique développée et utilisée pour la réalisation de ce travail est celle de la cuisson-extrusion-expansion. La pression élevée exercée sur la pâte laisse l'eau contenue dans celle-ci à l'état liquide, même au-delà de 100 °C. Le phénomène d'expansion survient au retour à une pression atmosphérique au moment où la pâte est expulsée hors de l'extrudeuse. La vaporisation instantanée de l'eau entraîne l'expansion du produit (Roustel et al., 2000). La teneur en eau du produit va influencer la gélatinisation de l'amidon (Malumba et al., 2011).

2. 2. 1 Le rôle de l'amidon

L'amidon contenu dans la pâte est responsable de l'expansion finale du produit (Ainsworth et al., 2007). L'amidon est un sucre complexe contenant deux molécules constituées de glucose : l'amylopectine et l'amylose. Ce sucre est insipide et n'est pas apte, en tant que tel, à la consommation humaine. Une cuisson est par conséquent indispensable pour le rendre digeste. Le traitement par cuisson-extrusion qui est appliqué à l'amidon conduit à une modification de la structure de celui-ci. En effet, l'amidon de maïs se gélatinise à une température aux alentours de 70 °C (Dereuder, 2015) et en présence d'une quantité suffisante d'eau (Malumba et al., 2011).

L'amidon peut provenir de différentes sources, telles que le maïs, le blé, le riz, la pomme de terre, l'avoine et l'orge (Riaz, 2015). Théoriquement, toutes les céréales peuvent être extrudées. Mais si le but est l'obtention d'un produit fini expansé, l'utilisation de céréales contenant une part plus importante de matière grasse n'est pas recommandée, car celle-ci rend le produit plus dense. De plus, pour obtenir une belle expansion et une texture croustillante, l'utilisation d'amidon contenant entre 5 et 20 % d'amylose est favorable (Riaz, 2015).

Dans le tableau 1, les différentes céréales pouvant être utilisées pour la fabrication de snacks extrudés sont reprises. Chacune possède ses propres propriétés fonctionnelles (expansion et texture) et sa saveur associée. La céréale principale utilisée pour l'extrusion dans le cadre de ce travail est le maïs. La granulation grossière de sa farine permet d'obtenir une bonne expansion et une texture croustillante du produit fini. La variété généralement utilisée est du maïs denté en combinaison avec de l'amidon de maïs cireux. En effet, le maïs denté contient une proportion trop élevée d'amylose, en moyenne 25 à 35 %. L'ajout d'amidon de maïs cireux composé d'une quantité majoritaire d'amylopectine (> 95 %) permet donc d'arriver à un bon rapport entre l'amylose et l'amylopectine (Riaz, 2015 ; Zheng et al., 2013). Le rapport idéal est de 5 à 20 % d'amylose contre 80 à 95 % d'amylopectine (Riaz, 2015).

Cependant, certains articles contredisent cela et disent qu'un contenu plus élevé en amylose (jusqu'à 50 %) rendrait le snack plus croustillant, et permettrait une meilleure expansion de celui-ci. Ceci s'explique par le fait que l'amylose est responsable de la gélatinisation et donc de la bonne expansion du produit final (Thachil et al., 2013).

Tableau 1 : Céréales pouvant être utilisées pour les snacks extrudés avec leurs propriétés fonctionnelles et la saveur associée (inspiré de Riaz, 2015).

Raw material	Granule size (μm)	Flavor	Expansion	Texture	Amylose content	Amylopectin content
Waxy corn	5-20	Definite	Very good	Crispy	0 à 5 %	> 95 %
Dent corn	5-20	Definite	Very good	Crispy	25 à 35 %	65 à 75 %
Wheat	20-40	Mild	Good	Crispy	/	/
Rice	2-8	Bland	Good	Crispy	/	/
Oats	2-12	Very strong	Poor	Soft to hard	/	/
Barley	Medium to large	Mild	Poor to good	Soft to hard	/	/
Potato	60-100	Definite	Very good	Crispy	/	/
Tapioca	5-35	Bland	Good	Crispy	/	/

2. 2. 2 Les types d'extrudeuses

L'étude des différents composants d'une extrudeuse permet de comprendre son fonctionnement.

Une extrudeuse est composée de différentes parties (voir figure 2) :

- Un système d'alimentation (le débit étant mesuré en kg/h) (Stojceska et al., 2008 ; Stojceska et al., 2009 ; Ainsworth et al., 2007),
- Une partie contenant une ou deux vis,
- Un système de chauffage et un système de refroidissement,
- Une filière et un système de découpe à l'extrémité qui donne la taille et la forme au produit fini,
- Un groupe d'entraînement avec son moteur,
- Et un système de commande et de régulation (Roustel et al., 2000).

En résumé, l'extrudeuse peut être partagée en trois zones distinctes : la zone d'alimentation, la zone de fusion et la zone de pompage (Roustel et al., 2000).

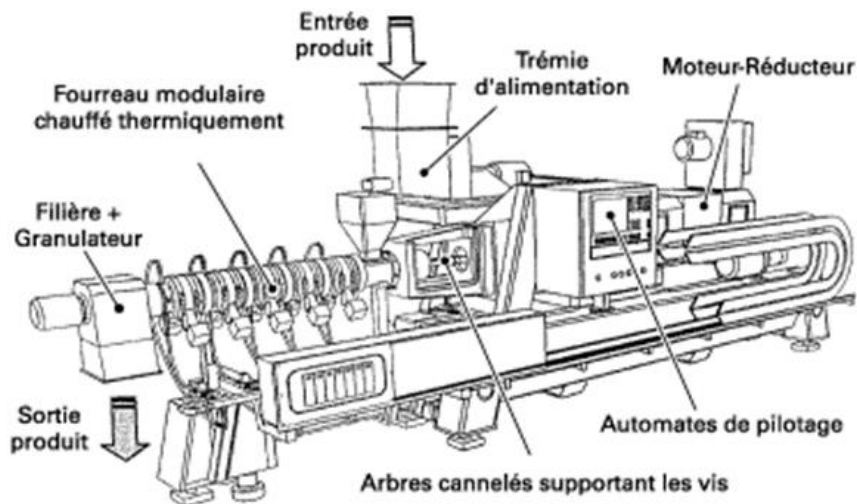


Figure 2 : Schéma d'une extrudeuse bavis et ses parties différentes (modèle Evolum 53, Cletral, 1999) (Roustel et al., 2000).

Pour les vis, deux systèmes différents existent : les monovis et bavis. Pour les extrudeuses monovis, une seule vis est retrouvée à l'intérieur du système. La vitesse de cette vis va jouer sur le débit d'alimentation, le mélange, le cisaillement, la pression que subit le produit et la friction entre le produit et la paroi et donc la chaleur produite. Ce type d'extrudeuse est moins chère, mais est principalement utilisée pour des produits à faible valeur ajoutée (Roustel et al., 2000).

En ce qui concerne les extrudeuses bavis, elles génèrent une quantité moindre de reflux vers la zone d'alimentation et moins de frottements contrairement aux extrudeuses monovis. Ce processus avec deux vis permet également un mélange optimal de la pâte. Ces vis peuvent être corotatives ou contrarotatives, cela signifie qu'elles peuvent tourner dans le même sens ou dans des sens opposés. D'autres avantages de ce système peuvent être mis en avant, comme le contrôle plus précis de certains paramètres tels que le temps de séjour de la pâte, les températures et le taux de cisaillement. Ce système permet de travailler avec des produits plus gras ou sucrés sans devoir tenir compte de leur viscosité. Le taux d'humidité de la pâte peut avoir des valeurs plus élevées qu'avec une autre extrudeuse (Roustel et al., 2000).

2. 2. 3 Les paramètres de l'extrudeuse

Il existe plusieurs paramètres qui influencent le processus d'extrusion, dont la vitesse de vis et la température qui sont expliquées ci-dessous.

La vitesse de vis

Un paramètre important de l'extrudeuse est la vitesse de vis. Jouer sur la vitesse de rotation de la vis permet de changer les caractéristiques du produit final. Cette vitesse est exprimée en rpm (Stojceska et al., 2008 ; Stojceska et al., 2009 ; Ainsworth et al., 2007).

Plus la vis tourne vite, plus l'expansion latérale est importante. Cependant, cette différence est moins marquée lorsqu'une partie de la farine de maïs est remplacée par de la drêche de brasserie, car celle-ci contient moins d'amidon (Ainsworth et al., 2007). L'augmentation de la vitesse de rotation accroît également le cisaillement et donc la gélatinisation. Cela entraîne une destruction plus importante de l'amidon, augmentant ainsi la capacité de rétention d'eau dans le produit final (Ainsworth et al., 2007).

La durée de l'extrusion, c'est-à-dire la durée durant laquelle le produit transite dans l'extrudeuse est une variable jouant sur la couleur du produit final. Modifier la vitesse des vis permet d'ajuster le temps de transit de la pâte. Plus le produit reste longtemps dans la machine, plus la couleur sera foncée (Hejna et al., 2021).

La vitesse de la vis est donc un point important à paramétrer, car elle va dicter non seulement la couleur, mais aussi la quantité d'eau retenue dans le produit final. Une augmentation de la vitesse de la vis tend à diminuer la concentration de l'amidon résistant présent dans le produit (Ainsworth et al., 2007). Cet amidon résistant a un effet positif sur la santé de l'homme, car il n'est pas digestible et peut être fermenté par le microbiote intestinal (Kim et al., 2006).

La température

La température d'extrusion joue également un rôle au niveau de la couleur des snacks extrudés. Une couleur foncée est obtenue par réaction de brunissement non enzymatique, la réaction de Maillard ou par le processus de caramélisation. Pour le premier, des groupements amines et des groupements carbonyles réagissent ensemble. Ce phénomène peut survenir à plus basse température que la caramélisation (Maillard, 1912). Dans le cas de la drêche de brasserie, les groupements amines les plus impliqués sont l'histidine, l'acide glutamique, la lysine et la leucine (Lynch et al., 2016). Une partie des composés formés lors de la réaction de Maillard s'appellent les mélanoïdines. Plus la température du procédé est élevée, plus la production de mélanoïdines, composés antioxydants, est importante et plus la couleur du produit final est foncée. Cette coloration foncée sera d'autant plus perceptible si la drêche de brasserie est encore humide (Hejna et al., 2021). Ces composés produits contribueraient à la stabilité oxydative du produit final (Pastoriza et al., 2014 ; Rivero-Pérez et al., 2002). Une activité antioxydante plus importante a ainsi été démontrée (Hejna et al., 2021). De plus, une production d'eau issue de la réaction de Maillard est générée par l'élévation de la température, ce qui diminue la friction entre l'extrudeuse et le matériel en extrusion (Hejna et al., 2021).

La caramélisation ne joue pas de rôle significatif dans le cas de l'extrusion de la drêche de brasserie. Ce processus implique la présence de mono- et disaccharides qui sont déficitaires dans la drêche. De plus, contrairement à la réaction de Maillard, des températures plus élevées sont nécessaires pour obtenir une caramélisation (Hejna et al., 2021).

2. 3 Bénéfices de l'extrusion sur l'oxydation

L'extrusion semble avoir différents effets bénéfiques comme une meilleure conservation du produit final et une protection oxydative des flaveurs du produit (Barbosa-Canovas et al., 2005). Entre autres, trois réactions, décrites ci-dessous, permettent de limiter l'oxydation.

L'inactivation des enzymes lipolytiques

L'augmentation de la température d'extrusion entraîne une inactivation des enzymes lipolytiques. En effet, ces enzymes responsables en partie de l'oxydation peuvent être inhibées par une extrusion à 110 °C. L'étude de Yang et al. (2022) démontre que les acides gras insaturés ne seraient ni oxydés ni détruits lors de l'extrusion. La qualité nutritionnelle du produit final serait ainsi conservée. La formation de composés volatils peut être également inhibée par cette même technique (Yang et al., 2022).

La réaction de Maillard

Comme indiqué précédemment dans ce travail, la réaction de Maillard se produisant lors de l'extrusion joue également un rôle dans la conservation du produit final. En effet, le contenu en tocophérols d'un aliment extrudé est plus stable, et ce même après sept semaines de conservation, par rapport à un même aliment non extrudé. L'ajout d'huile riche en tocophérols comme l'huile de colza apporte donc une protection supplémentaire contre l'oxydation (Yang et al., 2022). Dans ce cas, l'ajout d'additifs ne semblerait pas indispensable à la protection oxydative des lipides. Différents types d'huile de colza existent en fonction du traitement qu'elle a subi. L'huile de colza la plus riche en tocophérols est l'huile brute obtenue par extraction à l'éthanol. Le raffinage diminue la quantité des tocophérols de 15 à 51 %, la désodorisation étant l'étape la plus destructive (Fine et al., 2015 ; Régis et al., 2016). Pour cette raison, le choix de l'huile utilisée durant l'extrusion à une grande importance.

Le complexe amylose-lipide

En extrudant un mélange contenant de l'amylose et des lipides, une cristallisation se produit et un complexe amylose-lipide se crée (Merayo et al., 2011).

La formation de ces complexes semble donner une meilleure stabilité à l'oxydation des lipides lors du stockage. L'amylose entoure les lipides et permet de les protéger contre l'oxydation. Néanmoins, l'ajout de lipides diminuerait l'expansion, car le complexe amylose-lipide augmenterait l'épaisseur des membranes et rendrait le produit plus dense (Thachil et al., 2013).

S'il est souhaité d'incorporer aux snacks extrudés une huile polyinsaturée riche en oméga-3, l'utilisation d'une farine plus riche en amylose pourrait donc avoir son utilité. Elle permettrait ainsi de protéger le produit de l'oxydation. Cependant, la quantité d'huile doit être limitée. Une étude montre qu'à partir de 5 % d'huile de lin une expansion moindre des snacks extrudés peut déjà être remarquée. Comme expliqué précédemment, les lipides formant des complexes avec l'amylose empêchent l'extensibilité de l'amidon gélatinisé durant la phase d'expansion (Szterk et al., 2015).

L'étude de Thachil et al. (2013) a même démontré une diminution d'expansion à partir de 3 % d'huile ajoutée (Thachil et al., 2013).

3. Les crackers

Dans cette partie sont détaillée les différents types de crackers qui existent, les ingrédients utilisés ainsi que leurs avantages et inconvénients et pour finir, les techniques de fabrication industrielles des crackers.

3. 1 Les différents types de crackers

Différentes sortes de crackers existent sur le marché, telles que les « soda crackers » ou crackers salés, « cream crackers », « malaysian crackers », « puff crackers », « water biscuits », « bath oliver », « wholemeal crackers », et le « crispbread » (Sykes & Davidson, 2020).

Chaque nom fait référence à un biscuit salé, mais ils se différencient dans leur processus de fabrication, dans leur composition, leur apparence, leur texture et leur goût.

Le « water biscuit » (figure 3) est préparé à partir de farine, d'huile végétale, de sel et d'eau, qui sont mélangés. Le mélange passe dans une presse à découper et est ensuite cuit dans un four à gaz durant deux minutes à des températures allant de 230 à 315 °C. Ce type de biscuit est pâle avec des taches foncées, s'émiette facilement et a une texture dure et croustillante. Il s'accompagne généralement de fromage ou de sauces (Sykes & Davidson, 2020).



Figure 3 : Water biscuits (Sykes & Davidson, 2020).

En ce qui concerne le « cream crackers » (figure 4), différentes recettes de pâte existent. Celle qui semble la plus appropriée pour ce travail est composée de farine de blé, de farine de malt d'orge, de sel, d'eau et de levure. Ces ingrédients sont mélangés avant de subir une étape de fermentation de plusieurs heures à une température d'environ 30 °C. Par la suite, la pâte est découpée et cuite trois à quatre minutes dans un four à gaz ayant des températures comprises entre 270 et 300 °C. Ces crackers ont une couleur claire ou foncée, s'émiettent facilement et ont une texture croustillante. Ils s'accompagnent en général de beurre, de fromage ou d'autres préparations salées (Sykes & Davidson, 2020).

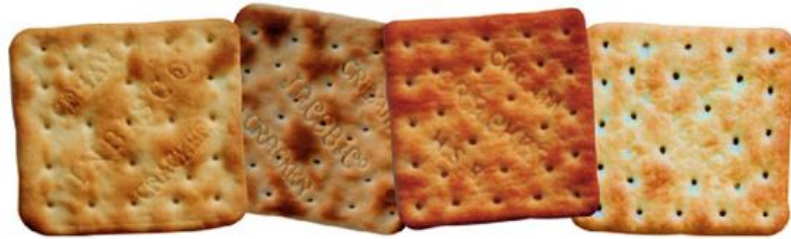


Figure 4 : Cream cracker (Sykes & Davidson, 2020).

3. 2 Les différents ingrédients des crackers

Les crackers sont fabriqués à partir de farine, d'eau, de sucre et de matière grasse. Les deux derniers sont généralement ajoutés en faibles quantités (Kweon et al., 2013). La levure ou le levain permettent la fermentation de la pâte et peuvent être ajoutés avant la cuisson. Cependant, ce processus augmente le temps de fabrication et est rarement retrouvé en industrie agroalimentaire. Dans l'industrie, des agents levants chimiques sont principalement utilisés lorsqu'il est nécessaire de faire lever la pâte (Miskelly, 2017).

3. 2. 1 La farine de blé tendre

L'ingrédient principal de tous les crackers étant la farine, le choix de celle-ci est primordial. Une farine de blé tendre semble appropriée, avec une résistance élevée du gluten et une capacité de rétention d'eau faible. Si la farine a une capacité de rétention d'eau trop élevée, la température ou la durée de cuisson devront peut-être être augmentées pour éliminer le surplus en eau ce qui représente un coût plus élevé (Kweon et al., 2013). Le rôle de la farine est de maintenir tous les autres ingrédients en place en formant un réseau viscoélastique et permet ainsi de jouer sur la dureté et la texture du produit fini (Chavan et al., 2013).

3. 2. 2 L'eau

En général, les crackers contiennent peu d'eau (Slade et al., 2006 ; Kweon et al., 2013). Celle-ci a pour but de contrôler la température de la pâte (dans le cas des crackers c'est de l'eau chaude qui est ajoutée), de solubiliser les autres ingrédients comme le sucre et de permettre la formation du réseau de gluten (Slade et al., 2006 ; Kweon et al., 2013 ; Chavan et al., 2013). La température du four étant très chaude, une expansion verticale des crackers est remarquée ainsi que la formation de bulles brunâtres à la surface ainsi qu'une perte d'humidité de la pâte (Kweon et al., 2013).

3. 2. 3 La matière grasse

La matière grasse peut être d'origine animale ou végétale et son rôle est d'enrober les particules de farine pour empêcher la formation du réseau gluten. De cette manière le cracker restera plus mou (Chavan et al., 2016).

3. 2. 4 Le sel

Un autre ingrédient important est le sel. Son rôle est de donner du goût, mais il ralentit la fermentation et rend le gluten davantage résistant (Chavan et al., 2016).

3. 2. 5 Les agents levants

Il est possible d'ajouter du bicarbonate de soude, ce qui augmente le pH de la pâte et provoque une formation de bulles d'air à l'intérieur de la pâte, car il se décompose en carbonate de sodium et dioxyde de carbone (Kweon et al., 2013).

3. 2. 6 Le sucre

Les crackers peuvent contenir un peu de sucre, mais en faible quantité (moins de 30 g de sucre par 100 g d'eau). Ce sucre se dissout complètement durant le mélange de la pâte. La taille des particules du sucre n'a donc pas d'effet sur la cuisson. De plus, cette dissolution n'est en conséquence pas dépendante du temps de cuisson, contrairement à un cookie par exemple. Chez celui-ci, la concentration de sucrose est trop élevée pour être déjà complètement dissoute durant le mélange (Slade et al., 2006 ; Kweon et al., 2013).

Le sucre augmente la température de gélatinisation de l'amidon, allant d'environ 60 °C à 0 % de sucre, jusqu'à plus de 90 °C à une concentration de 50 g de sucre par 100 g d'eau ajoutée (Bean & Yamazaki, 1987 ; Slade et al., 2006 ; Kweon et al., 2013). Cette gélatinisation de l'amidon est importante, car d'elle influencera la taille et la distribution des alvéoles dans la pâte (Scher & Hardy, 2002).

En outre, une faible quantité de sucre améliore la formation du réseau gluten qui joue sur la ténacité de la pâte, ce qui est un facteur important pour le cracker (Slade & Levine, 1994 ; Kweon et al., 2013).

3. 3 La structure de la pâte

Chong et al. (2017) a réalisé une étude sur la microstructure de la pâte. Tout d'abord, le mélange de la pâte est important pour que les particules d'amidon et les globules gras se répartissent bien uniformément. La figure 5 présente la différence par micrographie électronique entre une pâte à crackers au fromage (farine de blé, parmesan, beurre, crème, sel) mal mélangée et bien mélangée. La pâte mal mélangée montre une homogénéité inférieure (Chong et al., 2017).

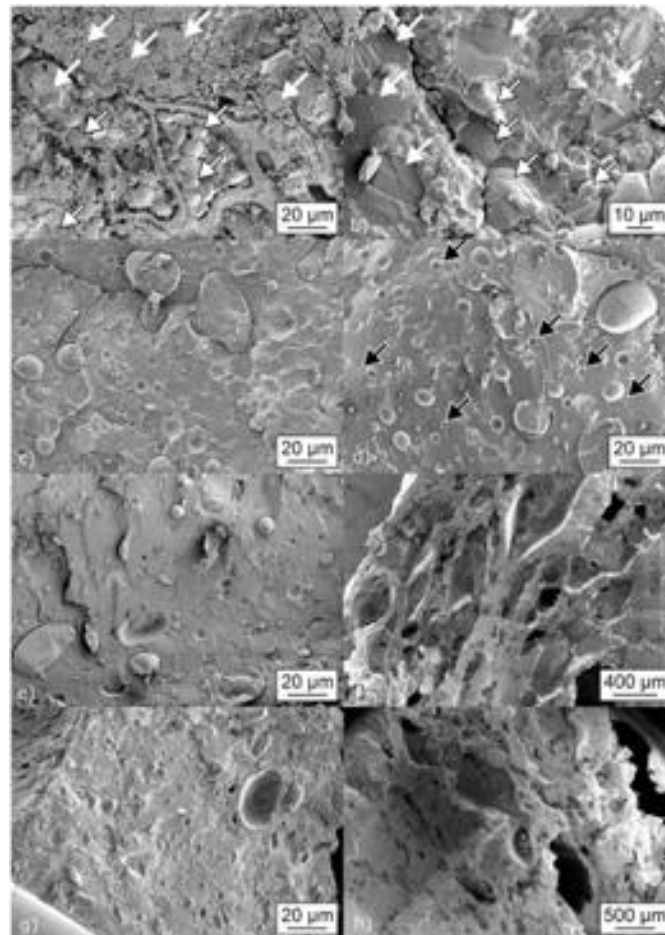


Figure 5 : Microstructures d'une pâte à crackers. a) pâte mal mélangée b) pâte bien mélangée, puis, de de c) à h) la pâte bien mélangée avec : c) après 2 min de cuisson, d) après 4 min de cuisson, e) après 6 min de cuisson (centre du cracker), f) après 6 min de cuisson (bord du cracker), g) après 12 min de cuisson (pâte cuite) (centre du cracker), h) après 12 min de cuisson (pâte cuite) (bord du cracker) (Chong et al., 2017).

Par la suite, lors du processus de cuisson, lorsque la température augmente, la microstructure de la pâte change. Cela entraîne une modification de la rhéologie de la pâte. (Chong et al., 2017).

En début de cuisson, l'amidon (flèche blanche sans contours sur la figure 5) subit une gélatinisation et n'est plus visible après quatre minutes de cuisson. Après deux minutes de cuisson, les globules gras (flèches blanches avec contour sur la figure 5) commencent à fondre. Après six minutes, la croûte présente une structure plus poreuse que le centre, possiblement due à la migration de l'eau des bords de la pâte vers sa surface, où elle a pu être vaporisée. De plus, les cellules de gaz (flèches noires sur la figure 5) commencent à se former au cours de la cuisson (Chevallier et al., 2002 ; Chong et al., 2017).

3. 3. 1 L'impact de la farine complète

Il a été envisagé d'utiliser de la farine complète pour leur apport en fibres supplémentaires, mais cela représente quelques inconvénients. Dans la farine complète, des arabinoxylanes sont présents. Ceux-ci proviennent de l'épicarpe du son de blé et ne se retrouvent pas dans la farine blanche. Ce composé peut absorber beaucoup d'eau et a dès lors une influence sur la composition de la pâte. En effet, cette eau ne sera plus disponible pour former le réseau de gluten important au cracker. Les gaz formés seront donc moins bien retenus dans la matrice du cracker et son volume s'en verra diminué. Pour la même raison, la force nécessaire à casser le cracker sera moindre, car le réseau de gluten est moins fort (Li et al., 2014). L'arabinoxylane est le principal polysaccharide non cellulosique dans la drêche de brasserie (Mussatto & Roberto, 2005 ; Rachwał et al., 2020). L'ajout de celle-ci pourra donc exacerber l'effet négatif sur la pâte de crackers.

3. 4 Fabrication industrielle des crackers

Le développement de crackers en laboratoire n'est pas particulièrement adapté aux conditions de fabrication dans une industrie agroalimentaire. En effet, pour produire une grande quantité de crackers, l'optimisation des processus demande une organisation et du matériel plus adapté. Cette partie va développer les différentes machines et procédés retrouvés à l'échelle d'une entreprise professionnelle de petite taille, ainsi que les options de développement pour une production de plus grande envergure.

La ligne de production d'un cracker est composée de plusieurs étapes. La première étape est la pesée des différents ingrédients. Cette étape peut être faite à la main quand la taille de production n'est pas trop conséquente, mais pour des rendements plus importants ou des productions en continu, des machines avec des doseurs automatiques peuvent être utilisées. Ensuite vient l'étape du mélange des ingrédients, pour rendre la pâte homogène. Le mixer utilisé peut-être un mixer horizontal grande-vitesse (figure 6) ou un mixeur vertical, ce dernier étant plus souvent utilisé dans les petites entreprises (Chavan et al. 2016).



Figure 6 : Mixer horizontal (Open frame tree-roller bar horizontal mixer).¹

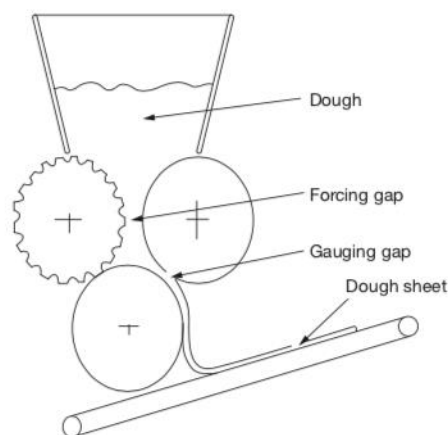


Figure 7 : Laminoir à trois rouleaux (Chavan et al. 2016).²

L'étape suivante est la formation des crackers. Cette étape peut être faite à la main avec un laminoir manuel (ou électrique) et des emporte-pièces. Ce processus est souvent retrouvé dans les start-ups et les petites entreprises. Pour des productions plus importantes, deux solutions sont envisageables. La première option est le système « laminage-jaugeage-découpage ». Celui-ci commence par un laminage, qui se fait généralement avec un laminoir automatique à trois rouleaux (figure 7), suivi d'une étape de jaugeage et de découpage. La deuxième option est le système de moulage rotatif qui forme des crackers en une seule étape (figure 8) (Chavan et al. 2016).

¹ Topos Mondial Corp. Open Frame 3-Roller Bar Horizontal Bakery Mixer. Consulté le 4 mai 2022, <https://www.toposmondial.com/public/product.aspx?ProductID=24600>

² WP Woodhead Publishing. (2011). Sheeting, gauging and cutting. In : Biscuit manufacture, Manley's Technology of Biscuits, Crackers and cookies (4th ed.). Cambridge : Woodhead Publishing Limited

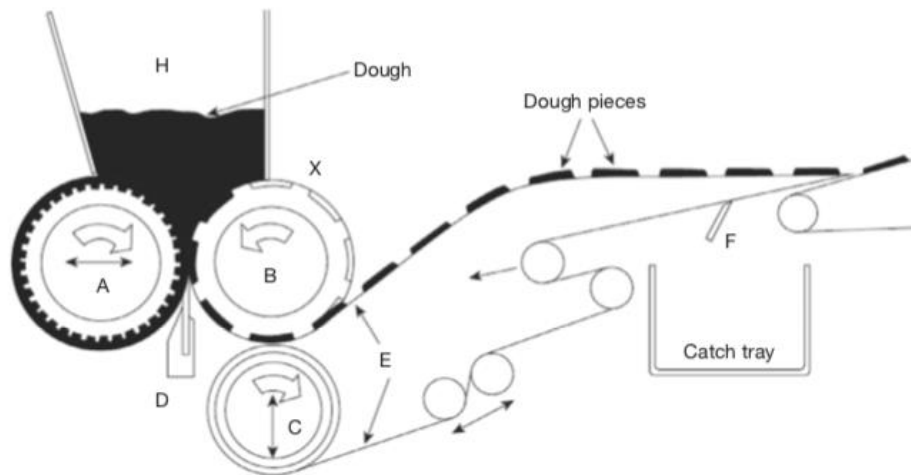


Figure 8 : Système de moulage rotatif avec A) rouleau de forcing, B) rouleau de montage, C) rouleau d'extraction, D) lame, E) revêtement en caoutchouc et bande d'extraction et F) lame de nettoyage (Chavan et al., 2011).³

Ensuite vient l'étape de cuisson, qui dans les petites entreprises se fait dans des fours statiques, tandis que les grandes entreprises utilisent souvent des fours avec des tapis de cuisson qui font entre 30 et 150 mètres de long. Après, les produits sont refroidis sur un convoyeur à l'air libre (Chavan et al. 2016). Sur la figure 9 se trouve un exemple de ligne de production pour une entreprise de production à grande échelle avec le système « laminage-jaugeage-découpage ». L'étape finale est le conditionnement qui sera développé dans la partie emballage.

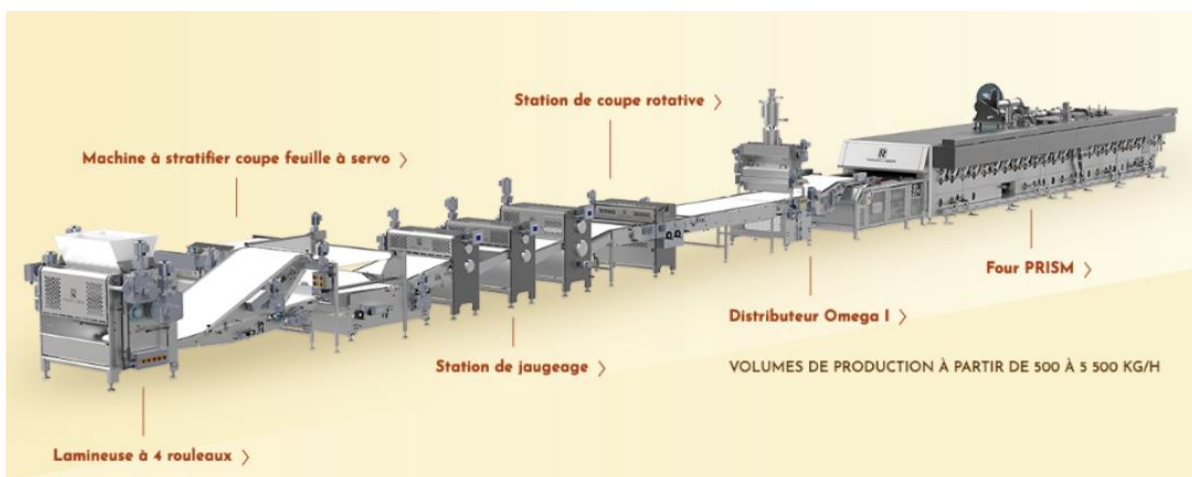


Figure 9 : Exemple de ligne de production de « laminage-jaugeage-découpage » pour crackers à grande échelle.⁴

³ WP Woodhead Publishing. (2011). Laminating. In : Biscuit manufacture, Manley's Technology of Biscuits, Crackers and Cookies (4th ed.). Cambridge : Woodhead Publishing Limited

⁴ Readingbakery.fr. Reading Bakery Systems. Consulté le 4 mai 2022, <https://www.readingbakery.fr/cracker-production-systems.html>

4. L'aspect sensoriel : le croustillant

L'aspect sensoriel est un point important dans la fabrication des snacks apéritifs, car il joue sur l'appréciation finale du produit par le consommateur. Dans le cas des snacks extrudés, la texture croustillante est un point extrêmement important et a donc été analysée plus en détail.

L'extrusion a permis de fabriquer des produits alimentaires perçus comme très croustillants grâce à leur structure alvéolaire aux parois rigides. De plus, la faible teneur en eau des produits extrudés permet une longue conservation avec un maintien optimal de la texture croustillante. Un produit extrudé a souvent une saveur peu développée, l'aspect croustillant est donc un critère déterminant dans l'appréciation du produit par le consommateur. Sa diminution entraîne un rejet du produit. Assurer une conservation optimale du produit est indispensable pour éviter toute reprise d'eau et par conséquent une détérioration de la texture (Dacremont, 2003).

Des méthodes instrumentales et sensorielles permettent d'analyser et de mesurer la texture des produits. Du côté des mesures instrumentales, la force (en Newton) et le temps nécessaire pour rompre la structure du produit ainsi que sa mesure sonore (en décibels) peuvent être étudiés (Beranek & Mellow, 2012 ; Taniwaki & Kohyama, 2012 ; Dias-Faceto et al., 2019). L'analyse sensorielle peut être effectuée avec un panel de personnes spécialement entraînées à évaluer l'aspect croustillant d'un produit (Dias-Faceto et al., 2019).

La texture croustillante est perçue par la combinaison à la fois du son produit et de la force appliquée lorsque le produit se casse (Duizer et al., 1998 ; Arimi et al., 2010). Pour qu'un produit soit croustillant, il doit produire un son de haute fréquence, qui s'arrête rapidement après l'application d'une force plutôt faible. La perception du croustillant arrive au moment de la mastication. La libération de l'air contenue dans le produit libère une énergie sonore plutôt haute fréquence, contrairement aux produits croquants qui provoquent un son basse fréquence (Thunick et al., 2013 ; Dias-Faceto et al., 2019).

Pour les produits secs, la texture est reliée à l'activité de l'eau du produit. En effet, plus l' A_w augmente, plus le produit devient mou et caoutchouteux et perd le son caractéristique d'un produit croustillant (figure 10) (Tesch et al., 1996 ; Arimi et al., 2010). Cela est dû à un phénomène de plastification qui rend le produit moins fragile. La force nécessaire pour casser le produit augmente en même temps que l' A_w diminue (figure 11). La perte de croustillance apparaît quand le produit atteint une A_w de $0,5 \pm 0,2$ (Hough et al., 2001 ; Arimi et al., 2010).

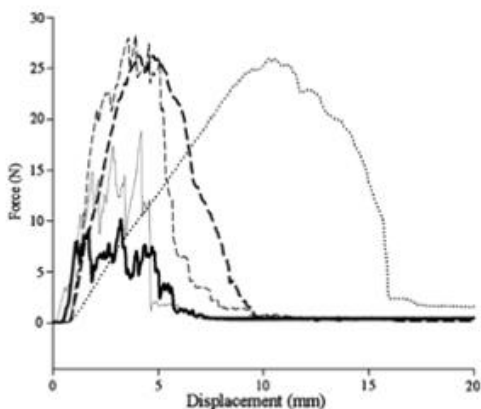


Fig. 2. Typical force-displacement curves generated during puncturing of Crackerbread equilibrated to 0.113 (—), 0.332 (---), 0.635 (- · - ·), 0.824 (— — —) or 0.98 (····) a_w .

Figure 10 : représentation de la force nécessaire à casser un crackerbread à différentes A_w (Arimi et al., 2010).

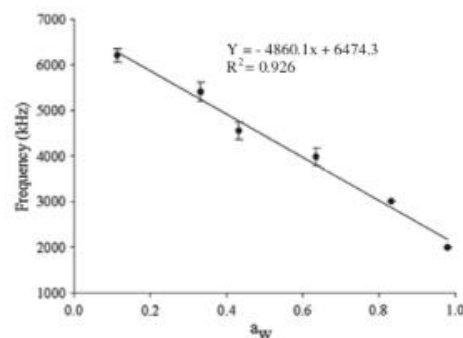


Fig. 8. The effect of a_w on the sound frequency (kHz) of the sound generated during puncturing of the Crackerbread equilibrated to different a_w .

Figure 11 : représentation de la fréquence sonore produite par la cassure d'un crackerbread à différentes A_w (Arimi et al., 2010).

Le caractère hygroscopique du produit peut ainsi devenir un problème si le produit n'est pas conservé de manière optimale (Katz & Labuza, 1981 ; Dacremont, 2003).

En plus du croustillant, le consommateur attend des snacks extrudés qu'ils aient une structure poreuse avec des fines parois autour des alvéoles, une bonne expansion ainsi qu'une faible densité relative (Kasprzak et al., 2013).

5. Les composants principaux des snacks

Dans cette partie, les composants principaux des snacks extrudés et des crackers sont détaillés. Cela permet de comprendre leur choix, mais aussi les points d'attention à avoir lors de leur utilisation, notamment au niveau de leur conservation.

5. 1 Les drêches de brasserie

La composante principale des snacks salés est la drêche de brasserie. C'est un sous-produit de la production de la bière, au côté du houblon épuisé et des levures de bière résiduelles (Mussatto et al., 2005 ; Rachwał et al., 2020). La drêche de brasserie est le sous-produit principal, car elle représente 85 % des sous-produits de la fabrication de la bière (Lynch et al., 2016 ; Puligundla et al., 2021). La production mondiale de drêche serait de 39 millions de tonnes annuelles. Pour 100 litres de bière, la quantité de drêche de brasserie obtenue est de 20 kg (Mussatto et al., 2014 ; Koirala et al., 2021 ; Cooray et al., 2017). La plupart d'entre elles sont destinées à l'alimentation animale. Aucune information n'a été trouvée dans la littérature quant au pourcentage de drêches de brasserie revalorisé dans l'alimentation humaine. Les réutiliser permettrait d'éviter un gaspillage des ressources ainsi qu'une diminution de la pollution environnementale (Silbir & Goksungur, 2019).

Le terme « sous-produit » est utilisé au niveau de la législation pour définir les drêches de brasserie. Parfois, le terme « produit » peut être utilisé, celui-ci met en avant la valeur commerciale des drêches (RÈGLEMENT (UE) N° 68/2013).

Les caractéristiques d'un sous-produit sont retrouvées dans la directive 2008/98/CE :
« 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 :

- l'utilisation ultérieure de la substance ou de l'objet est certaine;
- la substance ou l'objet peut être utilisé directement sans traitement supplémentaire autre que les pratiques industrielles courantes;
- la substance ou l'objet est produit en faisant partie intégrante d'un processus de production; et
- 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" (Directive 2008/98/CE). »

Concernant les drêches de brasserie, elles ne sont pas considérées comme un déchet, mais bien comme un sous-produit. Celles-ci pourront donc être utilisées ultérieurement à la fabrication de la bière pour être revalorisées dans l'alimentation humaine.

5. 1. 1 Processus de fabrication de la bière : l'origine des drêches

Les ingrédients principaux de la bière sont au nombre de quatre : l'eau, le malt (orge malté), la levure et le houblon (Palmer et al., 2013 ; Jackowski et al., 2020). La figure 12 reprend les différentes étapes de fabrication de la bière, qui ne sont pas détaillées ici. Seule la première partie concernant la production des drêches est approfondie.

Premièrement, l'orge subit un processus de maltage. Celui-ci consiste en une germination contrôlée du grain d'orge. Durant ce processus, une dégradation partielle se produit via des enzymes hydrolytiques produites par les grains eux-mêmes durant le début de la germination. Les composés dégradés sont les protéines de stockage, la paroi cellulaire et l'albumen amylicé. Environ 70 % des protéines sont dégradées partiellement grâce à des endoprotéases et des carboxypeptidases. Si le maltage est insuffisant, une diminution de la qualité de la bière est observée (Celus et al., 2006 ; Osman et al., 2002 ; Jaeger et al., 2021).

Lors de l'étape de fabrication du moût, afin de produire une solution riche en sucre, le malt est broyé avec de l'eau à une température de 37 à 78 °C. Le but est de transformer l'amidon contenu dans le malt en maltose et maltotriose, des sucres fermentescibles, et en dextrines,

sucres non fermentescibles. La partie du malt restante après cette étape est la partie insoluble non dégradée, appelée drêche de brasserie. Le moût sort de la cuve en traversant la drêche et la drêche restant dans la cuve est récupérée, en tant que sous-produit (Mussatto et al., 2006 ; Mussatto, 2009 ; Mussatto, 2014).

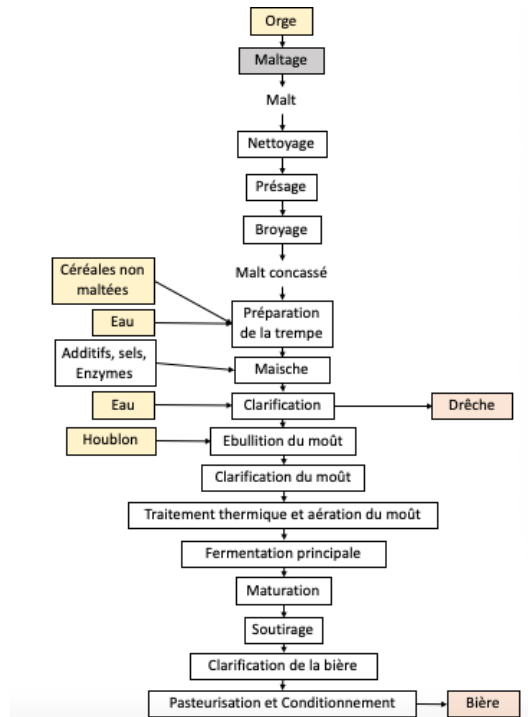


Figure 12 : Diagramme de fabrication de la bière (adapté de Brasseurs Belges, 2007 ; Blecker, 2020).

5. 1. 2 Composition

L'intérêt pour la drêche de brasserie est en augmentation. Ceci est dû à leur composition intéressante, notamment en nutriments avantageux pour la santé (Ikram et al., 2017). Toutes les drêches ne possèdent pas une composition identique. En effet, elles diffèrent en fonction de plusieurs facteurs tels que la variété d'orge, le moment de la récolte et des conditions de brassage (Amore et al., 2015 ; Puligundla et al., 2021). Cependant, leur valeur nutritionnelle reste toujours élevée (Santos et al., 2003 ; Rachwał et al., 2020).

L'orge malté est la matière première principale de la drêche de brasserie. Dans la drêche se retrouve l'enveloppe du grain de l'orge malté, ainsi qu'une partie du péricarpe et le tégument. Si une autre céréale est utilisée dans la fabrication du moût, les mêmes composés de cette céréale se retrouveront également dans la drêche de brasserie (Mussatto, 2014).

La drêche est un produit hétérogène composé d'une biomasse lignocellulosique, de fibres, de protéines, de lipides, d'hydrates de carbone, d'eau, d'une petite fraction de cendre, de molécules de glucose et de maltose (Akermann et al., 2020 ; Puligundla et al., 2021 ; Mussatto

& Roberto, 2005 ; Santos et al., 2003 ; Rachwał et al., 2020). Ci-dessous se trouve le détail des différents composés.

A. Protéines

La teneur en protéines peut varier en fonction de plusieurs paramètres tels que la technologie de brassage utilisée, des ajouts d'autres céréales, du type d'orge ou encore du procédé de maltage (Robertson et al., 2010 ; Xiros & Christakopoulos, 2011). Elle se situe entre 15 et 26 % du poids sec. Les principales protéines sont des hordéines (43 %), des glutélines (21,5 %), des albumines, du gluten et des globulines. Les glutélines sont des protéines structurales, tandis que les hordéines sont des protéines de stockage (Aliyu & Bala, 2011 ; Wen et al., 2019). Le profil en acides aminés des drêches est composé d'histidine, lysine, leucine, méthionine, phénylalanine, leucine et tryptophane pour les AAE et d'alanine, de glycine, de proline, de sérine, de valine, de glutamines et d'asparagine pour les acides aminés non essentiels (Huige, 2006 ; Mussatto et al., 2006 ; Ikram et al., 2017 ; Puligundla et al., 2021). D'autres études ont montré que les teneurs en acides aminés soufrés, la méthionine et la cystéine, sont assez faibles, tandis que les teneurs en glutamine, valine et leucine sont élevées (Connelly et al., 2013 ; Treimo et al., 2008). Différentes méthodes d'extraction des protéines existent dont les principales sont l'extraction par solvant organique, l'extraction par ultrason et l'extraction par précipitation acide par dissolution alcaline (Wen et al., 2019). Les protéines contenues dans les drêches de brasserie ont été étudiées et elles posséderaient des propriétés intéressantes dans le contrôle de l'inflammation (McCarthy et al., 2013 ; Ikram et al., 2017).

B. Hydrates de carbone et fibres

La teneur en fibre varie entre 30 et 70 %, dont approximativement 12 à 28 % de lignine, 12 à 25 % de cellulose et environ 28 % de polysaccharides non cellulosiques, principalement des arabinoxylanes (Mussatto & Roberto, 2005 ; Rachwał et al., 2020). La consommation de fibres alimentaires a des avantages pour la santé, notamment une diminution de la prévalence de certaines pathologies telles que le diabète, les maladies cardiovasculaires, l'obésité et joue un rôle bénéfique sur le système immunitaire (Anderson et al., 2009 ; Bravi et al., 2020).

L'arabinoxylane est un polysaccharide non digestible de la catégorie des hémicelluloses et peut être retrouvé jusqu'à un taux de 40 % dans les drêches (poids sec). On retrouve également un autre polysaccharide en grande quantité, la cellulose, et d'autres en plus faible quantité, l'amidon et les béta-d-glucanes (0,36 % de la matière sèche). Les drêches contiennent une certaine quantité de monosaccharides, dont une part plus ou moins importante de glucose, de xylose, d'arabinose et une part très faible de rhamnose et de galactose (Mandalari et al., 2005 ; Forsell et al., 2008). L'arabinoxylane est composé de sous-unité de xylose et d'arabinose. Elle se retrouve principalement dans les parois cellulaires de l'albumen amylicé, dans le son, l'aleurone et dans les cosses et les coques.

Les bêta-glucanes se retrouvent principalement dans l'albumen amylicé, et seulement un petit pourcentage se retrouve dans la paroi (Bastos et al., 2018 ; Fox, 2009 ; Izydorczyk, 2009). L'orge et l'avoine sont les céréales qui contiennent le plus grand taux de bêta-glucane (Papageorgiou & Skendi, 2018 ; Lao et al., 2020). La lignine est une macromolécule polyphénolique qui maintient l'intégrité et la rigidité de la paroi cellulaire végétale (Mussatto & Teixeira, 2010 ; Mussatto 2014 ; Ikram et al., 2017).

Les bêta-glucanes ainsi que l'arabinoxylane et ses dérivées (xylooligosaccharides et arabinoxyloligosaccharides) présentent des propriétés prébiotiques. Pour être dit "prébiotique", le composé ne doit ni être absorbé ni hydrolysé dans la partie supérieure du tube digestif. Il doit également pouvoir être fermenté par le microbiote intestinal ainsi que favoriser la croissance et les activités microbiennes bénéfiques. Les arabinoxylanes sont fermentés et transformés en arabinoxyloligosaccharides qui sont à leur tour hydrolysés en xylose et arabinose. Ceux-ci sont ensuite consommés par des bifidobactéries principalement, permettant la formation d'acides gras à chaîne courte (Damen et al., 2011 ; Reis et al., 2014 ; Slavin, 2013 ; Wang, 2009 ; Chen et al., 2019 ; Ndeh & Gilbert, 2018 ; Lao et al., 2020). Les bêta-glucanes et les arabinoxylanes ont montré d'autres effets bénéfiques sur la santé en réduisant le taux de cholestérol, l'index glycémique du produit et en améliorant le métabolisme des lipides (Izydorczyk & Dexter, 2008 ; Bravi et al., 2020).

C. Composés phénoliques

Les drêches de brasserie sont riches en composés phénoliques (Santos et al., 2003 ; Rachwał et al., 2020). Les acides hydroxycinnamiques tels que l'acide férulique, coumarique, sinapique et caféique sont des composés phénoliques se trouvant en quantité importante dans les drêches (Faulds et al., 2002 ; Szwajgier et al., 2010). La lignine contient également une quantité importante de composés phénoliques, entre autres l'acide férulique, couramique, vanillique, hydroxybenzoïque et syringique (Bartolome & Gomez-Cordoves, 1999 ; Mussatto & Roberto, 2006 ; Ikram et al., 2017).

Les composés phénoliques sont intéressants pour la santé, notamment grâce à leurs effets préventifs et protecteurs contre certains cancers et maladies chroniques (Barbosa-Pereira et al., 2013). L'acide hydroxycinnamique possède des propriétés antioxydantes similaires aux effets de l'alpha tocophérol (vitamine E) et l'acide ascorbique (vitamine C). Une étude de McCarthy et al. a montré que la drêche brune présente la teneur la plus importante en polyphénols, ainsi qu'un intérêt dans la protection des dommages à l'ADN causé par le peroxyde d'hydrogène. Cependant, une étude de Moreira et al. a montré que les drêches claires étaient plus riches en polyphénol (McCarthy et al., 2012 ; Moreira et al., 2013). L'acide hydroxycinnamique posséderait également des capacités anti-inflammatoires et antiathérogènes. Les drêches claires semblent être celles ayant le plus grand effet anti-inflammatoire et réduisant ainsi significativement certains marqueurs pro-inflammatoires (McCarthy et al., 2013).

D. Lipides

Durant la fabrication de la bière, la majorité des lipides présents dans les matières premières se retrouvent dans la drêche (Olšovská et al., 2019 ; Lordan et al., 2019). Elles contiennent entre 5,8 et 11 % de lipides, dont 55 % de triglycérides et 30 % d'acides gras libres (Mussatto & Roberto, 2005 ; Ikram et al., 2017). On retrouve également des glycolipides, des phospholipides et des mono- et diacylglycérides dans les drêches (Xiros & Christakopoulos, 2011).

E. Vitamines et sels minéraux

Les drêches de brasserie contiennent des vitamines du groupe B (niacine, biotine, thiamine, choline, acide pantothénique, riboflavine, pyridoxine et acide folique) et des sels minéraux dont le calcium (3600 mg/kg), le magnésium (1900 mg/kg), le phosphore (6000 mg/kg), sodium (137 mg/kg) ainsi que du cuivre, du fer, du manganèse, du potassium, du sélénium, du soufre et du cobalt (Mussatto et al., 2006 ; Cooray et al., 2017 ; Mussatto, 2009). De la silice sous forme de silicates (25 % des minéraux) se retrouve dans l'enveloppe du grain d'orge (Kunze, 1996).

F. Eau

Les drêches de brasserie humides ont une teneur élevée en humidité d'environ 77 à 81 %. En fonction la partie du grain d'orge observée, la teneur en eau peut être variable (Santos et al., 2003 ; Sperandio et al., 2017).

G. Autres

La drêche de brasserie décèle aussi des traces de cires, de résines, de tanins et d'huiles essentielles (Brigas et al., 1981 ; Ikram et al., 2017).

H. Tableau récapitulatif

Tableau 2 : Résumé des teneurs théoriques des différents composants de la drêche de brasserie.

Composé	Teneurs théoriques (de la MS)
Protéines	15 à 26 % (Aliyu & Bala, 2011)
Lipides	5,8 et 11 % de lipides, dont 55 % de triglycérides et 30 % d'acides gras libres (Mussatto & Roberto, 2005)
Amidon	6,4 % (Heuzé & Tran, 2017)
Béta-d-glucanes	0,36% (Mandalari et al., 2005)
Fibres alimentaires	30 à 70 % (Mussatto & Roberto, 2005)
Dont lignine	12 à 28 % (Mussatto & Roberto, 2005)
Dont cellulose	12 à 25 % (Mussatto & Roberto, 2005)
Dont polysaccharides non cellulosiques (arabinoxylanes)	Environ 28 % (Mussatto & Roberto, 2005), mais pouvant aller jusqu'à 40 % (Mandalari et al., 2005)
Vitamines	Groupe B (niacine, biotine, thiamine, choline, acide pantothénique, riboflavine, pyridoxine et acide folique) (Mussatto et al., 2006)
Minéraux	Calcium (3600 mg/kg), le magnésium (1900 mg/kg), le phosphore (6000 mg/kg), sodium (137 mg/kg) ainsi que du cuivre, du fer, du manganèse, du potassium, du sélénium, du soufre et du cobalt (Mussatto et al., 2006)
Eau	77 à 81 % de la matière humide (Santos et al., 2003 ; Sperandio et al., 2017)
Autres	Traces de cires, de résines, de tanins et d'huiles essentielles (Ikram et al., 2017).

5. 1 .3 Les propriétés et fonctionnalités de la drêche de brasserie

Les drêches de brasserie peuvent être utilisées en toute sécurité pour la production de nouveaux produits alimentaires, car les ingrédients entrant dans la fabrication de la bière et de ses sous-produits sont approuvés pour la consommation humaine (Fărcaș et al., 2017 ; Rachwał et al., 2020).

L'ajout de farine à base de drêche de brasserie dans un produit fabriqué avec de la farine de blé dur permet d'augmenter l'absorption de l'eau et augmente la teneur en fibres du produit. Cependant, l'ajout de farine de drêche entraîne des conséquences négatives. Elle perturbe en partie la formation de la pâte et diminue le volume des produits de boulangeries. Pour les produits panifiés, la quantité recommandée à ne pas dépasser est d'environ 30 % de drêches (Steinmacher et al., 2012 ; Stojceska & Ainsworth, 2008 ; Jackowski et al., 2020).

Les biscuits sont également impactés par l'ajout de farine de drêche de brasserie. Les paramètres affectés sont l'apparence, la dureté, la mastication, le goût et l'odeur (Petrovic et al., 2017). Les produits contenant des drêches contiennent une grande quantité de fibres insolubles (lignine et cellulose), ce qui impacte la consistance du produit en augmentant sa dureté. Cependant, l'ajout de farine de drêche de brasserie avec un rapport de 1:4 par rapport à la farine de blé dur permet de réduire l'index glycémique (Kirjoranta et al., 2016). En outre, une étude de Zong et al. a testé l'impact de l'ajout de protéines de drêche de brasserie dans la farine de blé pour la fabrication de biscuits. Une amélioration nette de la saveur et des qualités nutritionnelles a été observée (Zong et al., 2012).

L'addition de 20 % de farine de drêche dans un produit extrudé permet d'avoir un produit proche des produits extrudés du commerce. Le taux de drêche de brasserie, pour maintenir des propriétés physico-chimiques acceptables, peut aller jusqu'à 30 % d'incorporation (Stojceska et al., 2008 ; Jackowski et al., 2020).

Les drêches de brasserie ont des avantages qui permettent à la fois d'améliorer les propriétés de liaison des arômes et d'avoir un effet positif sur le potentiel d'émulsion (Fărcaș et al., 2017 ; Rachwał et al., 2020).

5. 1. 4 La valorisation des drêches de brasserie

L'intérêt pour la drêche de brasserie et sa valorisation est en augmentation. Ceci s'explique par sa composition très intéressante, notamment grâce à sa richesse en protéines, en hémicelluloses et en composés phénoliques (Xiros & Christakopoulos, 2011).

Les drêches sont principalement destinées à la nutrition animale. Des difficultés de conservation et de transport des drêches sont présentes, dues à leur haute teneur en humidité et ainsi à leur risque de contamination microbiologique élevé. Leur exploitation pour l'alimentation humaine n'est pas encore très rependue, même si elle commence à s'étendre (Robertson et al., 2010 ; Ikram et al., 2017). Elles possèdent également des propriétés intéressantes pour les secteurs non alimentaires (Bionifacio-Lopes et al., 2020 ; Puligundla et al., 2021).

A. Alimentation animale

Les drêches de brasserie sont principalement utilisées pour la nutrition animale des porcs, des bovins, des volailles et également pour celle des poissons. En revanche, elles ne sont pas destinées à l'alimentation des chevaux, des moutons et des chèvres en raison de leur composition inappropriée (Bionifacio-Lopes et al., 2020 ; Puligundla et al., 2021 ; Jamroz et al., 2013 ; McCarthy et al., 2013 ; Jackowski et al., 2020).

B. Alimentation humaine

À partir de drêche de brasserie, une possibilité d'extraction des composés possédant une haute valeur est possible, comme l'arabinoxylanes (polysaccharide), les polyphénols, les antioxydants, le glucose, et les protéines (Du et al., 2020 ; Jackowski et al., 2020). Les composés d'arabino-xylooligosaccharides extraits des drêches peuvent être utilisés en tant que prébiotiques (Amorim et al., 2019 ; Reis et al., 2014 ; Djukić-Vuković et al., 2015 ; Puligundla et al., 2021 ; Marcus & Fox, 2021).

Les drêches peuvent être utilisées pour enrichir la farine de blé dur, pouvant ainsi augmenter sa teneur en fibres de 135 %, en bêta-glucane de 85 % et ses propriétés antioxydantes de 19 % (Nocente et al., 2019 ; Jackowski et al., 2020).

De plus, la revalorisation des drêches dans l'alimentation humaine est possible via la fabrication de farines, de pâtes, de pains, de biscuits, de crackers et de snacks extrudés (Waters et al. 2012 ; Rachwał et al., 2020 ; Ktenioudaki et al., 2013 ; Stojceska et al., 2008 ; Jackowski et al., 2020).

Elles peuvent également être fermentées par des bactéries afin de biosynthétiser du dextrane, un polysaccharide utilisé pour diverses applications dans l'industrie alimentaire (Kothari et al., 2015 ; Koirala et al., 2021).

C. Non alimentaire

Des sources d'énergie peuvent être créées à partir de drêches de brasseries, telles que des biocarburants. Elles peuvent aussi être utilisées comme substrat pour la production de certains acides organiques comme l'acide lactique et l'acide citrique, ainsi que pour la production de certaines enzymes (amylases, cellulases, hémicellulases, protéases) (Djukić-Vuković et al., 2015 ; Puligundla et al., 2021 ; Marcus & Fox, 2021).

Les drêches de brasseries peuvent être biotransformées en biogaz grâce à des bactéries méthanogènes anaérobies (Malakhova et al., 2015). La drêche, prétraitée avec de la lactase, est étudiée pour être utilisée en tant que source pour la fabrication de butanol (Giacobbe et al., 2019). Elle pourrait aussi être utilisée dans la fabrication de charbon actif (Jackowski et al., 2020), mais également en tant qu'engrais (Oreopoulou & Tzia, 2007).

Les drêches peuvent servir de milieu de croissance pour le développement des levures (Cooray et al., 2017).

En association avec de la féculé de pomme de terre, une étude a réussi à créer des conditionnements biosourcés jetables utilisés en remplacement de ceux à base de plastique (Ferreira et al., 2019).

En association avec des particules de bois, elles peuvent être utilisées comme substitut à ce dernier (Barbu et al., 2021).

Pour finir, dans le domaine cosmétique et pharmaceutique, les drêches peuvent être utilisées afin d'en extraire de l'acide férulique, un composé antioxydant (Bucci et al., 2019).

5. 1. 5 La conservation de la drêche de brasserie

Du fait de leur forte teneur en eau, les drêches sont très périssables et ne peuvent être consommées telles quelles que pendant deux ou trois jours. De plus, elles doivent être conservées à moins de 5 °C (Jackowski et al., 2020).

Pour cette raison, un séchage avant leur utilisation est indispensable pour limiter la prolifération bactérienne. Le processus de séchage peut se faire à 150 °C durant quatre heures (Stojceska et al., 2008 ; Ainsworth et al., 2007). Le séchage est jugé comme la méthode la plus efficace afin de diminuer les coûts liés au stockage et au transport (Santos et al., 2003). Cependant, ces coûts que représentent le séchage de la drêche, leur stockage et leur transport constituent toujours un frein pour les industries agroalimentaires. De ce fait, les drêches sont principalement utilisées pour l'alimentation animale ou comme engrais (Oreopoulou & Tzia, 2007).

Le séchage au four présente d'autres inconvénients. En effet, à une température supérieure à 60 °C, une altération de la saveur ainsi qu'une couleur brunâtre peuvent être observées (Mussatto et al., 2006 ; Bartolome et al., 2002 ; Ikram et al., 2017).

Afin de réduire les coûts liés au séchage, certaines brasseries utilisent une presse pour diminuer le taux d'humidité des drêches à moins de 65 %, puis les sèchent au four jusqu'à atteindre un taux d'humidité de 10 % (Tang et al., 2004 ; El-Shafey et al., 2004). L'utilisation d'une presse à membrane a été étudiée et a permis de diminuer le taux d'humidité jusqu'à des valeurs de 20 à 30 %. Cette étape a été suivie d'un séchage à l'air libre pendant deux jours et a permis d'arriver à un taux d'humidité de 10 %. Avec ces drêches, des gâteaux ont été fabriqués et ont pu rester à l'air libre pendant six mois sans qu'on puisse observer une croissance bactérienne (El-Shafey et al., 2004 ; Ikram et al., 2017).

Après l'étape de séchage, la drêche peut être transformée en farine, assurant une longue conservation. Celle-ci peut ensuite être utilisée comme ingrédient dans le secteur alimentaire (Mussatto et al., 2006).

Deux autres méthodes de conservation ont été étudiées, la lyophilisation et la congélation. Il a été montré que la première méthode ne modifie pas la composition du produit, tout en diminuant son volume, tandis que la seconde change légèrement sa composition et présente des difficultés de stockage liées au volume important à congeler (Mussatto et al., 2006 ; Bartolome et al., 2002 ; Ikram et al., 2017).

5. 1. 6 L'influence de la drêche de brasserie sur l'extrusion

Les caractéristiques des drêches ont été étudiées, ce qui permet de mieux comprendre l'influence possible qu'elles peuvent avoir sur le processus d'extrusion.

L'ajout de la drêche de brasserie diminue l'expansion du produit, le rend plus dense et dur et peut entraîner la fabrication de produits inacceptables par le consommateur (Ačkar et al., 2018). Ceci est directement lié au contenu élevé en protéines et fibres présent dans les drêches (Ainsworth et al., 2007 ; Stojceska et al., 2010).

L'extrusion de la drêche peut se faire avec une extrudeuse à double vis comme nous l'avons vu précédemment au point 2. 2. 2 de ce chapitre. Elle possède une haute efficacité de mélange et de cisaillement, une continuité du processus avec un haut débit possible et une bonne répétabilité des résultats (Hejna et al., 2021).

Les fibres insolubles

La majorité des fibres présentes dans les drêches sont sous forme de fibres insolubles. Les fibres lient une quantité d'eau plus importante en comparaison à l'amidon, ce qui diminue la perte d'eau et donc l'expansion à la fin du procédé (Ačkar et al., 2018). Ce sont principalement les fibres insolubles qui ont un effet négatif sur l'expansion, elles sont la cause d'une réduction de la taille des alvéoles et leur cassure par une rupture prématurée des cellules gazeuses (Robin et al., 2012 ; Yanniotis et al., 2007). Les cellules produites sont plus petites avec des parois cellulaires plus épaisses produisant un snack plus dur (Mendonça et al., 2000). Ce principe est illustré à la figure 13 ci-dessous.

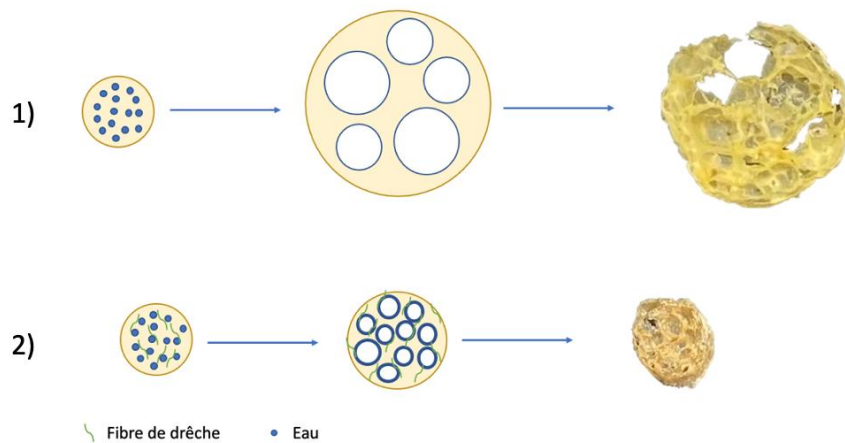


Figure 13 : Illustration du principe d'expansion avec (2) et sans fibres (1).

En même temps, l'ajout de fibres peut se remarquer dans la matrice du snack extrudé par des cassures à sa surface. Ces dernières peuvent alors laisser échapper la vapeur d'eau. Ceci explique une diminution de l'expansion des snacks extrudés et une diminution du contenu en humidité (Yanniotis et al., 2007). En ajoutant un produit riche en fibres (comme la drêche de brasserie) à une formulation de snack extrudé, sa densité et dureté augmente et sa structure devient moins poreuse. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'extensibilité des alvéoles est diminuée et cassent donc plus rapidement (Korkerd et al., 2016).

La taille des fibres peut également jouer un rôle dans le degré d'expansion. Plus la fibre est grande, moins l'expansion est importante. En effet, les alvéoles cassent plus rapidement avec des fibres de taille importante (Lue et al., 1991). La réduction de la taille des particules de son de maïs d'une taille moyenne de 250 μm à moins de 50 μm (Blake, 2006) ou de son de blé de 1500 à 150 μm augmente de manière significative l'expansion (Guy & Horne, 1988). Broyer les drêches de brasserie peut être une solution pour obtenir une meilleure expansion des snacks.

Les fibres solubles et la pectine

Au contraire des fibres alimentaires insolubles, les fibres solubles affectent moins l'expansion et la densité des extrudés (Korkerd et al., 2016).

Des études montrent un avantage à ajouter 1 % (sur base de matière sèche) de pectine. La pectine, étant une fibre soluble, peut améliorer l'expansion et la texture des snacks à base de maïs et de drêches de brasserie (Ačkar et al., 2018). L'ajout simultané de fibres et de pectine, ayant des effets opposés, ne donne pas de changement statistiquement significatif sur différents paramètres mesurés (dureté, expansion, taux d'humidité, ...) (Yanniotis et al., 2007). La pectine permettrait de contrebalancer les effets négatifs des fibres. La pectine diminuerait la cassure et stabiliserait les membranes cellulaires ce qui les rendraient plus extensibles et augmenteraient donc la porosité des snacks extrudés (Yanniotis et al., 2007).

La pectine exerce également une influence sur la gélatinisation et donc sur l'expansion des snacks extrudés. Lors de l'étude de Xie et al. (2021) une pectine de peau de citron a été utilisée. Cette pectine à haut pouvoir de méthylation a un caractère plutôt hydrophobe et entoure les molécules d'amylose, qui ainsi perdent moins de vapeur d'eau. Ceci améliore l'expansion (Xie et al., 2021).

Cependant, la pectine à faible pouvoir de méthylation a un caractère plutôt hydrophile. Elle capte l'eau et la rend ainsi indisponible pour l'amidon, qui ne peut plus se gélatiniser (Pippen et al., 1953). L'expansion est ainsi diminuée. (Xie et al., 2021). Le choix de la pectine est important pour pouvoir améliorer l'expansion.

Les protéines

Comme vu au point 2. 2. 3 de ce chapitre, la réaction de Maillard donne une couleur foncée aux produits extrudés. En raison de son contenu élevé en protéines, la réaction de Maillard est un processus d'avantage observé dans l'extrusion de la drêche de brasserie (Rufián-Henares et al., 2007).

De plus, les protéines peuvent elles aussi jouer un rôle au niveau de l'expansion des extrudés en modifiant la répartition au niveau de la matrice du snack (Moraru & Kokini, 2003).

Les paramètres de l'extrudeuse

Pour produire un snack extrudé à base de drêches de brasserie, différents paramètres doivent être réglés dont le débit du produit, son humidité, la température du procédé, la vitesse de vis et la pression appliquée (Stojceska et al., 2008 ; Stojceska et al., 2009).

La recette des snacks extrudés à base de drêche va jouer un rôle important. Généralement, le composant principal de la pâte est une farine de maïs. Le remplacement de 15 % à 20 % de la farine de maïs par de la drêche de brasserie pour un snack extrudé semble amener à un résultat acceptable d'un point de vue sensoriel (Makowska et al., 2013 ; Stojceska et al., 2008). Un ajout de 10 % ne semble pas affecter les propriétés sensorielles du produit, mais multiplie déjà le nombre de fibres par trois (Makowska et al., 2013).

5. 1. 7 L'influence des drêches sur les crackers

L'incorporation de drêches de brasseries change les propriétés de la pâte et des crackers. Elles diminuent la croustillance (Ktenioudaki, Crofton et al., 2013 ; Naibaho & Korzeniowska, 2021) et augmentent la dureté des crackers (Heredia-Sandoval et al., 2020 ; Ktenioudaki, O'Shea, et al., 2013 ; Naibaho & Korzeniowska, 2021) tout en diminuant l'élasticité de la pâte et sa capacité à être étalée (Odeseye et al., 2020 ; Naibaho & Korzeniowska, 2021). De plus, les drêches perturbent le développement des cellules de gaz en formant des parois plus dures et plus épaisses (Ačkar et al., 2018 ; Żelaziński et al., 2018 ; Naibaho & Korzeniowska, 2021).

Par la présence d'une quantité importante de groupes hydroxyle dans les fibres des drêches de brasserie, elles présentent une capacité de rétention d'eau élevée. Ceci entraîne une perturbation au niveau de la formation du réseau gluten et de la gélatinisation de l'amidon lors de la fabrication de la pâte à pain (Ktenioudaki, O'Shea, et al., 2013 ; Naibaho & Korzeniowska, 2021). De même, les fibres piègent l'eau liée au centre du produit ce qui l'empêche de s'évaporer (Żelaziński et al., 2018 ; Naibaho & Korzeniowska, 2021).

5. 1. 8 Appréciation des crackers aux drêches de brasserie

Pour terminer cette partie sur les drêches de brasseries, et après avoir vu leurs avantages et inconvénients, il est intéressant de voir comment sont perçus les crackers aux drêches de brasserie.

Une étude de Crofton et Scannell (2020) montre que le snack à base de drêche de brasserie le plus apprécié par le consommateur est le cracker aux drêches. Les autres snacks à base de drêches de brasserie parmi lesquels le consommateur avait le choix étaient des biscuits fruités et des gressins avec ou sans trempette (Crofton & Scannell, 2020).

Le cracker aux drêches a été évalué par le consommateur comme riche en fibres, léger, pratique/ ready-to-eat et pauvre en graisses. L'attribut riche en protéines n'a pas été choisi, alors que la demande pour ce type de produit est réelle. Ceci peut s'expliquer par le fait que le consommateur n'est peut-être pas assez informé sur la richesse en protéines de certaines plantes (Crofton & Scannell, 2020).

Le snack étant perçu comme riche en fibres, il donne l'impression qu'il est meilleur pour la santé et qu'il peut aider à la maîtrise du poids corporel. Cependant, par sa faible teneur en graisses, il donne également l'impression qu'il est insatisfaisant d'un point de vue sensoriel. Le consommateur associe un snack sain à un produit moins savoureux et satisfaisant (Crofton & Scannell, 2020). Pour plaire, le cracker doit avoir un bon goût et en même temps le consommateur doit être informé sur le fait qu'un produit à base de céréales peut être riche en protéines.

Sur la figure 14, les attributs donnés aux crackers aux drêches de brasserie et leurs conséquences sont illustrés.

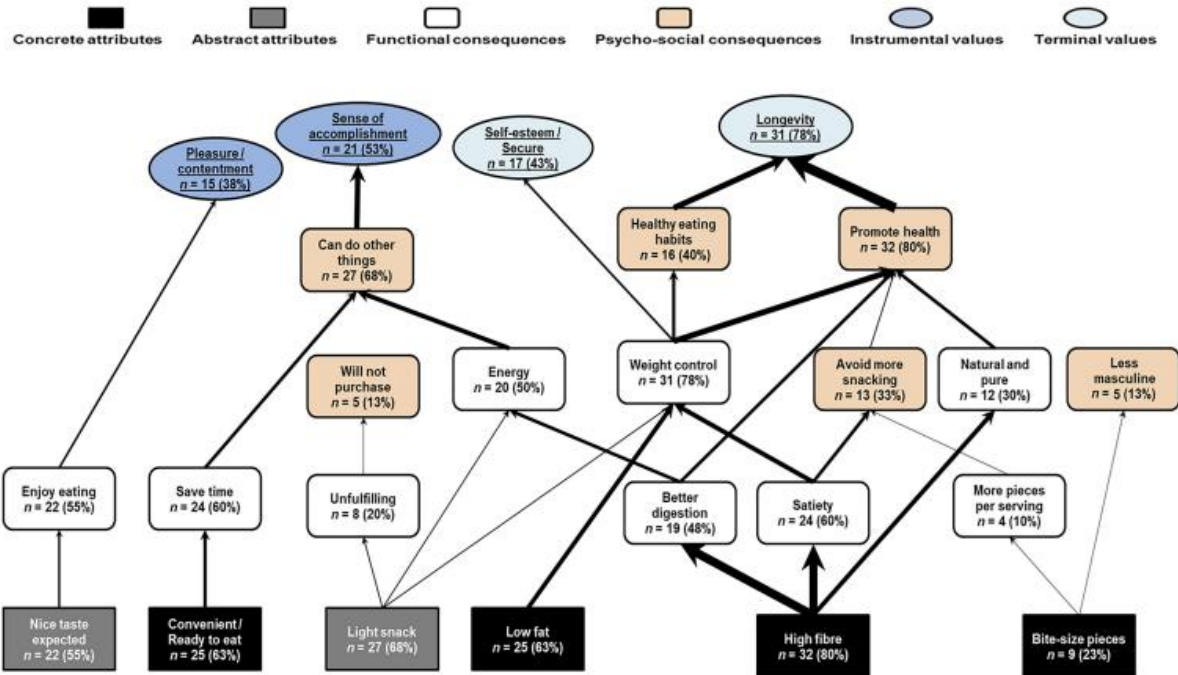


Figure 14 : Hierarchical value map des crackers (Crofton & Scannell, 2020).

5. 2 Les graines de lin

Selon l'ECA 2014, la moitié des Belges ne mangerait jamais de graines et la consommation quotidienne de graines et fruits à coque ne dépasserait pas 3 g par jour (De Ridder, 2016). D'après les recommandations du CSS de 2019, il est conseillé de consommer quotidiennement 15 à 25 g de fruits à coque ou de graines. Ces aliments contiennent des fibres, des acides gras insaturés ainsi que des protéines (CSS, 2019). Le choix de rajouter des graines de lin dans le snack apéritif permettrait d'augmenter les chances d'atteindre ces recommandations.

5. 2. 1 Composition

Les graines de lin sont un des produits les plus riches en acide alpha-linolénique avec en moyenne 16,7 g pour 100 g (Ciqual, 2020). Elles contiennent 35 % de leur masse sous forme d'huile, dont 55 % d'ALA (Prasad, 2009).

L'ALA est le précurseur alimentaire des acides gras polyinsaturés à longue chaîne. Il est partiellement converti en DHA et en EPA (Brenna et al., 2009). Les graines de lin contiennent de 10 à 31 % de protéines, 20 % de fibres insolubles et 9 % de fibres solubles (Shim et al., 2014).

La supplémentation de graines de lin montre des effets bénéfiques d'un point de vue cardiovasculaire (Skoczyńska et al., 2018).

Une étude montre que moins d'un pourcent d'ALA de l'huile de lin est détruit durant le processus d'extrusion (Imran et al., 2013 ; Szterk et al., 2015). Il serait donc intéressant de l'utiliser dans des snacks extrudés pour l'enrichir en oméga-3.

5. 2. 2 Recommandation en ALA

Les apports en oméga-3 des Belges équivalent en moyenne à 0,7 % de leurs apports énergétiques journaliers (Lebacqz, 2016) alors que le Conseil Supérieur de la Santé fixe les besoins en ALA pour les adultes à 1 % du besoin énergétique journalier.

L'apport en acides gras insaturés de type oméga-3 a des effets bénéfiques sur le système cardiovasculaire, les inflammations, le diabète et des cancers (Thachil et al., 2014). Les ajouter aux snacks apéritifs pourra donc être intéressant.

5. 3 L'huile de colza

Pour la formulation de la pâte des crackers, il a été choisi d'utiliser de l'huile de colza, car elle est riche en acides gras de la famille des oméga-3 (Sebei, 2007).

Sur la figure 15, différentes huiles ont été comparées par rapport à leur contenu en oméga-3. L'huile de colza n'étant pas l'huile la plus riche en ALA, n'est ainsi pas la plus oxydable (Dridi, 2016).

De plus, l'huile de tournesol (qui n'est pas reprise sur le graphique), souvent utilisée dans les snacks apéritifs est plus oxydable que l'huile de colza (Cuvelier & Maillard, 2012 ; Graille, 2003).

5. 3. 1 Composition

L'huile de colza est composée en moyenne de 60 % d'acide oléique, de 20 % d'LNA et de 9,6 % d'ALA (Sebei, 2007). Son rapport oméga-6 sur oméga-3 est le meilleur comparé aux autres huiles alimentaires (Rekas et al., 2017). Les tocophérols naturellement présents dans l'huile permettent de la protéger de l'oxydation (Rekas et al, 2017 ; Quiles et al., 2002 ; Sebei, 2007).

Il est démontré que le chauffage de l'huile de colza pressée à froid jusqu'à 180 °C ne lui fait pas perdre la plupart de ses molécules naturellement présentes (vitamine E, bêta-carotène, vitamines liposolubles). Cependant des produits d'oxydation peuvent augmenter avec des températures plus élevées. Pour cette raison, cette huile pourrait être utilisée en toute sécurité pour la cuisson d'aliments où la température reste généralement entre 100 °C et 115 °C. Néanmoins, certaines études évoquent que l'huile de colza pressée à froid peut être utilisée pour des fritures où la température s'élève jusqu'à 180 °C (Saleem & Ahmad, 2018).

De plus, certaines méthodes permettraient de majorer le contenu en composés phénoliques de l'huile de colza. Une étude de Rekas et al. (2017) montre que chauffer les graines (au micro-ondes) augmente leur contenu en composé phénoliques (Rekas et al., 2017). Ceci est également vrai pour des graines qui ont été grillé au four à 160 °C durant 15 minutes (Siger & Józefiak, 2016). Ces composés phénoliques se retrouvent après ces traitements à la chaleur également dans l'huile obtenu par pressage des graines (Siger & Józefiak, 2016 ; Rekas et al., 2017).

La figure 15 montre la corrélation entre l'oxydabilité et la teneur en acide alpha-linolénique de différentes huiles vierges. L'huile de lin contient plus d'oméga-3 que l'huile de colza et est également beaucoup plus oxydable (Dridi, 2016).

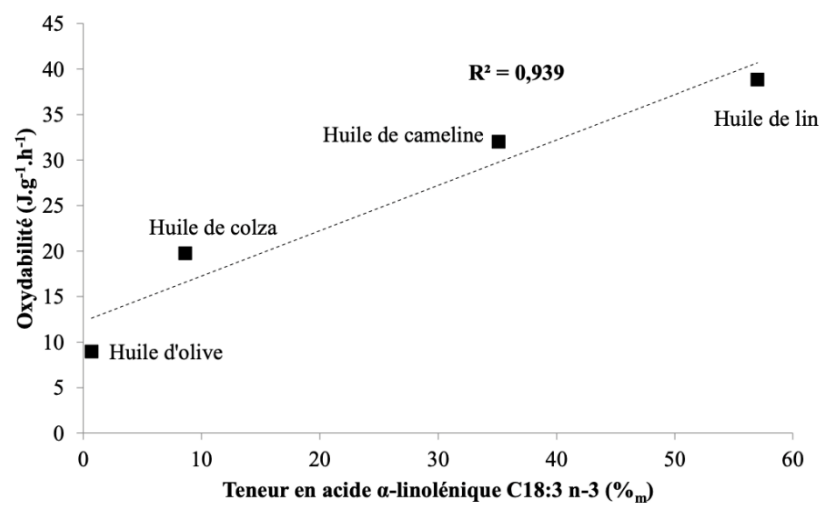


Figure 15 : Corrélation entre l'oxydabilité et la teneur en acide α -linoléique, pour les différentes huiles vierges de lin, cameline, colza et olive, dans des conditions isothermes à 60 °C (Dridi, 2016).

5. 4 La farine de maïs

La farine de maïs sera utilisée pour former la base de la recette du snack extrudé. Différentes variétés de maïs existent avec des caractéristiques spécifiques jouant sur les qualités organoleptiques du produit final. Le rôle de cette farine a été expliqué auparavant au point 2. 1 de ce chapitre.

6. La sécurité et la conservation des produits

Cette partie traite des différents risques que peut présenter un produit de type snack apéritif.

6. 1 L'activité de l'eau⁵

« a_w est le rapport de la pression partielle de vapeur d'eau en équilibre avec le produit analysé sur la pression saturante de vapeur d'eau en équilibre avec l'eau pure, à la même température » (Castaigne, 1993).

$$a_w = \frac{pF(T)}{P_s(T)}$$

« $pF(T)$ est la pression partielle de la vapeur d'eau en équilibre avec le produit analysé, à la température T (gardée constante durant le mesurage);

$P_s(T)$ est la pression saturante de la vapeur d'eau en équilibre avec l'eau pure, à la même température T . »⁶

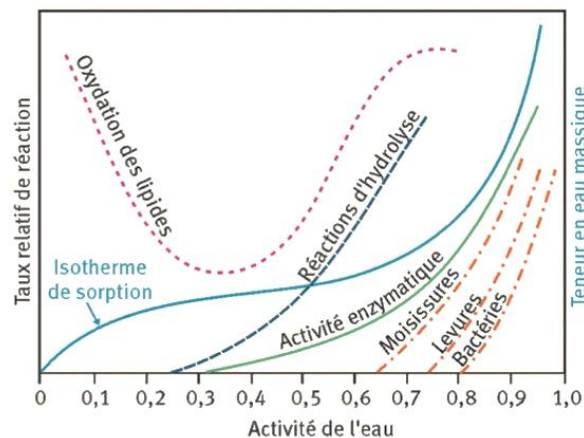


Figure 16 : Principaux agents de dégradation des aliments en fonction de l'Aw (Baldet & Colas, 2012 ; adapté de Labuza et al., 1971).

Comme le montre la figure 16, l'activité de l'eau influence très significativement la conservation des aliments. L'activité de l'eau des snacks/crackers doit être située entre 0,2 et 0,5 pour limiter l'oxydation des aliments, mais également l'activité enzymatique ainsi que le développement de moisissures, levures et bactéries (Baldet & Colas, 2012). Pour diminuer cette activité de l'eau, le produit va subir un processus de séchage.

Mesurer l'activité de l'eau permet de connaître la quantité d'eau libre disponible, favorisant les processus de dégradation. La valeur de l'activité de l'eau d'un produit tend à atteindre continuellement un équilibre avec l'atmosphère dans laquelle il se trouve. Pour cette raison, utiliser un emballage adapté, limitant cette reprise en eau, est indispensable à la conservation des propriétés des snacks.

⁵ ISO 18787:2017 (2017). ISO. Consulté le 17 décembre 2021, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18787:ed-1:v1:fr>

⁶ ISO 18787:2017 (2017). ISO. Consulté le 17 décembre 2021, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18787:ed-1:v1:fr>

Une fois l'emballage ouvert, la durée de conservation est donc limitée. Une altération de la texture pourra être également observée. En effet, des aliments à faible activité de l'eau comme des biscuits secs tendent à se ramollir lorsque leur activité d'eau augmente (Castaigne, 1993).

6. 2 L'oxydation

L'huile de lin et l'huile de colza, en raison de la présence de nombreuses insaturations (Rekas et al., 2017 ; Prasad, 2009), sont sensibles à l'oxydation. Celle-ci est initiée ou amplifiée par la présence d'oxygène et d'agents pro-oxydants tels que la lumière, la chaleur ou certains ions métalliques. Cette oxydation produit des composés potentiellement toxiques pour la santé et limite la durée de vie des produits, diminue les propriétés nutritionnelles et peut détériorer les propriétés sensorielles : arôme, odeur, couleur et texture (Genot et al., 2004 ; Combe, 2003).

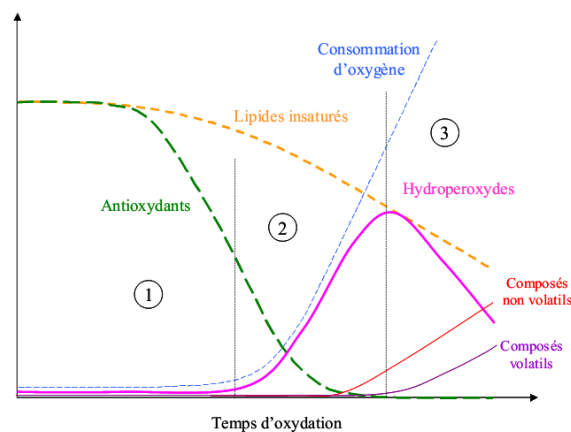


Figure 17 : Évolution de l'auto-oxydation des acides gras insaturés au cours du temps (Cuvelier et Maillard, 2012, adapté de Labuza & Dugan, 1971).

Comme il est représenté sur la figure 17, l'oxydation se caractérise comme un phénomène évolutif. Après la phase de latence ou période d'induction, l'oxydation peut être mesurée en dosant différents marqueurs d'oxydation comme des hydroperoxydes ou des composés volatils (Cuvelier & Maillard, 2012).

Différentes pistes sont exploitables afin de protéger de l'oxydation les matières premières et les produits finis lors de leur stockage :

L'usage d'antioxydants

« un antioxydant est défini comme toute substance capable de retarder ou de ralentir le rancissement, la décoloration ou l'apparition de saveurs indésirables dues à l'oxydation »⁷. Les antioxydants présents en faible concentration sont capables de retarder, supprimer ou empêcher les processus d'oxydation et ainsi aussi les conséquences entraînées.

⁷ antioxydant - Définitions, synonymes, conjugaison, exemples | Dico en ligne Le Robert. (s.d.). Le Robert. Consulté le 30 décembre 2021, <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/antioxydant>

Deux catégories d'antioxydants existent, ceux qui inactivent les radicaux libres et ceux qui préviennent leur formation (voir figure 18) (Cuvelier & Maillard, 2012 ; Genot et al., 2004).

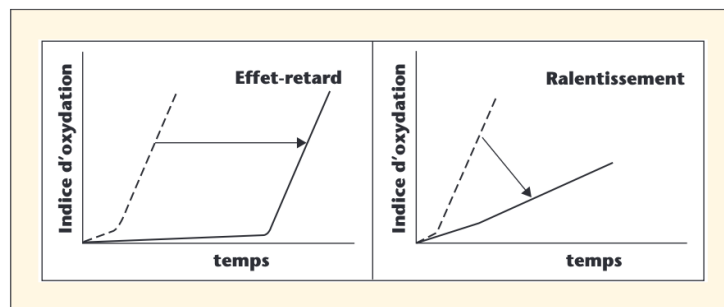


Figure 18 : Représentation schématique de l'effet antioxydant (pointillés : cinétique témoin ; traits pleins : cinétique avec antioxydant) (Cuvelier & Maillard, 2012).

Les huiles végétales non raffinées, naturellement riches en composés phénoliques tels que les tocophérols, sont naturellement protégées de l'oxydation par les antioxydants endogènes (Cuvelier & Maillard, 2012).

Diminuer le contact avec l'oxygène

La micro-encapsulation des huiles permet de protéger de l'environnement extérieur les lipides dans des matrices imperméables à l'oxygène, mais également imperméables à d'autres initiateurs d'oxydation comme la lumière ou des ions métalliques (Genot et al., 2004). De plus, conserver les produits contenant des lipides oxydables dans des emballages étanches, qui ont été mis sous vide ou auxquels sont ajoutés des absorbeurs d'oxygène, permet de protéger les lipides (Genot et al., 2004). Pour augmenter la conservation des chips, une atmosphère modifiée avec 100 % d'azote est régulièrement utilisée.⁸

Diminuer La température

La température joue un rôle dans les réactions d'oxydation. La contrôler et surtout la diminuer permet de limiter ces réactions indésirables (Genot et al., 2004).

Diminuer le contact avec la lumière

Utiliser un emballage opaque permet de protéger les aliments de la lumière (Genot et al., 2004).

⁸ WITT-GASETECHNIK GmbH & Co KG. (s.d.). *Emballage sous atmosphère modifiée*. wittgas.com. Consulté le 26 décembre 2021, <https://www.wittgas.com/fr/conseil-et-service/livres-blancs/emballage-sous-atmosphere-modifiee/>

6. 2. 1 Les additifs antioxydants

Pour éviter tout risque d'oxydation des snacks enrichis en oméga-3 et ainsi en prolonger la durée de vie, l'ajout d'un additif antioxydant pourrait être nécessaire. Dans le cadre de ce travail, il a été décidé d'utiliser le « E392 : extrait de romarin » car cet additif se retrouve notamment dans certains produits de la concurrence comme les crackers de chez MAD LAB (voir figure 19).



Figure 19 : MAD LAB, crackers « Drêche et thym ».⁹

D'après le règlement (CE) n° 1333/2008 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 16 décembre 2008, l'extrait de romarin est autorisé dans la catégorie des amuse-gueules à base de pommes de terre, de céréale, de farine, d'amidon ou de fécule. La limite maximale autorisée est de 50 mg/kg exprimée en fonction de la matière grasse (Règlement 1333/2008).

Une étude de Yang et al. (2016) explique que l'utilisation de l'extrait de romarin comme antioxydant présente une réelle alternative à l'utilisation d'antioxydant synthétique. Il retarde l'oxydation des huiles, protège tous les acides gras insaturés et prévient la dégradation des tocophérols, et ce de manière plus efficace que les antioxydants synthétiques. Cette capacité antioxydante est due à la présence de diterpènes phénoliques qui piègent des radicaux libres, comme l'oxygène singulet (Yang et al., 2016).

6. 3 Les risques microbiologiques

Dans ce chapitre, consacré aux risques microbiologiques, et dans les deux suivants, consacrés aux risques chimiques et physiques, sont exposés les différents paramètres qui peuvent mettre en péril la sécurité et la salubrité des produits.

⁹ Crackers – MAD LAB. (s.d.). MAD LAB. Consulté le 10 décembre 2021, <https://www.madlab.brussels/crackers/>

6. 3. 1 Risques microbiologiques des drêches de brasseries

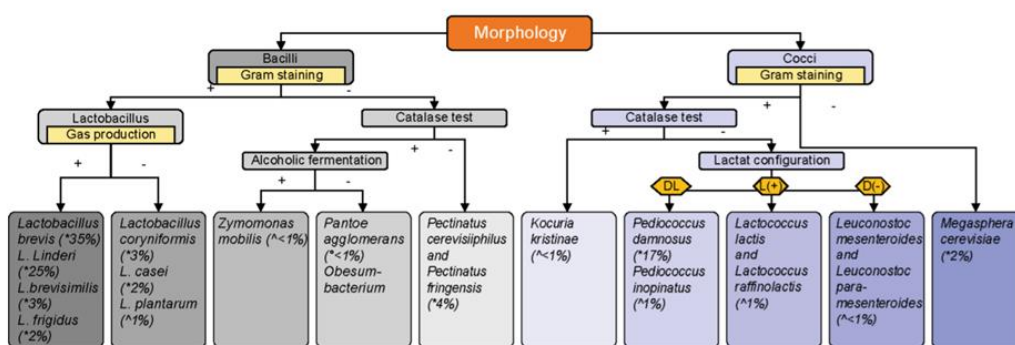
L'Aw doit être inférieur à 0,6 afin d'inhiber la croissance des bactéries, levures et moisissures, mais supérieur à 0,2 pour limiter l'oxydation des lipides et l'altération organoleptique (Jeantet et al., 2006 ; El Atyqy, 2018).

Pour les drêches de brasserie, l'AFSCA a attribué un score « peu probable » pour l'apparition de dangers microbiologiques de type moisissures, levures, insectes, *Salmonella spp.* et *Clostridium Botulinum* lorsque les conditions de pH et le taux d'humidité sont respectés et contrôlés. Cependant, si le temps de stockage sans traitement est trop long, le risque de contamination par moisissures augmente. Les drêches peuvent être contaminées par des *Fusarium spp* et *Aspergillus spp*, qui sont des moisissures productrices de mycotoxines lorsque les conditions sont favorables à leur développement (Aw et pH) (Pereyra et al., 2011).

L'acidité des drêches de brasserie avec un pH inférieure à 4,5 ralentit l'apparition de contaminants microbiologiques (Brasseurs Belges, 2007).

Analyser les microorganismes pouvant se développer lors des différents stades de production de la bière permet de connaître ceux pouvant contaminer les drêches de brasserie. Peu de documents reprennent ce type d'informations.

Un aperçu des contaminations bactériennes pouvant altérer la bière tout au long du stade de production est présenté à la figure 20. Ces bactéries constituent des flores d'altération non pathogènes. Une recontamination durant les différents procédés de fabrication de la bière peut être la cause d'une contamination des drêches par une flore pathogène. Pour cette raison, les bonnes pratiques d'hygiène sont une manière de lutter contre les microorganismes (Verma et al., 2013 ; ENILBIO, 2014).



*Obligate beer spoilage, ^Potential beer-spoilage, °Indirect beer spoilage.

Numbers in % gives the frequency of spoilage organisms from quality complaints for beer (1980-2002).

Figure 20 : Les différents microorganismes pouvant altérer la bière (ENILBIO, 2014).

Différentes bactéries et différents champignons peuvent être retrouvés au niveau des drêches de brasserie. La figure 21 reprend les principaux microorganismes ainsi que leur niveau d'abondance. Aucun de ces microorganismes ne nuit à la qualité de la drêche lorsqu'ils ne dépassent pas un certain seuil, surtout si un traitement ultérieur est appliqué à la drêche dans les jours qui suivent (Bianco et al., 2022). Aucune valeur seuil n'a pu être trouvée.

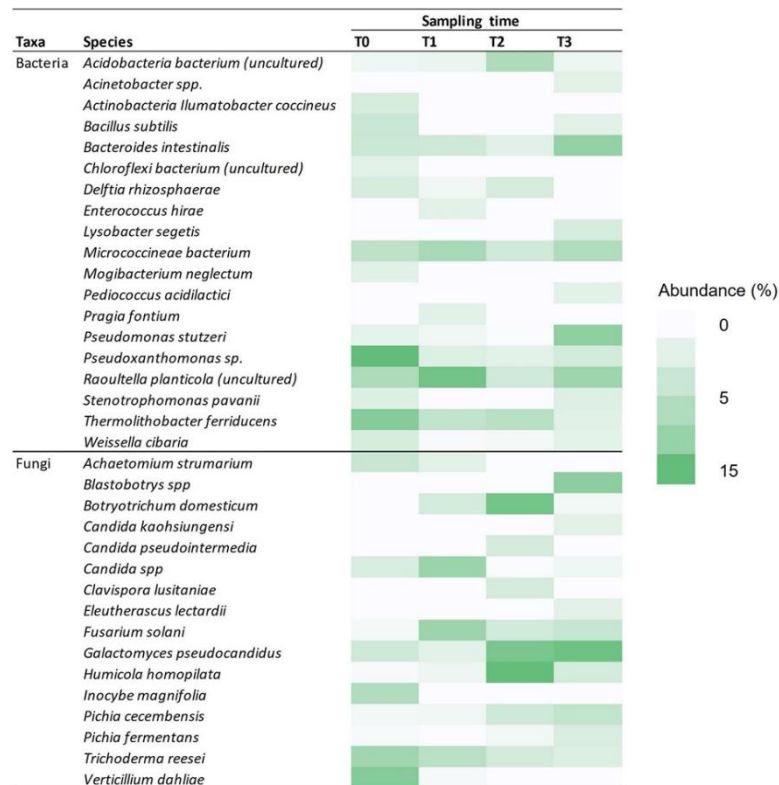


Figure 21 : Les microorganismes qui peuvent être présents au niveau des drêches de brasserie six heures (T0) après leur production (Bianco et al., 2022).

6. 3. 2 Risques microbiologiques des produits finis

En ce qui concerne les produits finis, les valeurs critiques acceptables de microorganismes sont présentées dans le tableau 3. L'activité de l'eau est l'élément affectant le plus la croissance des microorganismes. Les produits finis, ayant une activité de l'eau faible, que ce soient les snacks extrudés ou les crackers, ont peu de probabilité de favoriser le développement des micro-organismes. Pour cette raison, peu de normes au niveau de la législation belge ou européenne ont été imposées et donc trouvées. Les sources utilisées pour tableau 3 proviennent du gouvernement du Québec et du Luxembourg.

Tableau 3 : Normes des microorganismes pouvant être présents dans le produit fini.

Microorganismes	m	M	Références
Moisissures	10 ³ UFC/g		Gouvernement du grand-duché de Luxembourg, Ministère de la Santé. (2018). Critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires, Lignes directrices pour l'interprétation.
<i>E. Coli</i> producteur de shigatoxines	Non détecté	Non détecté	Gouvernement du Québec. (2019). Lignes directrices et normes pour l'interprétation des résultats analytiques en microbiologie alimentaire.
<i>Salmonella spp.</i>	Non détecté	Non détecté	Gouvernement du Québec. (2019). Lignes directrices et normes pour l'interprétation des résultats analytiques en microbiologie alimentaire.
<i>B. cereus</i>	10 ³ UFC/g	10 ⁴ UFC/g	Gouvernement du Québec. (2019). Lignes directrices et normes pour l'interprétation des résultats analytiques en microbiologie alimentaire.
<i>C. perfringens</i>	10 ³ UFC/g	10 ⁴ UFC/g	Gouvernement du Québec. (2019). Lignes directrices et normes pour l'interprétation des résultats analytiques en microbiologie alimentaire.
<i>S. aureus</i> coagulase positive	10 ³ UFC/g	10 ⁴ UFC/g	Gouvernement du Québec. (2019). Lignes directrices et normes pour l'interprétation des résultats analytiques en microbiologie alimentaire.
Germes anaérobie mésophile	10 ⁵ UFC/g	10 ⁶ UFC/g	Gouvernement du Québec. (2019). Lignes directrices et normes pour l'interprétation des résultats analytiques en microbiologie alimentaire.

6. 4 Les risques chimiques

Au niveau des risques chimiques, ce sont principalement les mycotoxines qui peuvent être source de problèmes. Des produits d'oxydation peuvent également être présents. Ceux-ci ont été détaillés précédemment.

Les mycotoxines sont des toxines produites par des champignons quand les conditions de température, d'humidité et d'oxygène sont propices. On peut en retrouver dans des matières premières végétales comme l'orge. Certains types de mycotoxines retrouvées sur l'orge sont les trichothécènes, l'ochratoxine A, la zéaralénone, l'aflatoxine B1, les fumonisines B1 et potentiellement la patuline (Olsson et al., 2002 ; Park et al., 2002 ; Lopez-Diaz & Flammigan, 1997). Elles représentent un danger, car elles sont thermostables et persistent dans le produit final même si les champignons ont été détruits (Inoue et al., 2013).

La gravité liée à la présence de mycotoxines dans les drêches de brasserie, notamment l'aflatoxine B1 et les fumonisines, est qualifiée comme « grave » voire « très grave » (AFSCA, 2006). Les normes se trouvent dans le tableau 4.

Tableau 4 : Risques chimiques de type mycotoxines (Règlement (CE) 1881/2006).

Noms	Explications	Limites
Aflatoxines	“Toutes les céréales et tous les produits dérivés des céréales, y compris les produits de céréales transformés, à l’exception des denrées alimentaires figurant aux points 2.1.7, 2.1.10 et 2.1.12”	B1 : 2 µg/kg B1 + B2 : 4 µg/kg
Ochratoxine A	“Tous les produits dérivés de céréales brutes, y compris les produits de céréales transformés et les céréales destinés à la consommation humaine directe, à l’exception des denrées alimentaires figurant aux points 2.2.9 et 2.2.10”	3 µg/kg
Patuline	Pas de norme pour les produits autres que ceux à base de pomme ou jus de fruits.	10 µg/kg
Fumonisines	“Aliments à base de maïs destinés à la consommation humaine directe, à l'exception des aliments figurant aux points 2.6.2 et 2.6.4”	400 µg/kg
Zéaralénone	“Pain (y compris les petits produits de boulangerie), pâtisseries, biscuits, collations aux céréales et céréales pour petit déjeuner, à l’exclusion des collations au maïs et des céréales pour petit déjeuner à base de maïs”	50 µg/kg
Déoxynivalénol	“Pain (y compris les petits produits de boulangerie), pâtisseries, biscuits, collations aux céréales et céréales pour petit déjeuner”	500 µg/kg
Toxines t-2 et HT-2 (trichothécènes)	Pas de normes trouvées	

D’autres risques chimiques peuvent être présents dans les drêches de brasserie comme les alcaloïdes contenus dans l’ergot de seigle, mais la probabilité est, selon l’AFSCA, désignée comme « apparition pratiquement impossible ». De même, la présence de résidus de pesticides a une probabilité d’apparition qualifiée de « non probable » (AFSCA, 2006). Des normes concernant les pesticides et métaux lourds sont reprises dans le tableau 5.

Tableau 5 : Les risques chimiques de type pesticides et métaux lourds dans les drêches (Brasseurs Belges, 2007).

Risque chimique	Molécule et limite tolérées
Pesticides	Camphéchole : 0,11 mg/kg de MS* Chlordane : 0,02mg/kg de MS* DDT : 0,06 mg/kg de MS* Endosulfan : 0,11 mg/kg de MS* Endrine : 0,01 mg/kg de MS* Heptachlore : 0,1 mg/kg de MS*
Métaux lourds	Arsenic : 2.27 mg/kg de MS* Plomb : 11.36 mg/kg de MS* Fluor : 170.45mg/kg de MS* Mercure : 0.11 mg/kg de MS* Cadmium : 1.13mg/kg de MS*

*Les limites tolérées sont établies pour la nutrition animale, un facteur de précaution pourrait être nécessaire.

6. 5 Les risques physiques

Le produit doit être exempt de corps étrangers :

- Morceaux ou particules dangereuses de métal, de plastique, de verre, de fragments d’emballages, ...
- Cheveux, ongles, pansements, bijoux, ... (ANSES, 2014).

Selon l’AFSCA, la présence de corps étrangers est qualifiée de “apparition pratiquement impossible” dans le mou et dans la drêche (Brasseurs Belges, 2007). Lors de la filtration du moût à travers la drêche, le risque d’apparition de corps étrangers dans cette dernière est plus important (AFSCA, 2006).

III. Le cahier des charges

Le cahier des charges a été réalisé d'après les recherches bibliographiques. Il constitue les objectifs à atteindre dans la suite de ce travail.

1. Sécurité

Les produits auront une activité de l'eau supérieure à 0,2 et inférieure à 0,5 pour limiter la prolifération de microorganismes et de moisissures ainsi que pour freiner l'apparition des produits d'oxydation lipidique et de conserver une texture croustillante. Le taux des différents microorganismes dans les produits finis sera inférieur aux limites établies dans le tableau 3 des risques microbiologiques.

Un antioxydant pourra éventuellement être ajouté: Le E392 extrait de Romarin. La quantité utilisée sera de 50 mg par kg de matière grasse, ce qui correspond à la valeur maximale légale. Celui-ci permettra une conservation optimale des produits et ralentira l'oxydation pouvant altérer le goût des snacks. Son utilisation sera évaluée.

Les teneurs en mycotoxines ne devront pas dépasser les teneurs reprises dans le tableau 4. Les teneurs en métaux lourds et en pesticides ne devront pas dépasser les teneurs reprises dans le tableau 5.

Les produits finis emballés auront une DDM de minimum 3 mois et se conserveront à température ambiante à l'abri de la lumière et de l'humidité. Ils se conserveront 3 jours après ouverture de l'emballage.

Les snacks apéritifs contiendront, si nécessaire, un antioxydant réglementé (l'extrait de romarin) qui réduira le risque d'oxydation des oméga-3 contenu dans le produit.

Les produits seront absents de corps étrangers pouvant nuire à la santé.

2. Société

Les produits répondront à la demande d'un snack plus sain tout en gardant l'esprit de partage et de plaisir lors des apéritifs en groupe.

Ils permettront de répondre à la problématique de la pénurie de ressources alimentaires. Pour ce faire, les snacks contiendront des drêches de brasserie avec une teneur de minimum 30 % pour les snacks extrudés et de minimum 40 % pour les crackers. Cette drêche sera incorporée soit sous forme entière, soit sous forme de farine.

Les snacks contiendront des drêches, de la farine et des épices issues de l'agriculture biologique et obtiendront ainsi le label « bio ». Le but est d'attirer un marché de niche consommant déjà des produits biologiques et voulant innover en matière d'alimentation.

Les produits entrent dans une démarche d'économie circulaire avec l'utilisation de drêches provenant d'une brasserie wallonne et seront également transformés en Wallonie¹⁰. Le produit final sera ensuite commercialisé dans les magasins biologiques belges, avec l'optique d'étendre, dans le futur, la distribution aux rayons locaux de tous les supermarchés.

3. Service

Les emballages seront éco-conçus, et respecteront les points énoncés dans le cahier des charges fonctionnel repris au point VI. L'emballage et essayeront d'inclure un maximum de points repris dans la règle des 10R énoncée par monsieur Léonard.

Des emballages seront dans un grand format et contiendront entre 90 et 110 g de produit. Des portions individuelles, pouvant être vendues en distributeurs, pourront être également proposées par la suite.

Le prix des produits sera aligné à la concurrence et sera fixé plus précisément grâce à une étude de marché, en fonction du prix psychologique. Les produits feront partie d'une catégorie haut de gamme avec un prix légèrement supérieur à des snacks apéritifs classiques.

4. Santé

Comme dit précédemment, les produits contiendront au minimum 30 % de drêches pour les snacks extrudés et 40 % pour les crackers. Les drêches contiennent plus de fibres, de protéines et moins de glucides que les farines traditionnelles et permettent ainsi d'augmenter la valeur nutritionnelle des snacks. La quantité de drêche incorporée est également importante pour obtenir des allégations nutritionnelles et de santé.

Les allégations nutritionnelles suivantes apparaîtront sur l'étiquette des produits : "source d'oméga-3" (minimum 0,3 g d'ALA pour 100 g et 100 kcal) et "riche en fibres" (6 g de fibres par 100 g ou 3 g de fibres par 100 kcal). Selon le RÈGLEMENT (UE) No 432/2012, les snacks pourront porter les allégations de santé suivantes : "L'acide alpha-linolénique (ALA) contribue au maintien d'une cholestérolémie normale" ainsi que "Les fibres de grains d'orge contribuent à augmenter le volume des selles". Les snacks devront contenir au minimum 6,4 g de graines de lin par 100 g de produit pour être source de ALA et minimum 9 g de graines d'orges ou 33,9 g de farine d'orge pour être source de fibres.

¹⁰ Economie circulaire | Belgium.be. (s.d.). belgium.be. Consulté le 25 juillet 2022, https://www.belgium.be/fr/economie/developpement_durable/economie_durable/economie_circulaire

L'objectif de mentionner ces allégations sur l'emballage est d'attirer les consommateurs vers des produits possédant une meilleure composition nutritionnelle en comparaison à d'autres produits concurrents. De cette manière, les clients intéressés par une alimentation saine et faisant attention à la composition des produits qu'ils achètent seront susceptibles d'être davantage attirés par notre gamme de produits.

Ces allégations faisant généralement vendre le produit jouent également un rôle au niveau marketing. En effet, l'intérêt majeur en tant qu'industriel est d'attirer le plus grand nombre de clients vers le produit afin d'en générer un bénéfice financier maximum. Plus de détails sur la partie législative de l'obtention des allégations nutritionnelles et de santé se trouvent dans l'annexe 1.

Les produits auront au minimum un Nutri-Score B. L'annexe 2 reprend la législation sur l'obtention et l'utilisation du Nutri-Score ainsi que la méthode de calcul utilisée dans la suite de ce travail.

5. Satisfaction

La cote de satisfaction devra être au minimum aussi élevée que la concurrence.

Texture

Pour les snacks extrudés, la texture devra être aussi croustillante que des Chipitos. Pour cela, l'ajout d'un pourcent de pectine permettra d'améliorer l'expansion et le croustillant des snacks extrudés. Une activité de l'eau inférieure à 0,5 est visée pour assurer la croustillance. Pour les crackers, ils devront être aussi croustillant que ceux de MAD LAB, si possible sans ajout d'additifs alimentaires.

Goût

Nature, arômes naturels de paprika – ail, fromage ou autre en fonction de l'attente du consommateur. Cette attente sera évaluée lors de l'étude de marché. Aucun exhausteur de goût ne sera ajouté au produit.

Dimension

Les crackers seront ronds avec un diamètre compris entre 30 et 35 mm et les snacks extrudés auront un diamètre de 15 mm.

6. Première formulation des snacks extrudés

Pour produire le snack extrudé, une extrudeuse à double vis sera utilisée. Ce type de machine est retrouvée dans les laboratoires de Gembloux au TERRA. Les avantages d'utiliser cette machine sont expliqués dans la partie bibliographique sur l'extrusion.

La pâte contiendra les éléments suivants :

- Minimum 30 % de drêches de brasserie pour obtenir les allégations nutritionnelles et de santé qui ont été expliquées précédemment.
- Un maïs ayant comme expliqué au point 2. 2. 1 un bon rapport amylose/amylopectine.
- 1 % de pectine pour améliorer l'expansion qui est diminuée par l'ajout de la drêche de brasserie.
- Du sel et des épices pour apporter de la saveur.
- De l'huile de colza.
- Minimum six grammes de graines de lin pour apporter un apport en oméga-3 suffisant pour obtenir les allégations nutritionnelles et de santé.
- Éventuellement un antioxydant pour prévenir l'oxydation des oméga-3 présents dans les graines de lin.

La pâte aura un taux d'humidité comprise entre 12 et 17 % (Stojceska et al., 2008 ; Stojceska et al., 2009). Sur base de l'étude bibliographique, cette formulation a été établie afin d'optimiser la texture croustillante et la composition nutritionnelle du produit final. Ces paramètres sont importants pour satisfaire le consommateur et obtenir les allégations nutritionnelles et de santé voulues.

Le choix des paramètres de l'extrudeuse a été fait sur base d'un TFE préalablement réalisé sur celle-ci (Plompteux, 2021) et de l'expérience du personnel de laboratoire du TERRA.

Les paramètres seront les suivants :

- Un taux d'alimentation de 40 à 80 kg/h,
- Une température de 150 °C
- Une vitesse de 200 rpm

7. Première formulation des crackers

Pour produire les crackers, un four à pain classique pourra être utilisé. Une température de 180 °C durant 15 minutes permettra d'assécher suffisamment les crackers et ainsi obtenir une texture croustillante et optimiser leur conservation.

La pâte contiendra les éléments suivants :

- Minimum 40 % de drêches de brasserie.
- De la farine complète.
- Minimum six grammes de graines de lin.
- De l'huile de colza.
- De l'eau.
- Des épices.

Sur base de l'étude bibliographique, cette formulation a été établie afin d'optimiser la texture croustillante et la composition nutritionnelle du produit final. Ces paramètres sont importants pour satisfaire le consommateur et obtenir les allégations nutritionnelles et de santé voulues.

IV. L'étude de marché

Le but de cette partie est d'analyser les habitudes alimentaires, le marché du snacking apéritif, du bio et de l'alimentation saine. Ceci est indispensable pour positionner au mieux le produit et répondre aux besoins ainsi qu'à la demande de la population. Ce chapitre est composé en premier lieu d'une pré-enquête, qui consiste en une recherche d'informations d'une part, un interview de magasin et de consommateurs potentiels et d'une analyse de la concurrence, afin de poser des hypothèses pour l'étude de marché. Après la formulation des hypothèses, une étude de marché qualitative a permis d'élaborer les questions de l'étude quantitative.

1. Thème

Mise en vente de snacks apéritifs à base de drêches de brasserie biologiques sur le marché belge.

2. Objectifs

L'objectif de l'étude de marché sera de répondre à quatre questions :

- Quelles sont les habitudes de consommation des snacks apéritifs des Belges ?
- La population belge est-elle intéressée par des snacks apéritifs sains à base de drêches de brasserie ?
- Quels sont les raisons de cet intérêt ?
- Pourquoi certaines personnes ne sont-elles pas intéressées par ces produits ?

3. Pré-enquête

Les habitudes alimentaires des Belges ainsi que le marché du snacking et le marché biologique ont été analysés par une recherche documentaire. La concurrence en termes de snacking a également été étudiée. Cette pré-enquête a pour but de formuler des hypothèses pour l'étude de marché.

3. 1 Les habitudes alimentaires

Les habitudes alimentaires concernant la consommation d'alcool, le grignotage, les snacks apéritifs, le bio et le gaspillage alimentaire sont reprises dans les points ci-dessous. Le but étant de voir si les habitudes alimentaires influencent le choix du snack et la quantité consommée. Ces suppositions seront vérifiées durant la pré-enquête.

3. 1. 1 La consommation d'alcool

Le point sur la consommation d'alcool est abordé, car le produit contient un sous-produit de la fabrication de la bière. Pour cette raison, cibler un public passionné par la bière pourrait être intéressant. En effet, il est supposé que des gens buvant de l'alcool aiment accompagner leur boisson de snacks apéritifs.

Une enquête de Sciensano datant de 2018 a analysé la consommation d'alcool de la population belge âgée de minimum 15 ans.¹¹

Concernant la consommation d'alcool, 84 % des hommes boivent de l'alcool contre 77 % des femmes et ils sont 16 % à en consommer tous les jours contre 9 % des femmes (Gisle, 2008). Comme le montre le graphique de la figure 22, les hommes de 55 à 64 ans ont une tendance plus importante à la surconsommation d'alcool.¹²

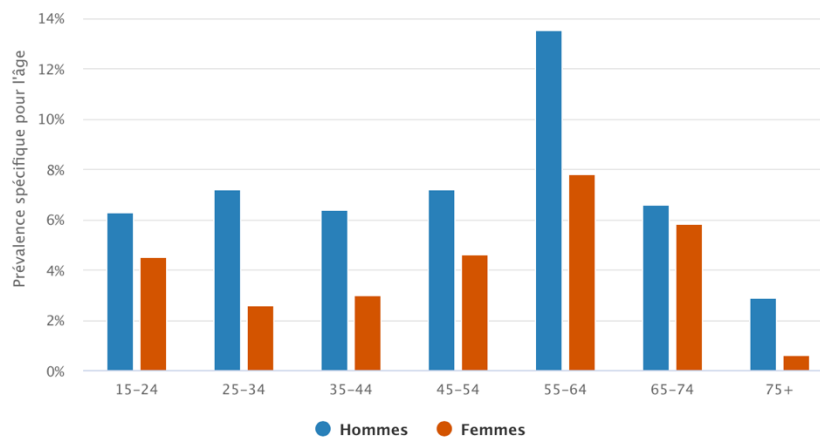


Figure 22 : Prévalence de la surconsommation d'alcool dans la population âgée de 15 ans et plus, par groupes d'âges et par sexe, Belgique, 2018.¹³

Parmi la population belge âgée de 15 ans et plus, en Région flamande, on observe une consommation d'alcool plus importante (83 % de la population) par rapport à la Région wallonne (78 %) et bruxelloise (70 %) (Gisle, 2008).

En France, une étude a analysé en 2021 les habitudes apéritives de la population adulte française. Cette étude a été réalisée sur 1001 personnes représentatives de la population française âgée de 18 ans et plus, selon la méthode des quotas. Elle montre que de l'alcool est consommé lors de 84 % des apéritifs. Sur la figure 23, il est possible de voir que le vin est la boisson la plus consommée (41 %) suivie par la bière (36 %) (Lanco, 2021). Cependant, la consommation de bière est plus importante en Belgique. Elle était de 53 litres par habitant en 2020¹⁴. Selon un sondage réalisé par le groupe hôtelier Mercure en 2016, 6 Belges sur 10 consomment de la bière au moins une fois sur la semaine (Jadot, 2018).

¹¹ Sciensano. *Health Interview Survey, 1997-2018*. Consulté le 3 juin 2022, <https://www.sciensano.be/fr/projets/enquete-de-sante>

¹² *Consommation d'alcool*. (2021, 21 septembre). *Vers une Belgique en bonne santé*. Consulté le 20 décembre 2021, <https://www.belgiqueenbonnesante.be/fr/etat-de-sante/determinants-de-sante/consommation-d-alcool#references>

¹³ *Consommation d'alcool*. (2021, 21 septembre). *Vers une Belgique en bonne santé*. Consulté le 20 décembre 2021, <https://www.belgiqueenbonnesante.be/fr/etat-de-sante/determinants-de-sante/consommation-d-alcool#references>

¹⁴ *Beer consumption by country(Year) | Market data and Sales (former Data book and Sales Reports) | Kirin Holdings*. (s.d.). Kirin Holdings Company, Limited. Consulté le 13 décembre 2021, https://www.kirinholdings.com/en/investors/library/databook/beer_country/

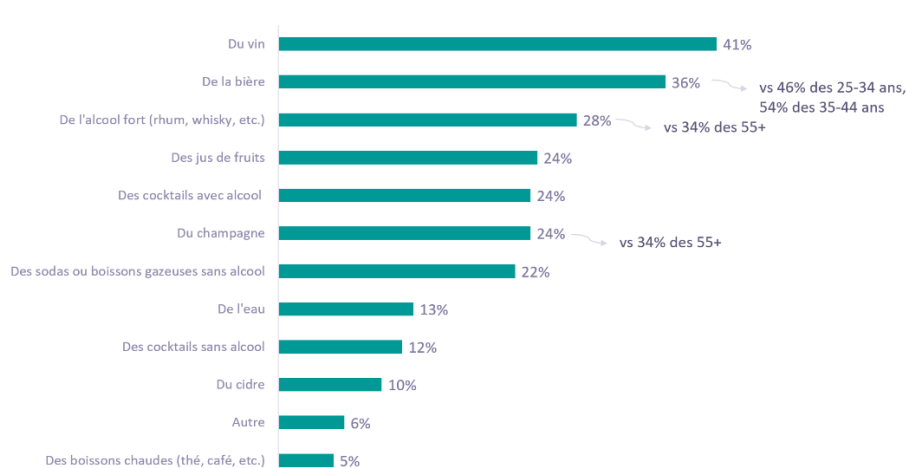


Figure 23 : Boissons consommées lors de l'apéritif en France (Lanco, 2021).

3. 1. 2 Le grignotage

Afin de mieux comprendre qui sont les consommateurs de snacks apéritifs et pourquoi ils en mangent, il est intéressant d'analyser le grignotage de la population belge.

L'étude de De Ridder portant sur la consommation alimentaire des Belges âgées de 3 à 64 ans a montré que plus de 40 % des Belges affirment grignoter entre les repas et en moyenne trois fois sur la journée. Ce comportement alimentaire est surtout observé auprès de la population âgée de 18 à 39 ans (De Ridder, 2016).

En France, selon l'étude NutriNet-Santé, 61 % de la population grignote entre les repas. Cette étude a été faite sur 180 000 volontaires âgés de 18 ans ou plus.¹⁵

- Ce grignotage est plus fréquent chez les femmes (58 %) que chez les hommes (42 %),
- Et plus présent chez les moins de 55 ans (63 %) que chez les plus âgés (58 %).

Le grignotage occasionnel représente 13 % des besoins énergétiques journaliers, tandis que le grignotage régulier atteint 22 %. Les aliments consommés sont principalement gras et sucrés. L'apport calorique total sur la journée est plus élevé chez les personnes qui grignotent. Un tiers des grignoteurs essaie de perdre du poids pour parvenir à éliminer les kilos accumulés par cet excédent calorique.¹⁶

¹⁵ L, M. (2011, 19 mai). *Alimentation : 61% de la population grignote*. lsa-conso.fr. Consulté le 21 novembre 2021, de <https://www.lsa-conso.fr/alimentation-61-de-la-population-grignote,121932>

¹⁶ L, M. (2011, 19 mai). *Alimentation : 61% de la population grignote*. lsa-conso.fr. Consulté le 21 novembre 2021, de <https://www.lsa-conso.fr/alimentation-61-de-la-population-grignote,121932>

Les raisons de consommer un snack sont (Braesco, 2017) :

- La faim.
- L'environnement, comme la disponibilité d'aliments agréables ou préférés (Zenk et al., 2014).
- Le contexte social, comme d'avoir de la compagnie en mangeant (Elliston et al., 2017).
- Le fait d'être distrait par des écrans ou par d'autres activités qui pousse à la prise alimentaire inconsciente (Braude et al., 2014).
- L'alimentation hédonique.
- Le stress ou l'ennui.

En Belgique, selon le centre de recherche et d'information des organisations de consommateurs, les chips et biscuits salés représentent respectivement 8 % et 11 % des en-cas préférés parmi les consommateurs de snacks¹⁷. Une autre étude montre que la consommation de snacks salés apéritifs est la plus élevée chez les adolescents et jeunes adultes (de 10 à 39 ans). Les adultes au-dessus de cet âge-là ont tendance à avoir des habitudes alimentaires plus saines. Une prédominance de la consommation de ces produits s'observe également chez les hommes et les personnes présentant un niveau d'éducation faible (De Ridder, 2016).

Une étude de consommation menée par De Ridder et al., réalisée aléatoirement sur 3461 personnes résident en Belgique sans tenir compte de la nationalité et âgée de 3 à 64 ans montre qu'en moyenne, la consommation de snacks salés et frits représente 32 g par jour (De Ridder et al., 2016).

3. 1. 3 Les recommandations nutritionnelles de snacks apéritifs

Les snacks apéritifs font partie de la catégorie des produits à consommer de manière occasionnelle comprenant les boissons sucrées/alcoolisées, les biscuits, le chocolat et les sucreries. La consommation de ce groupe d'aliments ne doit pas dépasser 10 % des besoins énergétiques journaliers. Or, cette consommation moyenne équivaut habituellement à 656 kcal par jour ; cette recommandation est respectée par seulement 6 % des 3 à 64 ans (De Ridder et al., 2016). Le tableau 6 reprend les recommandations de consommation concernant le groupe résiduel.

¹⁷ *Consommer des collations saines, éviter le grignotage*. Éducation Santé. (2007, avril). Consulté le 22 novembre 2021, <https://educationsante.be/consommer-des-collations-saines-eviter-le-grignotage/>

Tableau 6 : Recommandations en ce qui concerne la consommation de produits du groupe résiduel, par âge (De Ridder et al., 2016).

Âge	Quantités maximales recommandées (sous forme de kcal) par jour
Enfants d'âge préscolaire (3-5 ans)	110 kcal
Enfants (6-11 ans)	145 kcal
Adolescents (12-18 ans)	230 kcal
Adultes (19-64 année)	250 kcal

3. 2 Le marché du snacking apéritif

L'apéritif est un moment de partage précédant le repas et désignant la collation composée généralement d'une boisson alcoolisée ou non et de biscuits salés (Businesscoot, 2021).

Selon l'étude de Lanco, 49 % des Français et plus précisément 57 % des 25-34 ans prennent l'apéritif au moins une fois par mois. La figure 24 reprend les lieux privilégiés où les Français prennent l'apéritif. Environ 82 % le prennent à domicile et 52 % chez des amis ou la famille, les pourcentages sont plus faibles pour les apéritifs pris au restaurant ou dans un bar (Lanco, 2021).

Selon une étude de Digest Etude NellyRodi et IRI pour le Syndicat des apéritifs à croquer, 88 % de la population française se sent concernée par l'apéritif.¹⁸

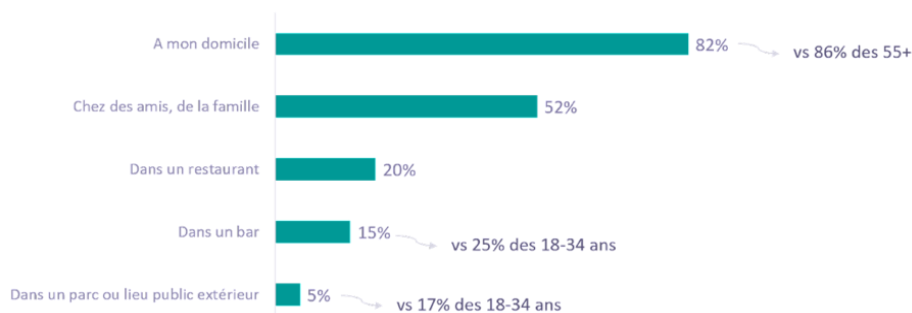


Figure 24 : Lieu privilégiés pour prendre un apéritif dans la population française (Lanco, 2021).

3. 2. 1 Les snacks salés

La part de marché pour l'épicerie salée a augmenté en 10 ans. En 2019, ce marché représentait 6 à 7 %, ce qui montre, en faisant référence à la figure 25, une augmentation de 1 à 2 % depuis 2018. Ce marché est stable en ce qui concerne la pénétration, mais la quantité achetée de ces produits augmente, un potentiel de croissance est à envisager (Lavabre, 2019).

¹⁸ Les Apéritifs à Croquer, stars des moments apéros des Français ! (2017). Le Syndicat des Apéritifs à Croquer. Consulté le 10 novembre 2021, <https://www.aperitifscroquer.fr/wp-content/uploads/2018/06/CP-aperos-Printemps-ete-2018.pdf>

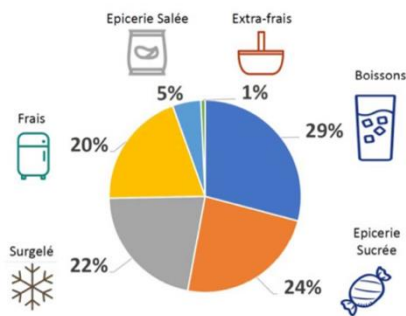


Figure 25 : Part du marché en 2018 (Perriot, 2018).

Les biscuits apéritifs comprennent tous les produits secs salés consommés habituellement lors de l'apéritif. Les graines salées, les crackers, les chips et les snacks extrudés représentent les quatre principales catégories retrouvées sur le marché (Businessscout, 2021). Comme le montre la figure 26, en France, les biscuits apéritifs salés sont les plus consommés (64 %) suivis par les graines (59 %) et ensuite les chips (53 %) (Lanco, 2021).

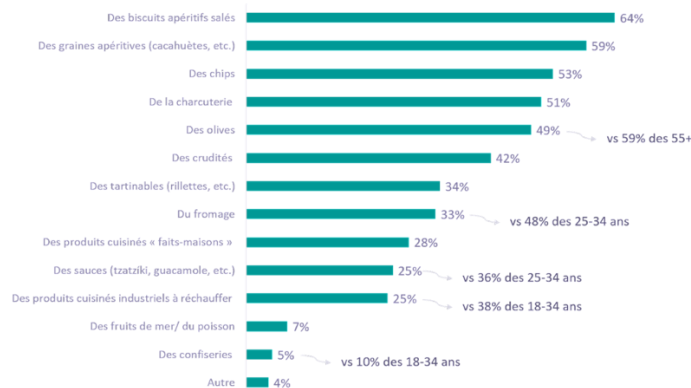


Figure 26 : Produits consommés lors de l'apéritif (Lanco, 2021).

Comme le montre la figure 27, les graines salées, les chips ainsi que les extrudés et les tuiles connaissent une bonne croissance contrairement aux biscuits salés, dus à leur manque de modernité. La dépense moyenne des Français dans ce secteur est d'environ 60 € par an (Lavabre, 2019).

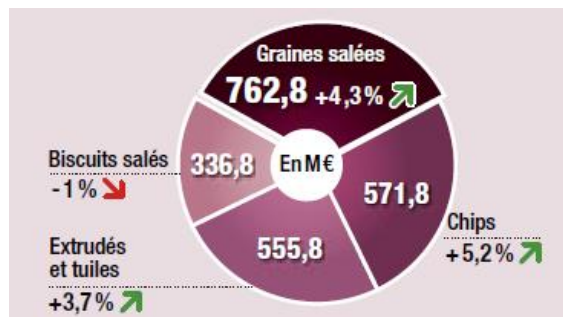


Figure 27 : Chiffre d'affaires des segments de la catégorie produits apéritifs, en M €, et évolution en un an, en % (Lavabre, 2019).

La figure 28 montre que les Français consomment moins de chips par rapport aux Belges. Les chiffres français vus précédemment sont donc comparables à la Belgique avec une certaine sous-estimation (Chauvel, 2021).

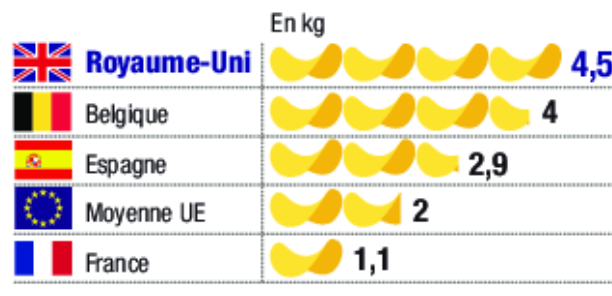


Figure 28 : Consommation par an et par habitant dans différents pays européens (Chauvel, 2021).

3. 2. 2 Les tendances des snacks sains

Comme il a été vu précédemment, les snacks ne sont pas toujours consommés pour répondre au besoin de se nourrir, mais souvent pour se faire plaisir. Ils font souvent partie de la catégorie des aliments gras et sucrés. Supprimer le grignotage n'est pas envisageable, cependant arriver à créer un snack apéritif sensoriellement comparable à ceux qu'on trouve sur le marché, mais qui serait meilleur pour la santé en apportant des fibres, des protéines et des oméga-3 serait une belle opportunité pour améliorer les habitudes de consommation de la population belge. Le but ne sera pas d'inciter les consommateurs à consommer ces aliments à la place d'autres, plus essentiels, mais à rendre les grignotages plus sains.¹⁹

De plus, pour les Belges, l'alimentation saine est importante. Cependant, l'étude de Van Looveren, menée sur 1000 consommateurs belges sur leurs habitudes alimentaires hors domicile, montre que la moitié des personnes interrogées ne savent pas ce que cela signifie (Van Looveren, 2016). Cela montre que la population s'intéresse à l'alimentation saine, mais n'est pas assez informée et manque de connaissances.

Les pays développés sont les consommateurs principaux de snacks ; la croissance du marché au niveau mondial des biscuits apéritifs devrait atteindre d'ici 2024 un taux de croissance annuel composé de 5 %. L'essor de ce marché est induit par les nouveaux produits plus sains pour la santé et respectueux de l'environnement. Miser sur l'innovation en arrivant à allier valeurs nutritionnelles et goût semble être la meilleure stratégie à adopter (Businesscoot, 2021).

Cependant, la plupart des snacks extrudés qu'on retrouve sur le marché pour le moment sont populaires, mais trop riches en sel, en lipides et en sucre et ont dès lors une valeur nutritionnelle faible (Grasso, 2020).

¹⁹ *Consommer des collations saines, éviter le grignotage.* Éducation Santé. (2007, avril). Consulté le 22 novembre 2021, <https://educationsante.be/consommer-des-collations-saines-eviter-le-grignotage/>

3. 3 Le marché du bio

En Wallonie en 2019, d'après une étude de GfK, les produits alimentaires biologiques représentent environ 5 % des dépenses alimentaires des ménages wallons, ce qui représente un chiffre d'affaires de 366 millions d'euros. Ce chiffre est en constante évolution. Entre 2010 et 2019, les parts de marchés dédiées aux produits biologiques ont globalement augmenté (2 à 5 %). La part de marché du bio a augmenté en Wallonie de 87 % entre 2015 et 2019 (GfK, 2020).

La part de produits bio achetés en grande surface est de 40 %, et celle des magasins biologiques est de 28 %. Bien que cette tendance évolue fortement et tend à s'inverser (entre 2013 et 2019, l'évolution était de – 29 % en grande surface et + 82 % en magasin bio) (GfK, 2020).

Au niveau des consommateurs, il a été montré que 81 % des dépenses pour des aliments biologiques sont faites par seulement 20 % des ménages wallons. Plusieurs facteurs déterminent le niveau de consommation de produits d'origine biologique. Les ménages qui disposent de revenus supérieurs à la moyenne, dont la taille est de 2 ou 3 personnes ou dont la personne de référence des achats à plus de 50 ans, sont plus enclins à consommer davantage de produits biologiques (GfK, 2020).

Selon l'enquête de consommation alimentaire 2014-2015 de l'ISP, deux tiers des Belges sont des consommateurs de produits biologiques (De Ridder et al., 2016). Environ 70 % de la population belge (77 % en région Wallonie - Bruxelles) a l'intention d'en augmenter sa consommation à l'avenir. Les dépenses de produits biologiques par habitant augmentent d'année en année. Les produits laitiers ainsi que les fruits et légumes représentent les plus grosses dépenses (Beaudelot & Gallez, 2020).

Les personnes consommant le plus de produits biologiques sont les femmes, les personnes qui ont un niveau d'éducation élevé et les personnes qui habitent en Wallonie. Le tableau 7 reprend les raisons expliquant l'achat de produits biologiques. Les produits biologiques sont considérés comme plus sains, avec un meilleur goût et d'une meilleure qualité que les produits non biologiques (De Ridder et al., 2016).

Tableau 7 : Distribution des principales raisons expliquant l'achat de produits biologiques, Belgique, 2014 (De Ridder, 2016).

Raisons expliquant l'achat de produits biologiques	
Ces produits sont plus sains	53 %
Ces produits ont meilleur goût	38 %
Ces produits possèdent une qualité supérieure	38 %
Ces produits ont un impact inférieur sur l'environnement	31 %
Par hasard ou involontairement	7 %

Dans la population des adultes Français, une étude volontaire sur 29210 participants et menée par internet montre que les personnes qui consomment beaucoup de produits biologiques (minimum 50 % de leur alimentation) mangent plus de végétaux, ont un régime alimentaire plus sain, suivent davantage les recommandations nutritionnelles du PNNS, ont un moindre impact sur l'environnement et leur budget pour l'alimentation est plus élevé (Baudry et al., 2019).

Comme la figure 29 le montre, le prix et le doute que les produits soient réellement issus d'une agriculture biologique sont les deux principales raisons qui freinent les Français à ne pas consommer du tout ou pas quotidiennement des aliments issus de l'agriculture biologique. Pour cette étude, 2100 français de 18 ans et plus qui ne consomment pas de produits bio ou qui n'en consomment pas quotidiennement ont été interrogés (Statista, 2019).

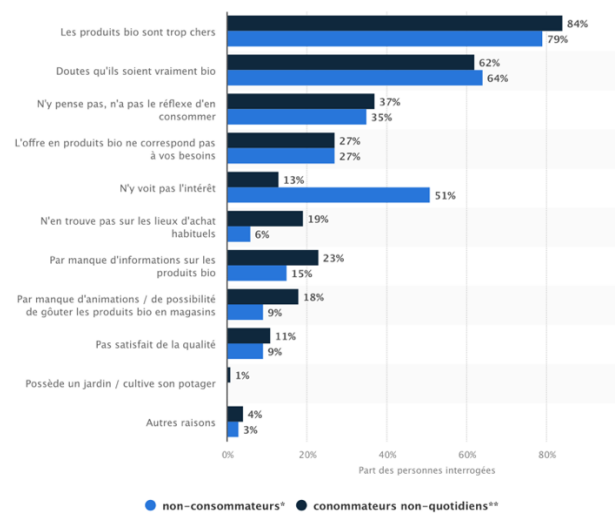


Figure 29 : Ensemble des raisons freinant les Français à consommer des produits biologiques en 2018 (Statista, 2019).

3. 4 Le gaspillage alimentaire

Si on se réfère aux définitions des pertes et gaspillages alimentaires établies par le comité de la sécurité alimentaire mondiale (2014), les drêches ne font pas partie de la catégorie, ni des pertes alimentaires, ni du gaspillage alimentaire. L'utilisation de drêches de brasserie ne permet ainsi pas en tant que tel à lutter contre le gaspillage alimentaire. Cependant, ce sous-produit apporte une nouvelle ressource alimentaire et permet de conscientiser la population sur l'importance d'une alimentation plus responsable.

En Belgique, le gaspillage alimentaire est estimé à 50 kg par an et par habitant.²⁰ Pour 55 % de la population belge, la motivation principale concernant l'alimentation en général est d'éviter les pertes et le gaspillage alimentaire (Apaq-W, 2020).

La figure 30 reprend la structure de l'échantillon sur laquelle l'étude a été réalisée (Apaq-W, 2020). C'est une étude quantitative réalisée par internet avec un échantillon représentatif de la population ciblée.

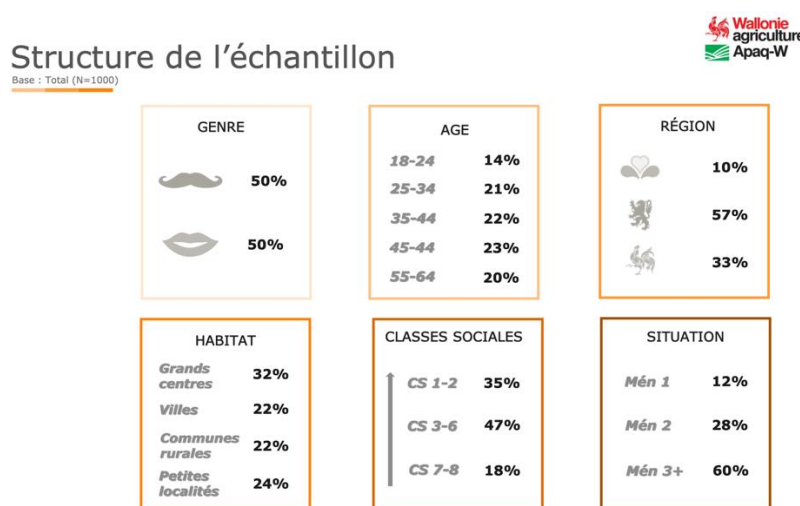


Figure 30 : Structure de l'échantillon de l'étude (Apaq-W, 2020).

3. 5 L'économie circulaire

Selon la définition suivante, la valorisation des drêches de brasserie entre dans le cadre de l'économie circulaire. "L'économie circulaire est un système économique et industriel visant à maintenir les produits, leurs composants et les matériaux en circulation le plus longtemps possible à l'intérieur du système, tout en veillant à garantir la qualité de leur utilisation."²¹

L'utilisation des drêches de brasserie est basée sur l'économie circulaire par la mise en valeur des sous-produits en les transformant en un ingrédient en tant que tel, valorisable dans l'alimentation humaine. Au niveau rentabilité, revendre ses sous-produits comme ingrédient est plus intéressant que de les donner au bétail. Cela représente un enjeu financier et environnemental pour les entreprises (Dereuder, 2021).

Environ 57 % des consommateurs belges sont intéressés par l'achat d'aliments contenant des sous-produits de l'industrie alimentaire. Les jeunes générations présentent un plus grand intérêt pour cette pratique de développement durable (Dereuder, 2021).

²⁰ Flemish Food Supply Chain Platform for Food Loss. (2017). *FOOD WASTE AND FOOD LOSSES: PREVENTION AND VALORISATION*. Voedselverlies.be. Consulté le 20 décembre 2021,

https://www.voedselverlies.be/sites/default/files/atoms/files/Monitor_EN_final.pdf

²¹ *Economie circulaire | Belgium.be*. (2021, 26 octobre). belgium.be. Consulté le 22 novembre 2021,

https://www.belgium.be/fr/economie/developpement_durable/economie_durable/economie_circulaire

3. 6 Analyse de la concurrence

Une étude de la concurrence se retrouve sous forme de tableaux en annexe 3. L'analyse de celle-ci se trouve dans la partie qui suit.

3. 6. 1 La concurrence directe : les snacks apéritifs à base de drêche

Les concurrents directs aux snacks apéritifs envisagés dans ce travail sont les snacks extrudés, les crackers et biscuits salés à base de drêches. Quatre entreprises belges et sept Françaises ont été répertoriées comme productrices de crackers aux drêches, mais aucune ne réalise des snacks extrudés. Des produits similaires sont également fabriqués dans d'autres pays comme aux États-Unis. Les snacks extrudés à base de drêches existent à l'étranger, mais pas en France ni en Belgique. La plupart des produits sont d'origine biologique.




La quantité de drêches incorporée aux produits analysés est au maximum de 40 %. Des goûts variés sont disponibles sur le marché.

En Belgique, peu de points de vente vendent ce type de snack. Pour se les procurer, il est presque indispensable de les commander en ligne ou de se rendre dans des magasins très spécifiques.

Les emballages semblent peu recyclables, souvent fabriqués en multicouche (papier et plastique ou aluminium). Certains ont l'avantage d'être refermables avec la présence d'un « zip ». Une marque de crackers est également disponible en vrac. Une analyse plus poussée sur les emballages de la concurrence est abordée dans la suite de ce travail. Les couleurs des emballages sont souvent neutres tournées vers le brun, couleur papier/carton.

L'emballage contient en général entre 50 et 200 g de snacks et le prix moyen des crackers aux drêches de brasserie vendus en Belgique est de 3,27 €/100 g. En comparaison à des Tuc, le prix est trois fois plus élevé, mais comparé à un autre biscuit salé « haut de gamme » type Michel et Augustin, Beer Food est seulement un tiers plus cher. Les crackers aux drêches de brasserie sont dans la catégorie des biscuits apéritifs les plus chers du marché (voir tableau 8).

Tableau 8 : Comparaison de différentes marques de biscuits apéritifs.

Marques	Images	Prix (pour 100 g)
BEER FOOD (Belgique) ²²		4,4 €
Michel et Augustin Biscuit Parmigiano ²³		2,99 €
LU Tuc Crackers Original ²⁴		0,99 €

3. 6. 2 La concurrence indirecte : autres produits alimentaires à base de drêches

Les différents produits alimentaires à base de drêche présents sur le marché sont la farine, les pâtes, la vaisselle comestible, du muesli ou encore des mix pour gâteaux. Cette analyse est intéressante pour voir les produits à base de drêches de brasserie qui sont déjà présents sur le marché actuellement. Ces produits sont repris dans le tableau 50 en annexe 3.

3. 6. 3 La concurrence indirecte : les snacks apéritifs sans drêches

Tous les snacks apéritifs tels que les chips, les bouchées à mettre au four, les cacahuètes, etc. font partie des concurrents. Ces produits font partie du choix possible pour l'apéritif des consommateurs. Cependant, trouver un snack apéritif qui est réellement sain reste complexe. Comme il a été vu auparavant, la plupart des snacks extrudés qu'on retrouve sur le marché pour le moment sont populaires, mais trop riches en sel, lipides et sucre et ont dès lors une valeur nutritionnelle faible (Grasso, 2020). Certains produits peuvent aussi induire le consommateur en erreur en pensant qu'ils sont plus sains que des chips classiques. C'est le cas notamment des chips de légumes qui contiennent jusqu'à 37 % de graisses.²⁵

²² <https://fr.beerfood.be/crackers>, consulté le 17 novembre 2021.

²³ <https://www.delhaize.be/fr-be/shop/Epicerie-salee/Chips-et-snacks-aperitif/Biscuits-aperitif-et-toasts/Crackers-et-creppies/Biscuit-Parmigiano/p/S2021071500471650098>, consulté le 10 décembre 2021.

²⁴ <https://www.delhaize.be/fr-be/shop/Epicerie-salee/Chips-et-snacks-aperitif/Biscuits-aperitif-et-toasts/Crackers-et-creppies/Crackers-Original/p/S2005082400031460000>, consulté le 10 décembre 2021.

²⁵ <https://www.delhaize.be/fr-be/shop/Epicerie-salee/Chips-et-snacks-aperitif/Chips/Chips-a-base-de-legumes-cereales-et-gluten-free/Chips-Legumes-Bio/p/S2020022700366810000>, consulté le 24 décembre 2021

En ce qui concerne le prix, comme vu dans le tableau précédemment avec les Tuc, il est inférieur à celui des crackers aux drêches. De plus, ces snacks peuvent se retrouver dans tous les supermarchés et être ainsi très facilement accessible.

Au niveau des emballages, le plastique, l'aluminium ou les multicouches sont prédominants. La plupart des emballages n'ont pas l'air d'être éco-conçus mais peu d'informations notamment sur leur façon d'être recyclés ont été trouvées. De plus, beaucoup de sachets de chips ne sont remplis qu'à moitié pour laisser place à une atmosphère modifiée. Des faibles volumes alimentaires occupent donc de grands volumes durant le transport. Des options refermables ou des portions individuelles existent, pouvant ainsi limiter le gaspillage alimentaire.

Certaines marques de chips peuvent être retrouvées dans les magasins dans des cartons prêts-à-vendre personnalisés à l'image de la marque. Les emballages sont souvent très colorés.

3. 6. 4 Conclusion de l'analyse de la concurrence

Les crackers et les snacks extrudés aux drêches de brasserie biologiques se positionnent dans les biscuits apéritifs hauts de gamme. Ce type de produit vise plutôt un marché de niche comprenant une partie petite de la population cherchant des produits innovants, respectueux de l'environnement, bon pour la santé et d'origine biologique.

Pour se différencier de la concurrence, la gamme de produits devra peut-être être plus saine en apportant une valeur nutritionnelle très élevée tout en restant croustillante et savoureuse. Comme la concurrence directe, des emballages aux couleurs « naturelles » seront choisis, mais avec un point d'honneur mis sur l'utilisation de matériaux écoresponsables et recyclables.

4. Pré-enquête par appel téléphonique

Avant le lancement des études qualitatives et quantitatives, une pré-enquête a été réalisée auprès de consommateurs susceptibles d'être intéressés par nos produits et de magasins biologiques pour récolter un premier avis sur le projet.

4. 1 Les magasins biologiques : questions

Deux magasins bio ont été interrogés par téléphone : « L'Entre-Pot » et « Les Petits Producteurs », tous les deux situés à Liège. Les questions qui leur ont été posées sont les suivantes :

- Quelles caractéristiques prenez-vous en compte dans le choix d'un snack apéritif à vendre dans votre magasin ?

- Notre projet est de revaloriser des drêches de brasserie pour en faire des snacks apéritifs. Connaissez-vous les drêches de brasserie ? Si non, une petite explication leur a été donnée : les drêches sont un sous-produit de la fabrication de la bière encore très peu valorisées dans l'alimentation humaine. Elles sont riches en fibres, en protéines et plus pauvres en glucides.
- Que pensez-vous de cette idée et avez-vous des aprioris par rapport à celle-ci ?
- Pensez-vous que les clients seraient peut-être découragés à l'achat d'aliment contenant des ingrédients considérés dans la majorité des esprits comme un déchet ?
- Vendez-vous déjà des produits similaires ? Si non, un snack de ce type serait-il adapté pour être vendu dans votre commerce ?

4. 2 Les magasins biologiques : résumé

Le magasin « L'Entre-Pot » vend déjà des crackers à base de drêches de brasserie. Le gérant aime le fait de récupérer des déchets dans le but de les valoriser. Cependant, il ne les vend pas parce que c'est bon pour la santé, car ils sont souvent accompagnés d'alcool et d'autres snacks moins sains. Les clients ont adopté avec succès ces crackers et apprécient leur goût. Les critères pour qu'un produit puisse être vendu dans ce magasin est qu'il soit bio, conditionné en vrac, avec un bon goût et qu'il plaise autant aux vendeurs qu'aux clients.

Le gérant du magasin « Les petits producteurs » ne connaissait pas les drêches de brasserie et ne vend donc pas encore ce type de produit. Il trouve l'idée de réutiliser des déchets très intéressante et pense que les clients n'auraient pas peur d'un produit à base de "déchets". Ils seraient ravis de trouver des produits qui revalorisent des sous-produits dans leur magasin bio. Le gérant serait intéressé de vendre ce type de produit dans son magasin. Pour choisir un produit, il fait attention à ce qu'il soit bien d'origine biologique et qu'il ait un emballage écoresponsable.

4. 3 Les consommateurs : questions

Une dizaine de consommateurs ont été interrogés par téléphone sur leurs habitudes de consommation des snacks apéritifs. Leur point de vue sur le projet leur a été également demandé. Les questions qui leur ont été posées sont reprises ci-dessous.

1. Consommez-vous des snacks apéritifs ? Si oui, à quelle occasion ? Où les achetez-vous ?
2. Que recherchez-vous comme qualités dans des produits type snack salé/apéritif ? Pourriez-vous m'expliquer un snack idéal, quelles seraient ses caractéristiques ?
3. Connaissez-vous les drêches de brasserie ? Si non, une petite explication leur a été donnée.
4. Si des crackers/chips sont composés à base de drêches de brasserie aimeriez-vous les consommer ? Avez-vous des aprioris par rapport à cela ?

4. 4 Les consommateurs : résumé

Tous les consommateurs consomment des snacks apéritifs et les achètent de préférence en supermarché ou en magasin bio. La figure 31 reprend les moments privilégiés de consommation de ces produits.



Figure 31 : Tendances ressorties de la pré-enquête : moments de consommation des snacks apéritifs.

Les critères de choix et de souhaits en matière de texture, de goûts, de composition, d'emballage, ... sont repris dans la figure 32.



Figure 32 : Tendances ressorties de la pré-enquête : critères de choix et de souhaits des snacks apéritifs.

Aucun consommateur ne connaissait les drêches de brasserie. Une petite explication concernant celles-ci leur a été donnée. La figure 33 reprend les avis et aprioris vis-à-vis d'un snack apéritif à base de drêches.

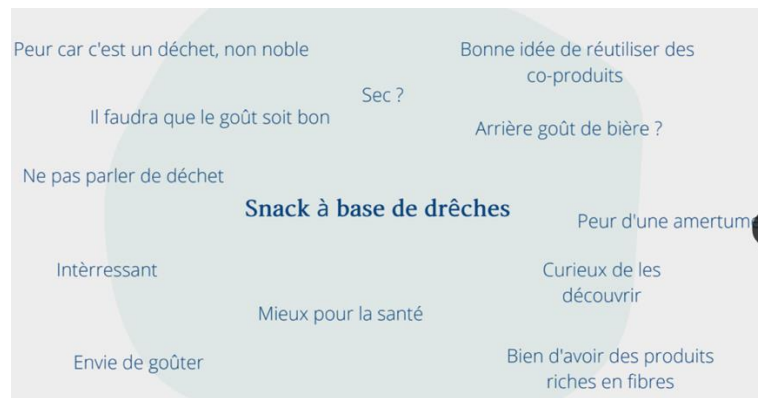


Figure 33 : Tendances ressorties de la pré-enquête : snacks à base de drêches de brasserie.

4. 5 Conclusion de la pré-enquête

Après la pré-enquête, vendre des crackers/snacks à base de drêches dans des magasins bio semble être un bon choix de lieu de vente. Cependant, se différencier de la concurrence sera important, car ce type de produit est déjà présent sur le marché. Un des deux magasins interviewés en vend déjà et cela plait aux clients et l'autre est intéressé d'en vendre dans son magasin.

En ce qui concerne les consommateurs, aucun ne connaissait les drêches de brasserie, mais ils sont intéressés par ces types de produits meilleurs pour la santé qui valorisent des sous-produits. Cependant, des aprioris concernant la texture ou le goût sont ressortis de l'enquête. Le but sera donc d'expliquer au grand public ce que sont les drêches de brasserie et expliquer pourquoi il est intéressant de les incorporer dans les snacks apéritifs.

Les snacks sont principalement consommés lors de l'apéritif, entre amis/familles, en grignotage après le travail ou pendant la soirée et les lieux d'achat privilégiés pour ces produits sont les supermarchés et les magasins bio. Exploiter un commerce en ligne ne sera peut-être pas intéressant.

Pour plaire aux consommateurs, le snack à base de drêches devra répondre à certaines demandes du consommateur : croustillant, léger, épicé, bon pour la santé, ... tout en gardant ce côté généreux avec un esprit de partage et de plaisir.

5. Premières hypothèses

Des hypothèses ont été établies sur base de la pré-enquête. L'étude de marché quantitative présentée dans la suite de ce chapitre, permettra de confirmer ou d'infirmer ces hypothèses. Différents facteurs pouvant influencer l'intérêt pour un snacks apéritifs d'origine biologique à base de drêches de bière ont été répertoriés :

- Le sexe (H/F) et de la situation familiale (seule, en couple, ayant des enfants, ...).
- L'âge.
- L'intérêt pour l'alimentation saine (Nutri-Score, composition nutritionnelle, ...).
- L'intérêt pour le gaspillage alimentaire.

- La consommation d'aliments issus de l'agriculture biologique.
- La consommation d'autres snacks apéritifs.
- La consommation de la bière et l'intérêt de tester un sous-produit de cette boisson.

6. Personas

Par la pré-enquête, différentes informations sur les consommateurs de snacks apéritifs ont été mises en avant. Avec ces informations, trois personas ont été créés et sont repris aux figures 13, 14 et 15. Ces personas possèdent donc les caractéristiques supposées être retrouvées dans la cible des snacks apéritifs à base de drêches. Les figures 34, 35 et 36 présentent les trois personas.



VÉRONIQUE

PHARMACIENNE

AGE : 52 ANS
SITUATION : MARIÉE ET UN ENFANT
VILLE : NAMUR
PERSONNALITÉ : JOYALE

CENTRES D'INTÉRÊT

- La cuisine
- Passer du temps entre amis et en famille
- La randonnée

OBJECTIFS

- Avoir une vie saine et rester en bonne santé le plus longtemps possible
- Perdre un peu de poids
- Avoir une meilleure conscience écologique

DESCRIPTION

Véronique vit dans un petit village près de Namur avec sa fille et son mari. Elle s'occupe de faire les courses pour le foyer. Elle se rend régulièrement dans des magasins bio car elle pense que c'est mieux pour la santé et l'environnement. Elle aime passer du temps avec ses amis et faire des apéritifs. Cependant, elle aimerait perdre un peu de poids. Elle fait donc attention à la composition nutritionnelle de ce qu'elle achète et au Nutri-Score.

Figure 34 : Premier persona.



BRUNO

COMPTABLE

AGE : 55 ANS
SITUATION : MARIÉ ET 2 ENFANTS
VILLE : BRUGES
PERSONNALITÉ : AMATEUR DE
SENSATIONS FORTES

CENTRES D'INTÉRÊT

- Le football
- Les bandes dessinées
- Cinématographie
- La bière

OBJECTIFS

- Découvrir de nouveaux produits dérivés de la bière.
- Prendre du plaisir mais faire attention à sa santé aussi.

DESCRIPTION

Bruno est comptable et son travail le stress beaucoup. Après une longue journée, il aime prendre une bière accompagnée de chips ou de biscuits salés. Pierre est un passionné de bière, dès qu'il peut en goûter une nouvelle, il n'hésite pas. Il va régulièrement visiter des brasseries dans toute la Belgique. Il est en surpoids et aimerait faire un peu attention à son alimentation tout en continuant à se faire plaisir.

Figure 35 : Deuxième persona.



SOLÈNE

JEUNE TRAVAILLEUSE - GRAPHISME

AGE : 25 ANS
SITUATION : CELIBATAIRE
VILLE : EN COLLOCATION À LIÈGE
PERSONNALITÉ : EXTRAVERTIE

CENTRES D'INTÉRÊT

- La course à pieds
- Les soirées entre amis
- La lecture
- Voyager

OBJECTIFS

- Limiter le gaspillage alimentaire
- Une consommation allant vers le zéro déchet
- Prendre soin de sa santé et garder la ligne

DESCRIPTION

Solène est une jeune graphiste. Elle vit en collocation avec deux de ses amies sur Liège. Elle est soucieuse de l'écologie et fait attention lors de ses achats. Elle essaye de limiter le gaspillage alimentaire et d'acheter le moins d'emballages possibles ou qu'ils soient recyclables. Elle fait attention à ce que son alimentation soit saine et pauvre en calories. Elle aime cependant se faire plaisir en prenant l'apéritif avec ses copines et cherche à acheter des snacks healthy et écoresponsables.

Figure 36 : Troisième persona.

7. Étude de marché qualitative

Dans cette partie sont présentés les résultats de l'étude qualitative réalisée auprès de 10 belges avec la méthode du papier crayon. Celle-ci permet de donner des pistes de réflexion sur le projet et d'établir les questions de l'étude de marché quantitative.

Les personnes interviewées sont :

- Deux hommes de 24 ans de la communauté germanophone
- Un homme de 28 ans de la communauté francophone
- Un homme de plus de 55 ans de la communauté germanophone
- Un homme de 55 ans de la communauté flamande
- Une femme de 23 ans de la communauté francophone
- Une femme de 35 ans de la communauté flamande
- Une femme de 55 ans de la communauté francophone
- Une femme de 56 ans de la communauté flamande
- Une femme de 59 ans de la communauté francophone

Le but de ce questionnaire est d'aider à établir les questions pour l'analyse quantitative. Les questions et réponses sont repris dans l'annexe 4.

7. 1 Conclusion de l'étude qualitative

Grâce à l'étude qualitative, un premier avis ainsi que des pistes de réflexion sur le projet ont été donnés, ce qui a permis d'établir les questions pour l'analyse quantitative. Les questions qui doivent y figurer impérativement sont celles sur les goûts, le prix, le lieu d'achat, les aversions par rapport à un produit contenant des drêches et la taille des emballages. De plus, des questions générales sur les critères d'achats de snacks apéritifs ainsi que les habitudes de consommation de ces produits semblent être intéressantes pour permettre l'élaboration du projet.

8. Étude de marché quantitative

L'étude quantitative permet de répondre aux hypothèses énoncées précédemment. En annexe 5, se trouve le questionnaire dans les trois langues officielles belges. Ceux-ci ont été soumis à un prétest auprès de la population cible, avant le lancement officiel de l'étude. L'étude quantitative permet de vérifier les hypothèses préétablies.

Comme la population mère comprend toute la population belge âgée entre 18 ans et 65 ans, celle-ci comprend 5 718 841 objets ou individus qui peuvent être théoriquement questionnés. Ces personnes sont à la fois l'unité déclarante et l'unité d'analyse. Comme cela représente un nombre trop élevé pour réaliser un recensement, un échantillon est formé. Une méthode non probabiliste est utilisée, car il est impossible dans cette situation de connaître et de contacter tous les individus de la population. Pour cette raison, une méthode empirique est utilisée : l'échantillon par quotas. Les quotas choisis sont l'âge, le sexe et les communautés dans lesquelles les gens habitent. La marge d'erreur choisie est de 5 % et le niveau de confiance de

95 %. Au minimum 385 personnes doivent être interrogées. Aucun taux de réponse n'est estimé, car le nombre de personnes qui répondront au questionnaire en ligne est inconnu. Un pourcentage représentatif de la population est calculé par la suite.

L'enquête est faite via Facebook et par mail. Un biais est présent, car tout le monde ne possède pas un compte Facebook, et même ceux qui en ont un ne vont pas nécessairement répondre à ce questionnaire. Pour l'enquête envoyée par mail, un biais est également présent, car il est impossible d'obtenir une liste complète des adresses mail de la population cible.

8. 1 Analyse de la population

Les tableaux 9, 10 et 11 reprennent la répartition des individus à interroger selon l'âge, le sexe et la communauté. Les chiffres ont été arrondis, au minimum 387 individus doivent être interrogés.

Tableau 9 : La répartition des personnes qui devront répondre au questionnaire dans la communauté française en fonction de l'âge et du sexe.

Communauté française			
L'âge	Femmes	Hommes	Total
18-24	7	7	14
25-39	22	22	44
40-64	39	38	77
			135

Tableau 10 : La répartition des personnes qui devront répondre au questionnaire dans la communauté flamande en fonction de l'âge et du sexe.

Communauté flamande			
L'âge	Femmes	Hommes	Total
18-24	12	12	24
25-39	39	40	79
40-64	71	72	142
			245

Tableau 11 : La répartition des personnes qui devront répondre au questionnaire dans la communauté germanophone en fonction de l'âge et du sexe.

Communauté germanophone			
L'âge	Femmes	Hommes	Total
18-24	1	1	2
25-39	1	1	2
40-64	2	2	3
			7

8. 2 Ordinogramme

La figure 17 reprend l'ordinogramme des questions posées lors de l'étude de marché quantitative. Dans le questionnaire, les questions sociodémographiques ont été posées en premier lieu (même si ce sont des questions personnelles) parce que l'âge était une question filtre.

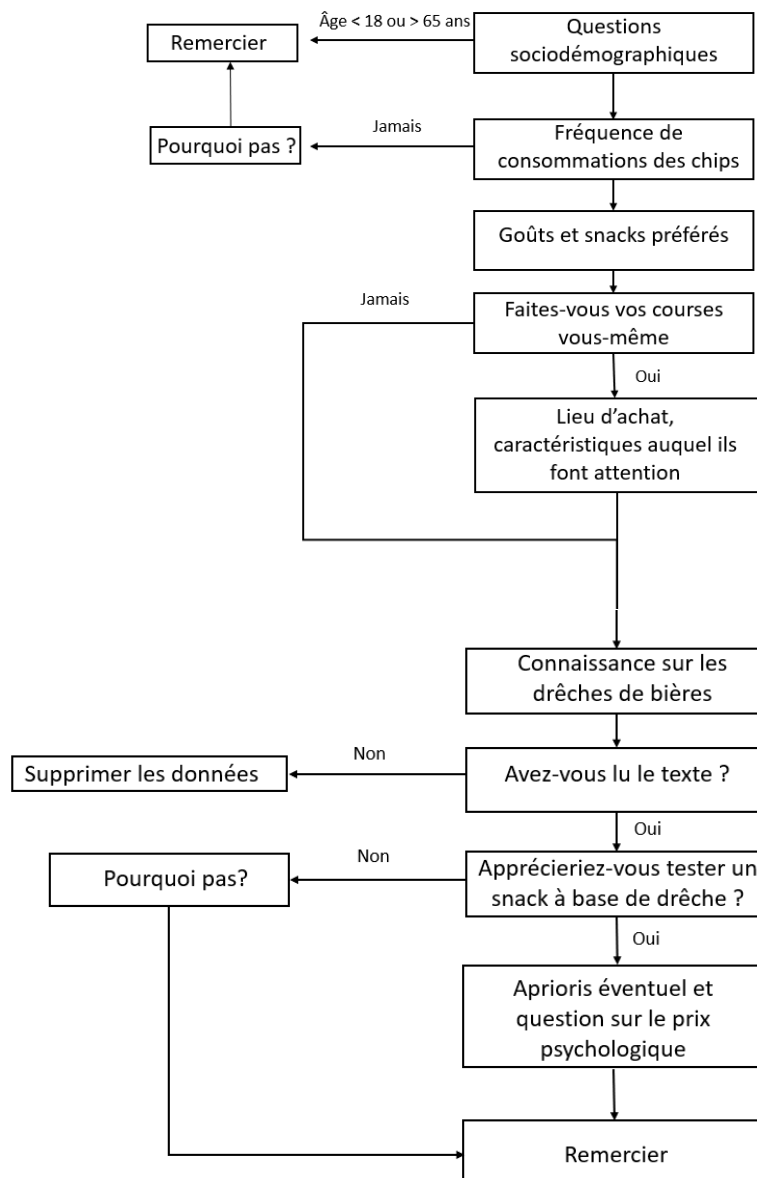


Figure 37 : Ordinogramme du questionnaire.

8. 3 Nettoyage des données

En tout, 563 personnes ont répondu au questionnaire d'étude de marché sur l'élaboration de snacks apéritifs. Plusieurs questions filtres ont permis de nettoyer les données : l'âge (< 18 ans ou > 65 ans ainsi que les personnes ayant répondu « non » à la question « Avez-vous lu le texte portant sur les informations à propos des drêches de brasserie ? »). Après ce nettoyage, 552 réponses ont pu être analysées.

8. 4 Description de l'échantillon

Avant d'analyser les réponses de la population, l'échantillon est décrit dans cette partie.

8. 4. 1 Description en fonction du sexe, de l'âge et de la communauté

Parmi les 552 réponses, une majorité de femmes a complété le questionnaire, 68 % contre 32 % pour les hommes. Concernant la répartition de l'âge, 37 % des répondants sont âgés de 18 à 24 ans, 29 % de 25 à 39 ans et 34 % de 40 à 65 ans. Les figures 38 et 39 reprennent la répartition des âges en fonction du sexe.

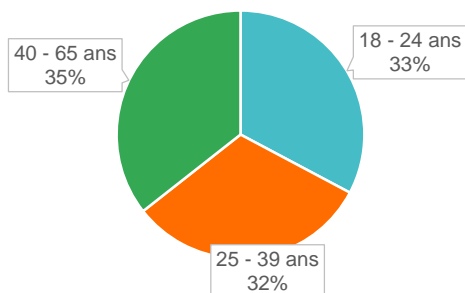


Figure 38 : Répartition (en pourcent) des répondants hommes en fonction de l'âge.

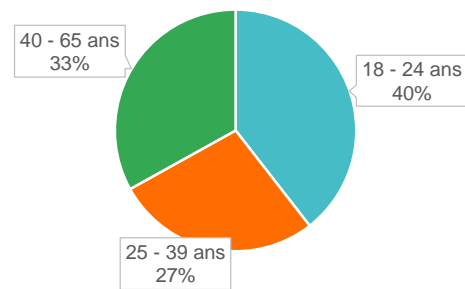


Figure 39 : Répartition (en pourcent) des répondants femmes en fonction de l'âge.

La figure 40 reprend les répondants en fonctions de la communauté. Au total, 79 % des répondants proviennent de la communauté française, 13 % de la communauté flamande et 8 % de la communauté germanophone.

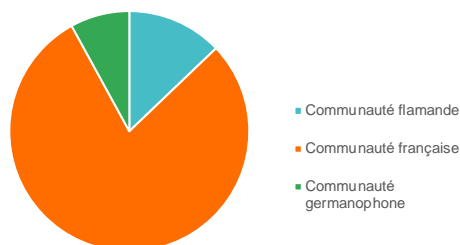


Figure 40 : Répartition des répondants (en pourcent) en fonction de la communauté.

Pour la com

pour avoir une marge d'erreur de 5 % et un niveau de confiance de 95 %.

être trouvés

Pour la communauté flamande, cela n'était pas le cas. Dans la catégorie des hommes âgés de 18 à 25 ans, aucun résultat n'a été encodé. Pour cette raison il ne sera pas possible de tirer des conclusions pertinentes si des résultats sont indiqués par âge et sexe dans la communauté flamande. Il sera uniquement possible de décrire une description des tendances (non statistiquement prouvées). Ces résultats sont visibles dans les tableaux 12, 13 et 14.

Cependant, des conclusions sont tirées pour toute la communauté en général (sans tenir compte de l'âge et du sexe), mais ces résultats auront une marge d'erreur de 10 % et un niveau de confiance de 90 %.

Une autre possibilité est de supprimer le quota communauté (et de garder le quota de l'âge et du sexe) et de tirer des conclusions générales pour la Belgique, dans ce cas les résultats auront également une marge d'erreur de moins de 5 % et un taux de confiance à 95 %.

Tableau 12 : Nombre de répondant par âge et sexe dans la communauté française.

Communauté française			
L'âge	Femmes	Hommes	Total
18-24	119	49	168
25-39	86	45	131
40-64	93	45	138
			437

Tableau 13 : Nombre de répondant par âge et sexe dans la communauté germanophone.

Communauté germanophone			
L'âge	Femmes	Hommes	Total
18-24	20	9	29
25-39	7	2	9
40-64	4	2	6
			44

Tableau 14 : Nombre de répondant par âge et sexe dans la communauté flamande.

Communauté flamande			
L'âge	Femmes	Hommes	Total
18-24	9	0	9
25-39	10	9	19
40-64	27	14	41
			69

8. 4. 2 Répartition selon le lieu de vie et le niveau d'étude

La figure 41 reprend le lieu de vie en fonction de l'âge. Une majorité des 18 - 24 ans vivent chez leurs parents. En ce qui concerne les 25 - 39 ans, une majorité vie en couple et pour les 40 - 65 ans, en couple avec un (ou des) enfant(s) à charge.

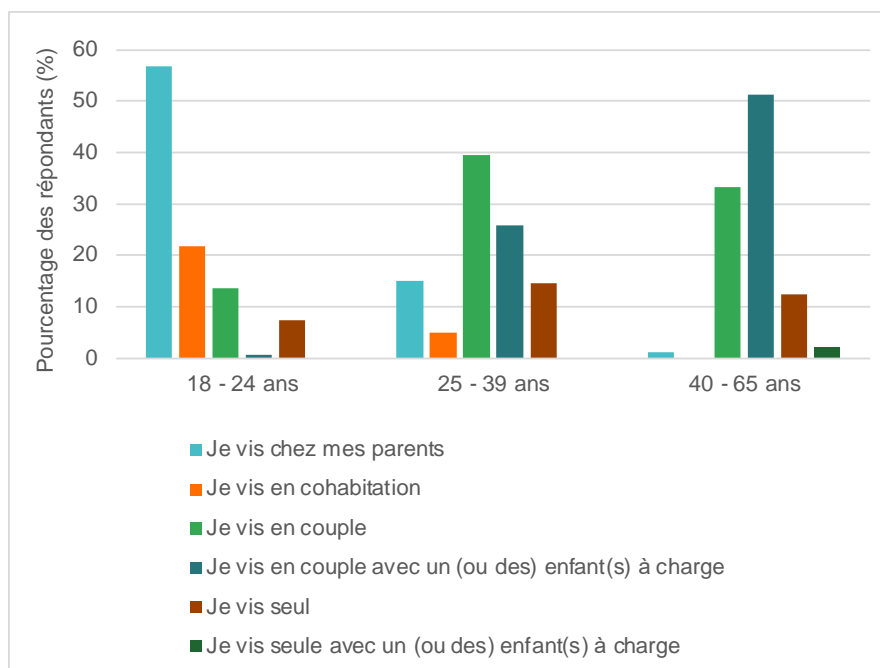


Figure 41 : Répartition (en pourcent) du lieu de vie en fonction de l'âge.

La figure 42 reprend le niveau d'étude le plus élevé obtenu en fonction de l'âge. La catégorie des 18 à 24 ans a obtenu en majorité un diplôme d'étude secondaire (43 %) suivi par un bachelier (39 %) puis un master (17 %). Les résultats pourront être légèrement faussés car une partie de cette population est en train de poursuivre des études en vue de l'obtention d'un diplôme plus élevé. La catégorie des 25 à 39 ans a obtenu en majorité un master (40 %) suivi par un bachelier (37 %). La catégorie des 40 à 65 ans a obtenu en majorité un diplôme d'étude secondaire (38 %) suivi par un bachelier (36 %). La catégorie des 25 à 39 ans a un niveau d'étude supérieur aux autres catégories d'âge.

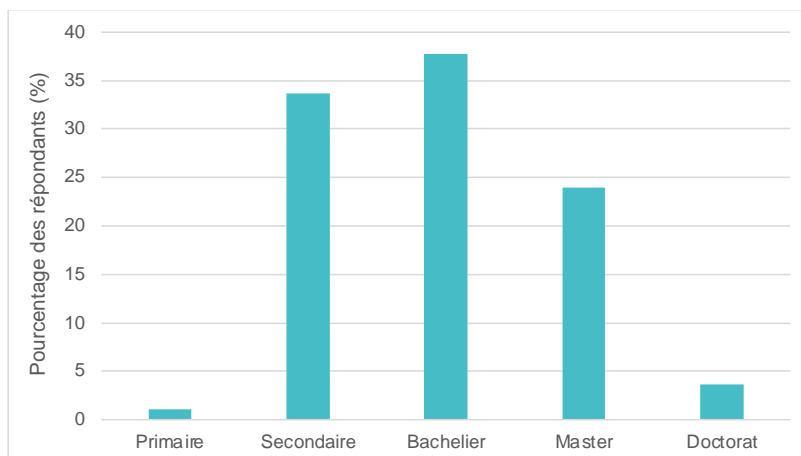


Figure 42 : Répartition (en pourcent) du niveau d'étude.

8. 5 Analyse descriptive des résultats

Les résultats ont dans un premier temps été analysés de manière descriptive.

8. 5. 1 La consommation d'alcool

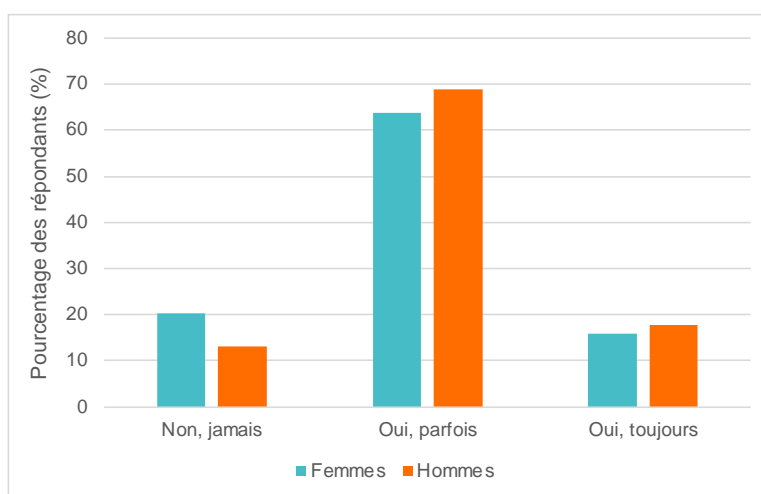


Figure 43 : Fréquence de consommation d'alcool (de type bière) lors des apéritifs (en pourcent) en fonction du sexe.

D'après les résultats sur la consommation d'alcool présentés dans la figure 43, ce sont 80 % de femmes et 87 % d'hommes qui consomment de l'alcool (de type bière) durant les apéritifs. Le reste n'en consomme jamais durant les apéritifs.

8. 5. 2 La consommation de snacks apéritifs

Dans cette partie, la fréquence de consommation de snacks apéritifs, les types de snacks préférés ainsi que leur goût, leurs caractéristiques importantes et leur lieu d'achat sont analysés.

La fréquence de consommation de snacks apéritifs

La figure 44 reprend la fréquence de consommation des snacks apéritifs des répondants. La réponse obtenant le plus de vote est la fréquence d'une fois par semaine (40 %) suivie de plusieurs fois par semaine (26 %). Peu de répondants consomment des snacks tous les jours (2 %) et très peu n'en consomment jamais (< 1 %). La raison de la non-consommation évoquée par 5 personnes est « Je trouve qu'ils sont trop gras, trop salés, mauvais pour la santé, ... » et une de ces personnes a répondu en plus « Je trouve qu'ils sont trop caloriques, j'évite autant que possible de fréquenter les supermarchés afin de ne pas encourager les industries alimentaires ».

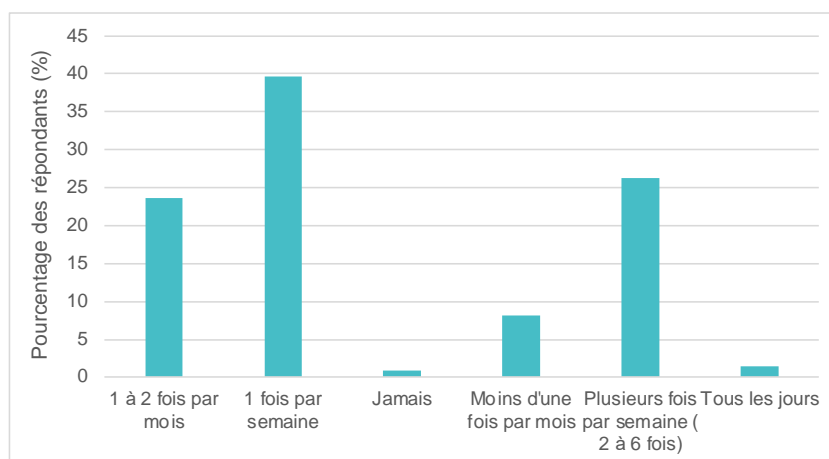


Figure 44 : Fréquence de consommation de snacks apéritifs (en pourcent).

La figure 45 reprend la répartition de la consommation en fonction du sexe. La différence entre les hommes et les femmes n'est jamais supérieur à 10 %.

Cette figure montre que 32 % d'hommes et 24 % femmes consomment des snacks apéritifs plusieurs fois par semaine et 41 % d'hommes et 36 % de femmes en consomment une fois par semaine.

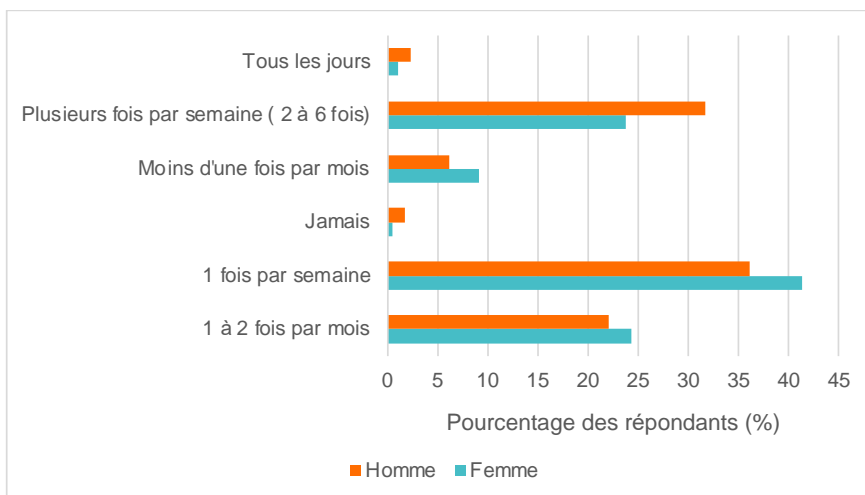


Figure 45 : Fréquence de consommation de snacks apéritifs (en pourcent) en fonction du sexe.

La figure 46 reprend la répartition de la fréquence de consommation de snacks apéritifs en fonction de l'âge.

Ce graphique montre que 29 % de 18 à 24 ans, 28 % des 25 à 39 ans et 22 % des 40 à 65 ans consomment des snacks apéritifs plusieurs fois par semaine et 39 % de 18 à 24 ans, 38 % des 25 à 39 ans et 42 % des 40 à 65 ans en consomment une fois par semaine.

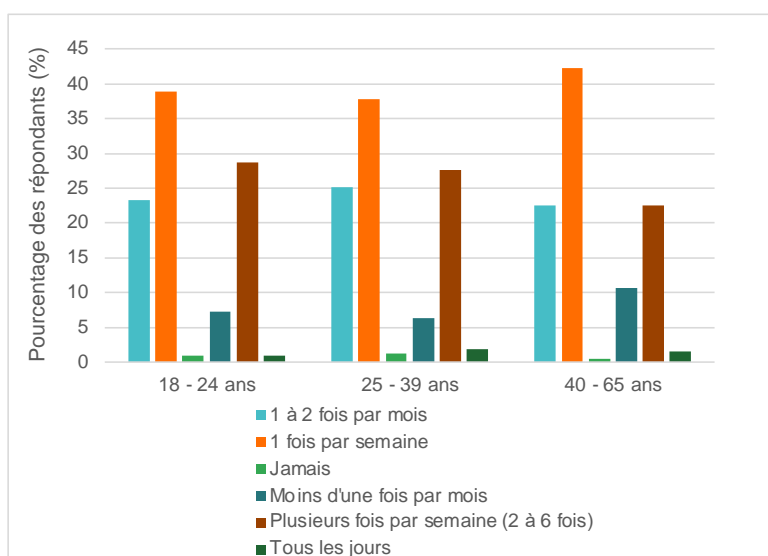


Figure 46 : Fréquence de consommation de snacks apéritifs (en pourcent) en fonction de l'âge

Les différents types de snacks apéritifs

Parmi les répondants consommant des snacks apéritifs (99 %), les 3 snacks les plus cités sont les chips de pomme de terre (87 % des répondant l'ont cité) suivis du fromage (75 %) puis du saucisson (65 %). Au total, 44 % des répondants apprécient les chips extrudés et 43 % apprécient les crackers et biscuits salés. La figure 47 reprend les préférences en termes de snacks apéritifs.

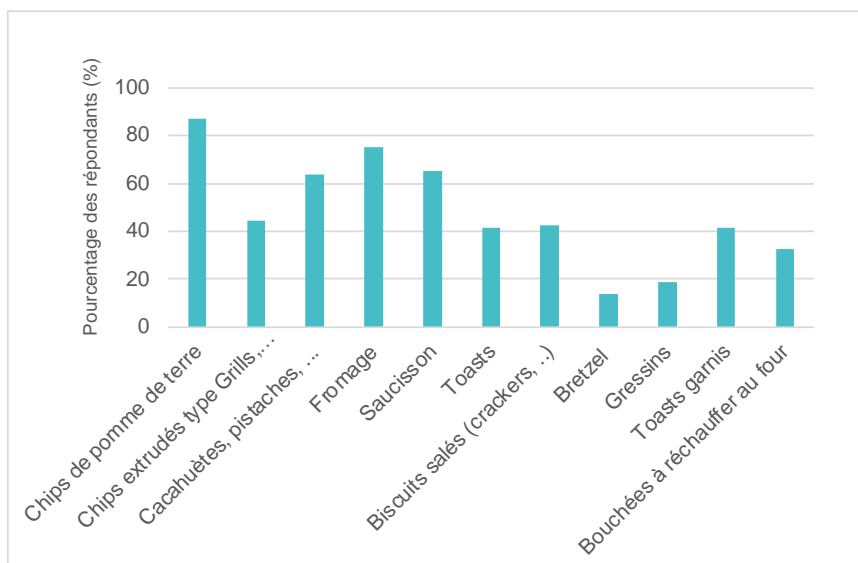


Figure 47 : Préférences en termes de snacks apéritifs (en pourcent).

Le tableau 15 reprend d'autres propositions proposées par les répondants. Les légumes à croquer est la réponse « autre » revenue le plus souvent.

Tableau 15 : Autres proposition en termes de préférence snacks apéritifs.

Autres propositions	Nombre de répondants
Légumes à croquer	10
Olives	6
Houmous	5
Snacks à réchauffer à la friteuse	5
Tapenade	2
Boudins	2
Snacks cuisinés maison	1
Chips de légumes	1
Galette de maïs	1

Le goût des snacks apéritifs

La figure 48 reprend les préférences en termes de goûts pour la catégorie des crackers et des chips. Le goût apprécié par le plus de répondants est « sel » (100 %) suivi de « paprika » (56 %) et de « poivre et sel » (52 %).

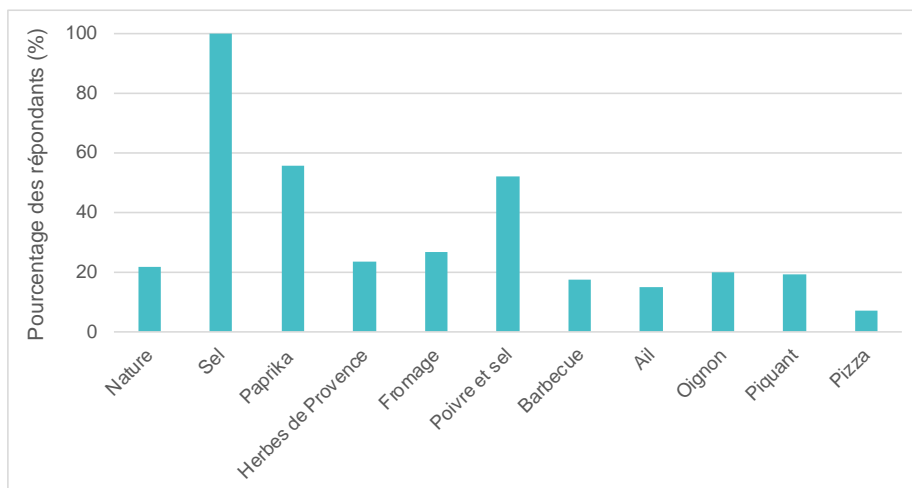


Figure 48 : Préférences en termes de goût des chips/crackers (en

Le tableau 16 reprend les autres propositions données. Le goût « Pickles » est revenu en majorité.

Tableau 16 : Autres proposition en termes de goût de chips/crackers apéritifs.

Autres propositions	Nombre de répondants
Pickles	8
Ketchup	4
Vinaigre balsamique	2
Truffe	1
Bicky	1

La taille de l'emballage

Au total, 99 % des personnes interrogées consommant des snacks apéritifs font leurs courses elles-mêmes, au moins de temps en temps. La figure 49 reprend la préférence lors des achats de chips/crackers en termes d'emballage. Le grand sachet de 100 – 150 g a été mentionné par la majorité des répondants (86 %). Seulement 16 % ont mentionné qu'ils achetaient une portion individuelle dont 26 % des personnes vivant seules.

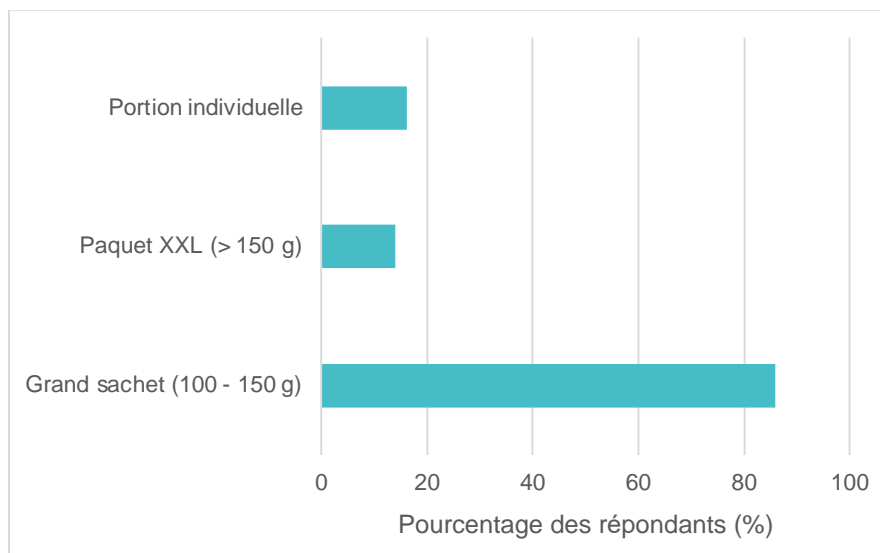


Figure 49 : Préférences en termes de taille d'emballage (en

Le lieu d'achat

La majorité des répondants (99 %) achètent leurs snacks apéritifs principalement dans les supermarchés et une minorité (15 %) les achètent également dans des magasins bio. Seulement quatre personnes ont répondu les acheter uniquement en magasin bio.

En fonction des communautés, cela représente 17 % des francophones, 12 % des germanophones et seulement 1 % des flamands qui achètent en partie ou totalement leurs snacks dans des magasins bio. Moins de 1 % des personnes les achètent sur internet et 1 % dans les distributeurs de nourriture. Le tableau 17 reprend d'autres propositions données par les répondants.

Tableau 17 : Autres propositions en termes de lieu d'achats des snacks apéritifs.

Autres propositions	Nombre de répondants
Coopérative	2
Faits maisons	2
Magasin de vrac	1
Night shop	1
Juste en soirée, je n'en n'achète pas	1

Ce sont 20 % des 18 - 24 ans, 13 % des 25 – 39 ans et 11 % des 40 – 65 ans qui achètent leurs snacks apéritifs en partie ou totalement dans des magasins bio. En regardant ces chiffres en fonction du sexe, 16 % des femmes et 14 % des hommes achètent les snacks dans des magasins bio.

En tout, 22 % des répondants ayant obtenu un master suivi par 20 % des répondants ayant obtenu un doctorat achètent leurs snacks dans les magasins bio. Les répondants ayant obtenu un diplôme secondaire suivent avec 16 %. Ces résultats sont repris dans la figure 50. Cependant, ces chiffres doivent être pris avec prudence, vu que peu des répondants ont fait un doctorat et peu ont uniquement obtenu un diplôme de primaire.

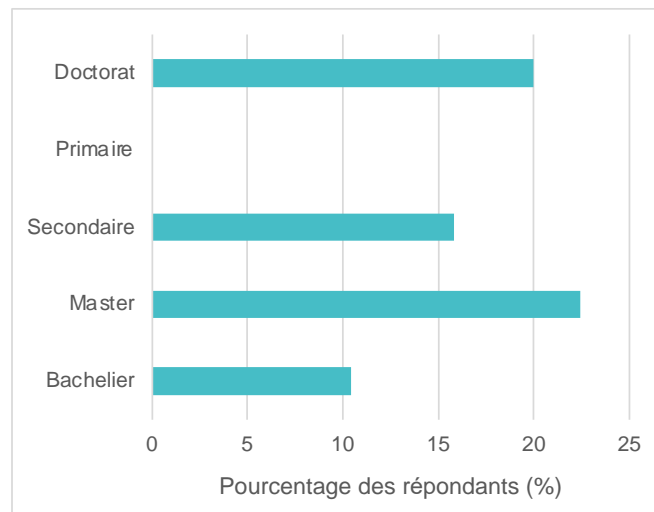


Figure 50 : Pourcentage des répondants achetant des snacks apéritifs dans des magasins bio en fonction du niveau d'étude.

Critères d'achats

La figure 51 reprend les caractéristiques auxquelles les répondants font attention lors de l'achat de leurs snacks apéritifs. Au total, 91 % des répondants consommant des snacks apéritifs ont au moins mentionné la caractéristique saveur comme importante. Parmi ces répondants, 26 % ont mentionnés la saveur comme unique caractéristique importante. La texture/croustillance a au moins été citée par 58 % des répondants.

Pour 39 % des répondants, la texture/croustillance et la saveur sont les deux seules caractéristiques importantes.

Au total, 12 % des répondants ont au moins mentionnés l'origine biologique dans les caractéristiques auxquelles ils faisaient attention lors de l'achat de snack apéritif ce qui représente 16 % des personnes âgées de 18 - 24 ans, 10 % des 25 - 39 ans et 9 % des 40 - 65 ans.

En tout, 21 % des répondants ont au moins mentionnés une des caractéristiques faisant référence à la bonne composition nutritionnelle, pauvre en calorie ou le Nutri-Score. Ce qui représente 18 % des 18 -24 ans, 22 % des 25 - 39 ans et 24 % des 40 - 65 ans. 23 % des femmes et 17 % des hommes ont mentionnés au moins une de ces caractéristiques.

Six répondants ont indiqué dans la catégorie « autre » la valeur de la marque et six autres ont mentionné une origine locale.

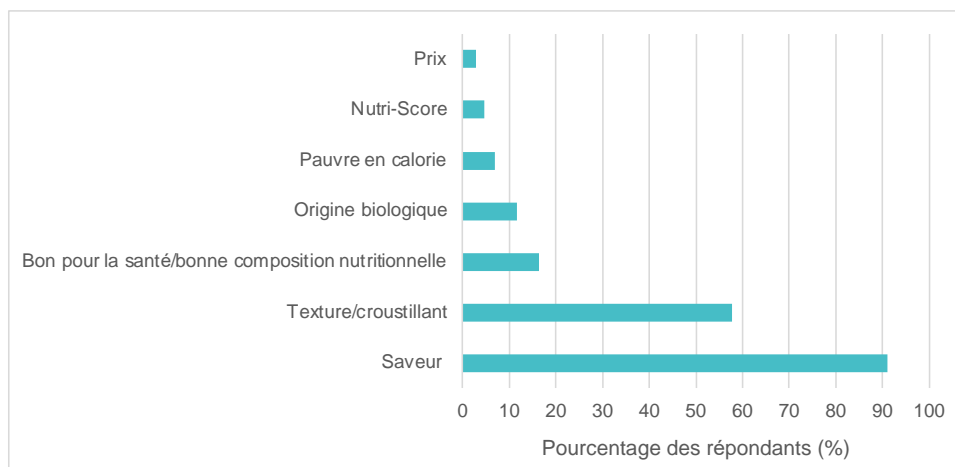


Figure 51 : Caractéristiques importantes lors de l'achat d'un snack apéritif (en pourcent).

Lors de l'achat de snacks apéritifs, 15 % des personnes vivant en cohabitation, 17 % des personnes vivant seules ainsi que 17 % des personnes vivant chez leurs parents font attention à l'origine biologique. Les personnes faisant moins attention à cette caractéristique vivent en couples avec des enfants à charge (10 %) ou en couple (7 %). La figure 52 reprend cette répartition.

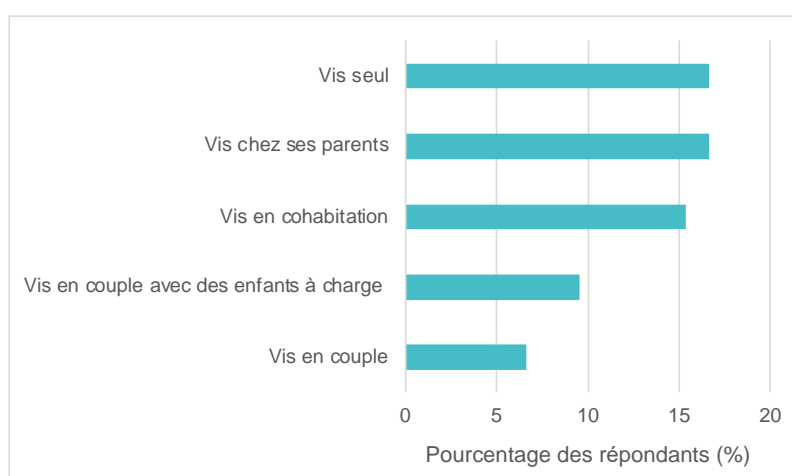


Figure 52 : Pourcentage des répondants faisant attention à l'origine biologique lors de l'achat de snacks apéritifs en fonction de leur lieu de vie.

La figure 53 reprend la répartition des répondants achetant leurs snacks apéritifs dans un magasin bio en fonction de leur lieu de vie. Cela correspond à 26 % des personnes vivant en cohabitation, 15 % vivant chez leurs parents ainsi que 15 % vivant seul, 12 % vivant en couple avec des enfants à charge et 11 % vivant en couple.

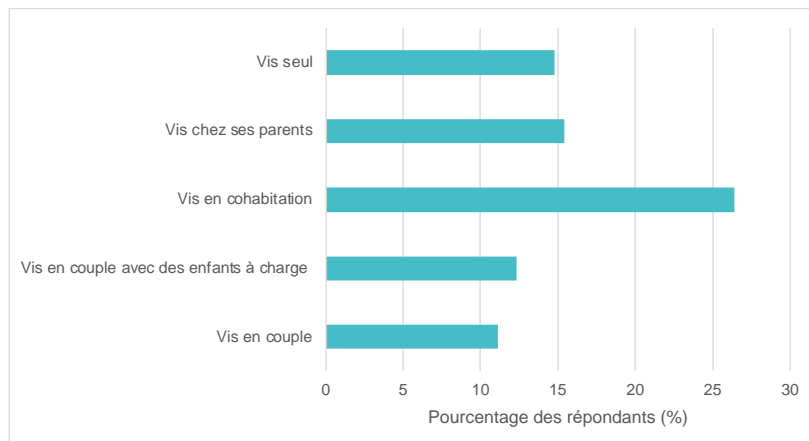


Figure 53 : Pourcentage des répondants achetant les snacks apéritifs dans des magasins biologiques en fonction de leur lieu de vie.

8. 5. 3 La revalorisation des drêches de brasserie

Au total, 24 % des répondants ne savent pas s'ils ont déjà consommé un produit revalorisant des sous-produits alimentaires, 56 % ont répondu qu'ils n'en ont jamais consommé et 20 % ont répondu qu'ils l'ont déjà fait. Parmi ces derniers, la majorité des personnes ayant répondu appartiennent à la plus jeune catégorie d'âge. Cela représente 26 % des 18 - 24 ans, 17 % des 25 - 39 ans et 17 % des 40 -65 ans.

Parmi les répondants, 36 % ont déjà entendu parler de la drêche de brasserie, ce qui représente 41 % des 18 - 24 ans, 38 % des 25 – 39 ans et 28 % des 40 – 65 ans.

Ce sont les femmes qui en ont le moins entendu parler, avec 30 % des femmes contre 48 % des hommes.

Après avoir lu le texte expliquant les bienfaits des drêches, 85 % des répondants ont dit être intéressé de consommer un snack apéritif de type chips/crackers contenant des drêches de brasserie. Cela ne signifie pas que ces personnes achèteront le produit mais cela donne une indication du potentiel d'achat.

Les 15 % restant représentent 16 % des femmes et 12 % des hommes qui ne sont pas intéressés à en consommer. En fonction des groupes d'âges, cela représente 11 % des 18 – 24 ans, 17 % des 25 – 39 ans et 18 % des 40 – 65 ans.

Les trois raisons principales d'un «non intérêt» pour ces produits sont la peur d'un goût amer, peur de manger un déchet et le fait de ne pas vouloir faire attention à sa santé lors de la consommation d'un snack apéritif (figure 54).

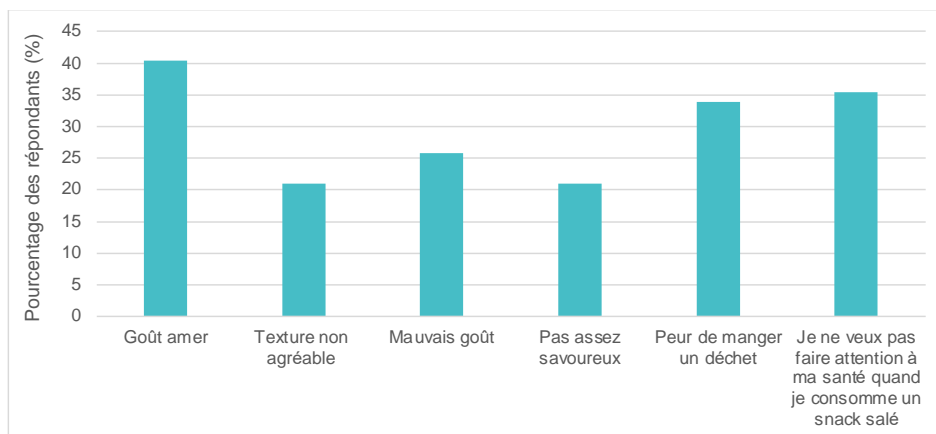


Figure 54 : Raisons d'un non-intérêt de la consommation d'un snack apéritif à base de drêche de brasserie (en pourcent).

Les autres raisons citées sont reprises dans le tableau 18.

Tableau 18 : Autres raisons d'un non-intérêt à la consommation de snacks apéritifs à base de drêche de brasserie.

Autres raisons	Nombre de répondants
Je ne consomme pas d'alcool	3
Jamais goûté, je ne connais pas	3
Ça ne donne pas envie	1
J'ai l'habitude de consommer d'autres snacks	1
Les animaux valorisent déjà bien « ces déchets ».	1

En tout, 57 % des personnes étant intéressées par les crackers/snacks à base de drêche de bière n'ont aucun apriori par rapport à ceux-ci. Parmi les répondants, cela représente 61 % des hommes et 53 % des femmes.

Ensuite, 27 % ont répondu qu'ils avaient peur d'un goût amer de bière et pour 12 % d'entre eux, c'est le seul apriori. En fonction du sexe, ce sont 29 % de femmes et 21 % des hommes qui ont coché cet apriori.

Pour finir, 19 % des répondants ont peur d'un mauvais goût, 24 % ont peur d'une texture non agréable et 2 % ont répondu avoir peur de manger un « déchet ». Les aprioris cités et leur pourcentage respectif sont repris dans la figure 55.

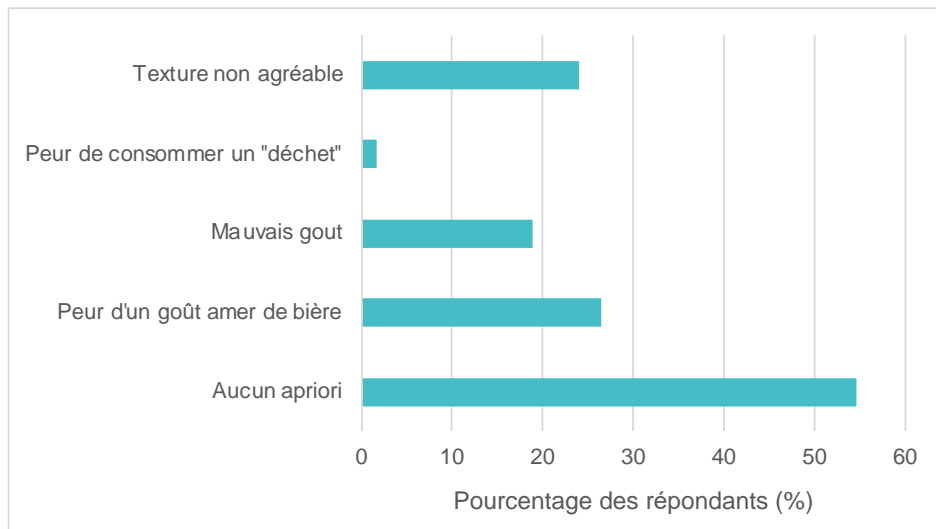


Figure 55 : Aprioris concernant la consommation d'un snack apéritif à base de drêche de brasserie (en pourcent).

8. 5. 4 Le prix

La figure 56 reprend le prix (pour 100 g de snack à base de drêche de brasserie) en dessous duquel la qualité du produit serait perçue comme médiocre. Parmi les répondants, 56 % pensent que la limite est en dessous de 1 € et pour 36 %, en dessous de 2 €.

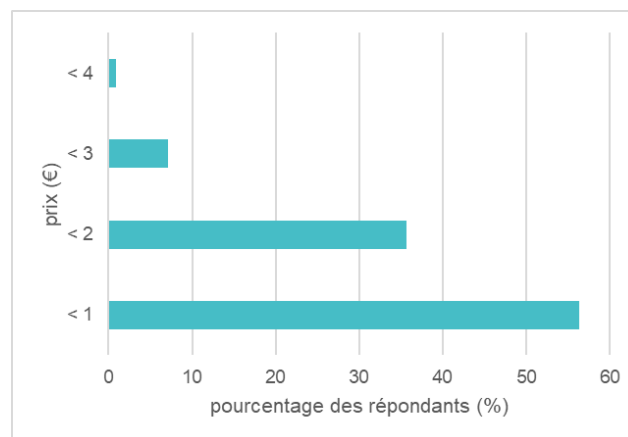


Figure 56 : Le prix (pour 100 g) en dessous duquel la qualité du produit serait perçue comme médiocre (en pourcent).

La figure 57 reprend le prix au-dessus duquel le produit (pour 100 g de snack à base de drêche de brasserie) est perçu comme trop cher. En tout, 40 % des répondant sont prêt à payer au maximum 3 € et 31 % des répondant sont uniquement prêt à payer au maximum 2 €.

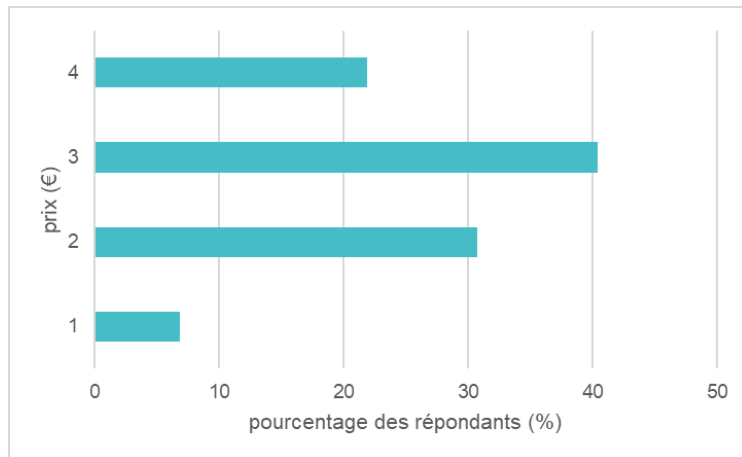


Figure 57 : Prix au-dessus duquel le produit (pour 100 g) est perçu comme trop cher (en pourcent).

Sur base de ces données, le prix psychologique a pu être calculé. La figure 58 reprend l'évaluation du prix psychologique. La figure montre que 54 % des personnes trouvent que 2 € est un prix correct. Au total, 92 % trouvent que c'est un prix minimum et 38 % trouvent que c'est un prix maximum.

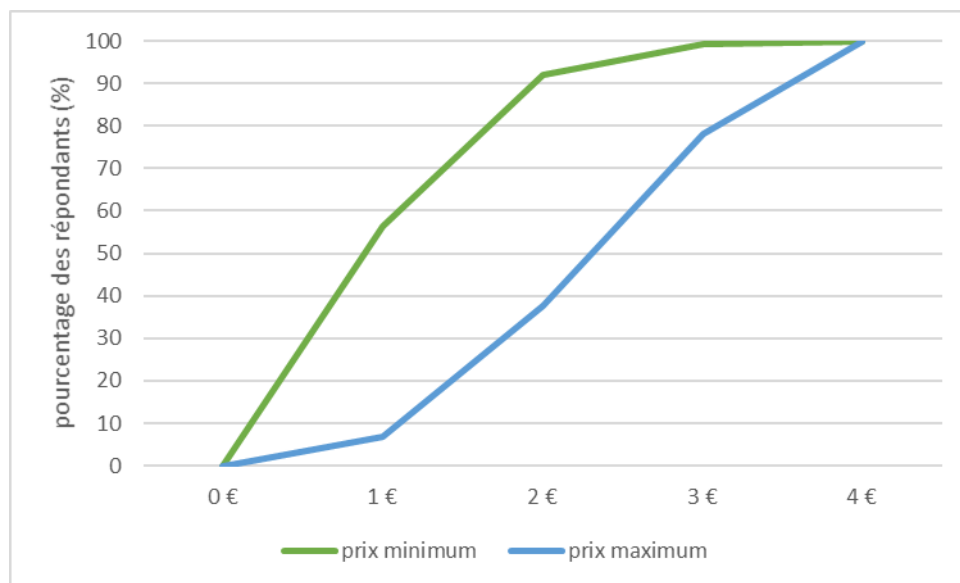


Figure 58 : Évaluation du prix psychologique pour 100 g de snacks apéritifs à base de drêche de brasserie.

Pour connaître la population cible étant prête à payer plus pour le snack à base de drêche de brasserie, le prix a également été analysé par rapport à l'âge, le sexe et la communauté.

La figure 59 reprend le prix maximum donné pour 100 g de snack apéritif à base de drêche de brasserie en fonction de l'âge. La majorité des 40 – 65 ans sont prêts à payer 2 € maximum alors que la majorité des 18 – 24 ans et des 25 – 39 ans sont prêts à payer 3 €.

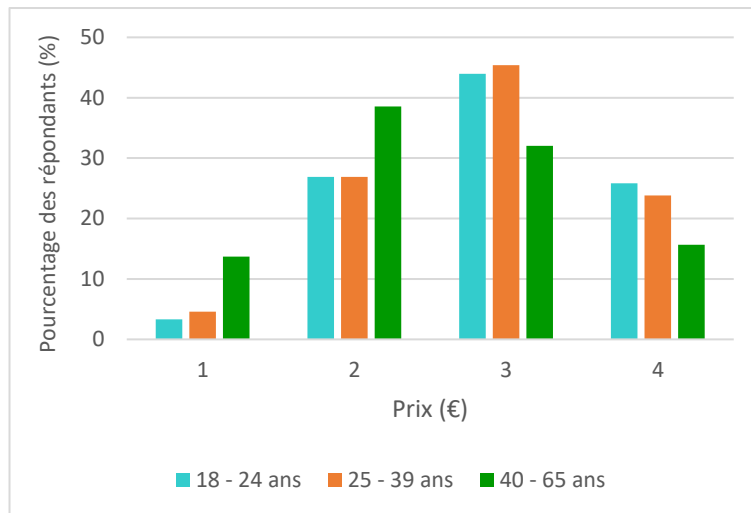


Figure 59 : Prix au-dessus duquel le produit (pour 100 g) est perçu comme trop cher (en pourcent) en fonction de l'âge.

8. 6 Statistique analytique des résultats

Après l'analyse descriptive des résultats, une statistique analytique a été réalisée sur certains points clés.

Pour ces analyses, le logiciel R (version 4.2.0) a été utilisé. Étant donné que dans notre analyse statistique les variables dépendantes ne sont pas des variables continues, le modèle utilisé est le modèle linéaire généralisé (glm). Celui-ci comprend entre autres la distribution binomiale et la distribution de poisson.

Ce modèle est utilisé pour calculer d'une part la probabilité de l'intention d'achat et de la connaissance sur la drêche de brasserie et d'autre part pour la prédiction du prix maximum en fonction de certaines caractéristiques de la population.

8. 6. 1 Intention d'achat

Pour commencer, l'intention d'achat a été analysée en fonction du sexe, de la communauté et de l'âge et de l'éducation. Les variables utilisées sont les suivantes :

- ➔ Variable dépendante : intention d'achat = Oui / non
- ➔ Variables indépendantes = sexe (homme/femme); communauté (flamande, germanophone, française); âge (18-24, 25-39, 40-65), éducation (primaire, secondaire, bachelier, master, doctorat)

La variable dépendante est une variable binomiale (deux réponses possibles : oui = 1, non = 0). Pour cette raison, il est nécessaire d'appliquer une régression logistique qui nécessite une transformation de la variable en utilisant la transformation logit.

$$\text{logit (variable dépendante)} = \ln \left(\frac{P(\text{variable dépendante} | \text{variable indépendante})}{1 - P(\text{variable dépendante} | \text{variable indépendante})} \right) = b_0 + b_1 \times x_1 + \dots + b_n \times x_n$$

où n est le nombre de variables indépendantes.

Grâce à l'inverse de cette formule, la régression des variables indépendantes qui peut prendre une valeur supérieure à 1, sera transformé en valeur comprise entre 0 et 1 pour obtenir une proportion.

Intention d'achat en fonction du sexe

En premier lieu, l'intention d'achat est prédite en fonction du sexe (homme = 1 ; femme = 0).

$$\text{logit (acheter)} = 1,63 + 0,35 \times \text{sexe}$$

Comme il peut être vu, si le sexe homme est inséré, la valeur obtenue sera supérieure à 1. Pour cette raison l'inverse de la transformation logit doit être appliquée pour retrouver la probabilité.

$$P(\text{acheter}) = \frac{e^{(1,63+0,35 \times \text{sexe})}}{1 + e^{(1,63+0,35 \times \text{sexe})}}$$

- P(acheter|femme) = 0,836
- P(acheter|homme) = 0,879

Cette différence n'est pas significative (p value = 0,193), mais pourrait indiquer une légère tendance en faveur des hommes.

Intention d'achat en fonction de la communauté

Pour continuer, l'intention d'achat a été analysée en fonction de la communauté. Ce test est à prendre avec prudence, car il n'y a pas assez de répondants de l'échantillon provenant de la communauté flamande, pour tirer des conclusions statistiquement concluant, mais il est intéressant d'analyser ces résultats, pour voir des tendances.

La variable communauté peut prendre trois valeurs distinctes : communauté française, germanophone et flamande. Pour pouvoir utiliser cette variable dans une régression, il faut utiliser deux variables muettes (dummy variable), la troisième sera définie par les deux premières. Les variables utilisées sont les suivantes :

- ➔ Variable 1 = communauté française : oui = 1, non = 0
- ➔ Variable 2 = communauté germanophone : oui = 1 ; non = 0
- ➔ Communauté flamande = si la réponse est 0 pour la variable 1 et 2, la personne vient de la communauté flamande.

$$\text{logit}(\text{acheter}) = 0,71 + 1,28 \times \text{comm. française} + 0,92 \times \text{comm. germanophone}$$

La condition référence dans ce cas est la communauté flamande.

- $P(\text{acheter} | \text{comm. française}) = 0,88$
- $P(\text{acheter} | \text{comm. germanophone}) = 0,837$
- $P(\text{acheter} | \text{comm. flamande}) = 0,67$

La différence entre la communauté française et flamande est statistiquement significative (p value = $1,37 \times 10^{-5}$) et non significative entre la communauté germanophone et flamande (p value = 0,057).

La communauté française et germanophone semblent les plus propices à l'égard de notre snack apéritif.

Intention d'achat en fonction de l'âge

Ensuite, l'intention d'achat a été analysée en fonction de l'âge des répondants. Il n'y a pas de différence significative entre les différentes classes d'âges, mais une tendance est observée. Ce sont les jeunes de 18 à 24 ans qui semblent le plus intéressés d'acheter le snack à base de drêche de brasserie. L'équation est la suivante :

$$\text{logit}(\text{acheter}) = 2,11 - 0,54 \times (25 - 39 \text{ ans}) - 0,58 \times (40 - 65 \text{ ans})$$

- $P(\text{acheter} | 18-24) = 0,892$
- $P(\text{acheter} | 25-39) = 0,82$ (p value = 0,08)
- $P(\text{acheter} | 40-65) = 0,822$ (p value = 0,0507)

La condition référence dans ce cas est la classe d'âge 18 à 24 ans.

Intention d'achat en fonction de l'éducation

Pour terminer l'analyse de l'intention d'achat, celle-ci a été analysée en fonction du niveau d'éducation des participants.

Ici aussi, aucune différence significative n'a pu être observée. Ceci pourrait être dû au fait que cinq classes ont été formées ce qui réduit le nombre de personnes par classe. Pas assez de personnes n'ont répondu pour tirer des conclusions statistiquement significatives. Cependant, une tendance peut être observée, plus le degré d'éducation est élevé, plus l'intention d'achat semble être importante. L'équation est la suivante :

$$\begin{aligned} \text{logit}(\text{acheter}) \\ &= 0,69 + 1,5 \times \text{doctorat} + 1,14 \times \text{master} + 1,03 \times \text{bachelier} \\ &+ 0,99 \times \text{secondaires} \end{aligned}$$

- $P(\text{acheter} | \text{primaire}) = 0,668$
- $P(\text{acheter} | \text{secondaire}) = 0,844$
- $P(\text{acheter} | \text{bachelier}) = 0,849$
- $P(\text{acheter} | \text{master}) = 0,863$
- $P(\text{acheter} | \text{doctorat}) = 0,90$

La condition référence dans ce cas est la classe primaire.

8. 6. 2 Connaissances sur les drêches de brasserie

Pour continuer, les connaissances sur les drêches de brasserie ont été analysées en fonction du sexe, de l'âge et de la communauté. Les variables utilisées sont les suivantes :

- ➔ Variable dépendante : connaissance drêche = Oui / non
- ➔ Variables indépendantes = sexe (homme/femme) ; âge (18-24, 25-39, 40-65)

Connaissance sur les drêches de brasserie en fonction du sexe

Tout d'abord, les connaissances sur les drêches de brasserie en fonction du sexe ont été analysées. L'équation est la suivante :

$$\text{logit}(\text{connaissance drêche}) = -0,86 + 0,79 \times \text{sexe}$$

- $P(\text{conn. Drêche} | \text{homme}) = 0,48$
- $P(\text{conn. Drêche} | \text{femme}) = 0,30$

La p value calculée entre la différence de proportion des hommes et des femmes qui connaissent la drêche de brasserie est de $3,02 \times 10^{-5}$. Les hommes sembleraient avoir plus de connaissances sur les drêches de brasserie.

Connaissance sur les drêches de brasserie en fonction de l'âge

Les connaissances sur les drêches en fonction l'âge ont ensuite été analysées. L'équation est la suivante :

$$\text{logit}(\text{connaissance drêche}) = -0,38 - 0,10 \times (25 - 39 \text{ ans}) - 0,57 \times (40 - 65 \text{ ans})$$

- $P(\text{conn. Drêche} | 18 - 24) = 0,406$
- $P(\text{conn. Drêche} | 25 - 39) = 0,382$
- $P(\text{conn. Drêche} | 40 - 65) = 0,279$

La condition référence dans ce cas est la classe d'âge des 18 à 24 ans. La p value calculée entre la différence des proportions des connaissance des 18 à 24 ans par rapport aux 40 à 65 ans est de 0,0086.

Si la condition référence est la classe d'âge des 25 à 39 ans, la p value calculée entre la différence des proportions des connaissances des 25 à 39 ans par rapport aux 40 à 65 ans est également de 0,0086. Ceci indique que le terme drêches de brasserie est plus connu dans la population la plus jeune.

Connaissance sur les drêches de brasserie en fonction de la communauté

Pour finir cette partie sur l'analyse des connaissances sur les drêches, elles ont été analysées en fonction de la communauté des répondants. Il faut veiller à ne pas oublier que l'échantillon de la communauté flamande est trop petit. Les résultats pour cette communauté indiquent donc uniquement des tendances et sont à prendre avec précaution.

L'équation est la suivante :

$$\begin{aligned} \text{logit}(\text{conn. drêche}) \\ = -0,37 - 1,66 \times \text{comm. germanophone} - 1,11 \times \text{comm. flamande} \end{aligned}$$

- P (conn. Drêche | comm. française) = 0,409
- P (conn. Drêche | comm. germanophone) = 0,116
- P (conn. Drêche | comm. flamande) = 0,185

La condition de référence dans ce cas-ci est la communauté française. La p value calculée entre la différence des proportions des connaissances des personnes provenant de la communauté française par rapport aux communautés germanophone et flamande sont respectivement de 0,00065 et 0,00061. C'est parmi la communauté française que le plus de personnes ont déjà entendu parler des drêches de brasserie.

8. 6. 3 Prix maximal

Pour finir, le prix maximal en fonction de l'âge et du sexe a été analysé. Les variables utilisées sont les suivantes :

- ➔ Variable dépendante = Prix maximal (1, 2, 3 ou 4)
- ➔ Variables indépendantes = sexe (homme/femme); communauté (flamande, germanophone, française); âge (18 – 24, 25-39, 40-65), éducation (primaire, secondaire, bachelier, master, doctorat)

Pour cette analyse, une variable de dénombrement a été utilisée. Cette variable est positive et entière. Pour cette modélisation, il a été choisi d'utiliser la distribution de poisson. Ce choix a été fait car les chiffres sont compris entre 1 et 4. De ce fait, la variance n'est pas très importante. L'équation est la suivante :

$$\ln(\text{variable dépendante}) = b_0 + b_1 \times x_1 + \dots + b_n \times x_n$$

La loi de poisson suppose que le logarithme de la valeur attendue peut être prédit par une combinaison linéaire de variables indépendantes. Pour retrouver la valeur dépendante, l'inverse de cette équation est appliqué. Pour 3 des 4 des variables indépendantes aucune différence statistiquement significative n'a pu être observée. Une différence a été observée uniquement pour l'âge.

Prix maximal en fonction de l'âge

Le prix maximal en fonction de l'âge est calculé comme suit :

$$Prix\ max = e^{(1,072 - 0,01 \times (25 - 39\ ans) - 0,15 \times (40 - 65\ ans))}$$

Ce qui nous donne comme prédiction les prix maximums suivants :

- Prix pour les 18 – 24 ans : 2,92 €
- Prix pour les 25 – 39 ans : 2,89 €
- Prix pour les 40 -65 ans : 2,49 €

La p value pour la différence entre la classe 18 – 24 et 40 – 65 ans et la p value pour la différence entre la classe 25 – 39 et la classe 40 – 65 est dans les deux cas de 0,0187. La classe d'âge représentant les personnes plus âgées semble plus réservée vis-à-vis du budget maximal qu'elles sont prêtes à déboursier pour le snack apéritif.

Prix maximal en fonction du sexe

Pour le sexe, une légère tendance est visible. Ce sont les femmes qui seront prêtes à dépenser un budget plus important pour 100 g de snacks à base de drêche de brasserie.

- Prix maximal femme prédit : 2,83 €
- Prix maximal homme prédit : 2,64 €

9. Conclusion

Grâce à cette enquête quantitative, les habitudes et attentes de la population ont été analysées. Les snacks apéritifs sont appréciés par la majorité de la population belge (99 %). En effet, 68 % de celle-ci en consomment au moins une fois par semaine.

La chips est le snack apéritif préféré le plus cité. Par originalité, le projet est de réaliser un snack extrudé à base de drêche de brasserie et un cracker, tous les deux appréciés par plus de 40 % des répondants. De plus, fabriquer des chips classiques à base de drêche n'est pas possible, car pour pouvoir porter cette appellation, il doit être composé de pomme de terre.

Les goûts préférés étant le « sel », « poivre et sel » et « paprika », les snacks apéritifs vont être déclinés en ces différentes saveurs. Les crackers auront le goût poivre et les snacks extrudés auront un goût paprika/ail/oignon. L'originalité des snacks passe par le fait qu'ils soient à base de drêche de brasserie, c'est pour cette raison qu'il a été décidé de les décliner dans des goûts plutôt classiques et appréciés de tous. Étant donné que le deuxième snack apéritif préféré est le fromage, les crackers pourront être déclinés en ce goût, si un projet d'élargir la gamme de crackers se présente.

Les snacks devront être savoureux et croustillants, car ce sont les deux caractéristiques les plus importantes qui ont été citées. Ils seront idéalement plus faibles en calories, auront un bon Nutri-Score et une bonne composition nutritionnelle, car 21 % des gens font attention à ces caractéristiques.

Notre snack ne sera pas d'origine biologique, car uniquement 12 % des personnes interrogées portent attention à cette caractéristique lors de l'achat d'un snack apéritif.

Contrairement à ce qui a été établi lors de la recherche théorique, ce ne sont pas les personnes vivant en couple avec ou sans enfants à charge qui sont les personnes qui font le plus attention d'acheter des produits d'origine biologiques ou qui les achètent dans des magasins bio. Ce sont plutôt les personnes vivant seules, chez leurs parents ou en cohabitation qui font attention à cette caractéristique. De plus, aucun facteur de sexe n'a pu être démontré comme facteur pouvant influencer l'achat ou non de snacks d'origine biologique.

Les snacks apéritifs seront vendus dans des sachets de 100 à 150 g, car c'est l'emballage le plus acheté (86 %). Les snacks seront uniquement vendus au supermarché, car c'est le lieu où la grande majorité des répondants (98,5 %) achète ses snacks.

Le prix psychologique est de 2 € pour 100 g de snacks apéritifs à base de drêche de brasserie. Si celui-ci est appliqué, il conviendra à la majorité de la population. Cependant, ce prix est en dessous des prix retrouvés parmi la concurrence primaire, mais au-dessus de celui de la concurrence secondaire. Les snacks apéritifs à base de drêches de brasserie sont vendus en moyenne à 3,27 €, mais les snacks de type Tuc ont un prix de 0,99 € pour 100 g. Si nous désirons appliquer un prix plus élevé, la catégorie des femmes de 18 à 40 ans sera ciblée, car cette population semble être prête à déboursier plus d'argent que les autres (2,90 € pour 100 g).

Les aprioris cités lors de l'enquête permettent de savoir sur quels points insister lors de la campagne marketing. Mettre l'accent sur le croustillant du produit sera important, mais aussi sur le bon goût (non amer) et préciser que le snack est sans alcool.

De plus, il est intéressant d'expliquer d'où vient la drêche de brasserie, car 64 % des personnes interrogées ne savent pas ce que c'est. Ceci est encore plus important si les snacks sont vendus hors communauté francophone, car par rapport à ceux-ci, significativement moins de germanophones et flamands connaissent la drêche de bière. Ce sont les jeunes qui semblent mieux connaître le terme drêches de brasserie, cette connaissance diminue avec l'âge. Pour les sexes, une différence significative est observée, plus d'hommes que de femmes connaissent ce terme.

La cible marketing est celle avec le plus grand intérêt pour des produits utilisant des drêches de brasserie, les personnes mangeant le plus de snacks apéritifs et celles étant prêtes à payer un prix plus élevé.

L'intention d'achat est la plus élevée parmi les jeunes (18 à 24 ans) des communautés germanophone et francophone, suivie par les 25 à 39 ans des mêmes communautés. (À prendre avec prudence, car il n'y a pas assez de répondants dans l'échantillon qui provient de la communauté flamande).

De plus, ces deux groupes d'âge sont prêts à payer un prix plus élevé par rapport aux personnes de 40 à 65 ans. Ils semblent également consommer légèrement plus de snacks apéritifs de manière générale.

Ce sont donc les hommes et femmes de moins de 40 ans vivant en communautés francophone et germanophone qui constitueraient la cible marketing.

V. Développement des snacks apéritifs

Ce chapitre est consacré à la réalisation de deux modèles de snacks apéritifs à base de drêches de brasserie, des snacks extrudés et expansés et des crackers. L'objectif est que ceux-ci respectent les critères établis dans le cahier des charges.

Les snacks extrudés sont plus originaux, mais l'appareillage nécessaire à leur production étant plus spécifique, des crackers ont également été réalisés. Ceux-ci présentent des caractéristiques plus proches des produits déjà commercialisés. Leur production, nécessitant un matériel basique, est plus simple à mettre en place dans n'importe quel laboratoire de recherche et développement.

La première étape indispensable à la réalisation de cette partie expérimentale est la stabilisation des drêches humides. Une caractérisation des matières premières est ensuite réalisée pour établir les différentes formulations de snacks apéritifs. En dernier lieu, les produits finaux sont analysés et caractérisés (texture, composition, vieillissement, etc.).

1. Matériel et méthodes

1. 1 Les matières premières

1. 1. 1 Les matières premières de base

- Les drêches, issues d'une bière blonde, proviennent de la brasserie Lupulus située à Gouvy. Celles-ci ont été réceptionnées sous forme humide. Elles ont dû être séchées, broyées, caractérisées et conditionnées.
- Le maïs est revendu par l'entreprise Bauwens à Sombreffe et est normalement destiné au bétail. Aucun autre renseignement n'a pu être fourni. Les grains ont été livrés entiers et non séchés. Ils ont dû être broyés, conditionnés et stockés. Une caractérisation a également été réalisée.
- L'eau potable provient de Gembloux.
- Le sel de cuisine utilisé est de la marque « Everyday ».
- L'huile de colza extraite à froid est de la marque « Boni sélection bio », elle est riche en vitamine E et oméga-3 (9,2 g/100 g).
- La farine de blé blanche (T45), issue de froment, porte l'appellation « farine pâtisserie » et provient de la marque « Anco ».
- La farine complète de froment est de la marque « Les farines artisanales de la ferme de l'Escaille ».

- Les graines de lin brunes sont de la marque « Ranson NV » avec le numéro d'article 00018710.

1. 1. 2 Les additifs

- L'extrait de romarin provient de la marque « Naturex ». Il porte le numéro de référence BA101241 et est obtenu par une extraction à l'aide d'acétone des feuilles du romarin (*Rosmarinus officinalis L.*). L'extrait de romarin est soluble dans l'huile et dans l'eau.
- La pectine de citron de la marque « Cargill » porte le numéro 64030 et a un haut pouvoir de méthylation.

1. 1. 3 Les épices

- Le poivre est issu de 5 baies en grains de la marque « Carrefour ».
- L'oignon est sous forme de brisure et provient de la marque « Delhaize ». Celui-ci a été broyé à une taille < 500 µm.
- Le paprika doux en poudre est de la marque « Isfi Spices ».
- L'ail en poudre est de la marque « Isfi Spices ».

1. 2 Préparation des matières premières

1. 2. 1 La drêche de brasserie

La drêche de brasserie humide doit être stabilisée vu sa courte durée de conservation à température ambiante (de 2 à 3 jours) (Jackowski et al., 2020). La méthode de séchage à l'étuve a été choisie, car d'après la littérature, elle semble être la plus efficace (Santos et al., 2003).

Séchage

La livraison des drêches humides s'est faite en une fois et en grande quantité. Une partie a été immédiatement séchée et l'autre congelée dès son arrivée, à -18 °C. Une décongélation est nécessaire juste avant le séchage.

Les drêches de brasserie humides placées dans deux grandes étuves (figure 60) sont séchées à une température de 70 °C. Les portes restent légèrement entrouvertes pour laisser échapper l'humidité. De ce fait, la température intérieure se situe entre 65-70°, celle-ci est assez élevée pour éviter la prolifération microbologique, mais empêche que les



Figure 60 : Séchage des drêches de brasserie en étuve à 70°C

drêches soient dénaturées, principalement au niveau de leur saveur et de leur couleur (Mussatto et al., 2006 ; Bartolome et al., 2002 ; Ikram et al., 2017).

Sur chaque plaque, 9 kg de drêches humides sont disposés sur une épaisseur de 3,5 cm. Elles sont mélangées toutes les heures durant la journée pour permettre un séchage uniforme.

Suivre l'évolution de la teneur en matière sèche jusqu'à ce que celle-ci atteigne 97 % a permis de déterminer le temps de séchage. La matière sèche est déterminée, à partir d'un gramme de drêches, à l'aide d'une balance infra-rouge Sartorius MA150. Le programme « 130 °C automatique » est utilisé et permet de déterminer l'humidité restante.

Pressage

La méthode de pressage permet d'optimiser le temps de séchage. Le matériel utilisé est une presse hydraulique Hafico (figure 61) qui est capable d'appliquer une pression de 400 kg/m² et ainsi extraire une partie de l'eau contenue dans les drêches. Le gâteau (figure 62) peut ensuite être séché en étuve.



Figure 61 : Presse hydraulique Hafico.



Figure 62 : Gâteau de drêches de brasserie après pressage.

Broyage

Les drêches séchées sont broyées à l'aide d'un moulin universel avec rotor à couteau Fritsch pulverisette 19 (figure 63). Le tamis utilisé a une taille de 750 µm.



Figure 63 : broyage des drêches de brasserie avec le rotor à couteau Fritsch.

La figure 64 reprend l'évolution de la stabilisation des drêches.



Figure 64 : Les drêches humides, sèches et broyées à < 750 μm (de gauche à droite).

Conditionnement

Le conditionnement des drêches séchées et broyées est réalisé en sachets de 2,5 kg à l'aide d'une sertisseuse sous-videuse Multivac module de table A300/16. Ces sachets, mis sous-vide, sont stockés à température ambiante.

1. 2. 2 Le maïs

Le maïs, par sa richesse en amidon, est indispensable au processus d'extrusion et constitue l'ingrédient principal des snacks extrudés. Les grains entiers de maïs sont broyés à l'aide d'un broyeur à marteaux Gladiator. La taille du tamis est de 1 mm. Le conditionnement des 400 kg de maïs broyés est réalisé en sachet de 5 kg à l'aide d'une sertisseuse sous-videuse Multivac module de table A300/16. Ces sachets, mis sous vide, sont stockés au congélateur à une température de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1. 3 L'analyse des matières premières

Cette partie reprend les analyses des matières premières qui sont essentielles pour la formulation et le développement des snacks apéritifs. La farine de maïs et la farine de drêches de brasserie sont broyées à une taille inférieure à 500 μm pour faciliter les dosages des différents composants. Les protocoles utilisés imposent cette condition.

1. 3. 1 La matière sèche

La mesure de la teneur en matière sèche a été réalisée par une détermination de la teneur en eau selon la norme ISO 712 :2009 pour les céréales et produits céréaliers. Elle a été faite sur les farines de maïs et de drêches en plaçant les échantillons dans une étuve à $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 2 heures et 45 minutes. Trois échantillons de 5 g de chaque farine ont été réalisés. La quantité de matière a été pesée à la balance analytique avant et après le passage dans l'étuve.

1. 3. 2 Les protéines

L'analyse de la teneur en protéines a été réalisée par un dosage de l'azote élémentaire à l'aide du Dumas Elementar Rapid-N-Cube. Cette méthode permet de doser l'azote présent dans

l'échantillon. Celui-ci est placé dans un four à haute température (900 °C) avec un gaz de combustion (oxygène). La combustion libère des gaz qui sont ensuite séparés, piégés puis purifiés. Les composés nitrés sont ensuite réduits en gaz diazote. Le dosage de l'azote se fait par différence entre la composition du gaz de l'échantillon (azote et dioxyde de carbone = gaz vecteur) et du dioxyde de carbone qui n'a pas subi toutes ces étapes. Pour passer du taux d'azote au taux de protéines, un facteur de 6,25 a été utilisé pour la farine de maïs et un facteur de 5,83 a été utilisé pour la farine de drêche²⁶. Ces facteurs correspondent aux pourcentages d'azote compris dans les protéines du maïs et de l'orge, composant principal de la drêche de brasserie. L'expression des résultats se fait en pourcentage de la matière sèche.

1. 3. 3 Les lipides

La méthode utilisée pour l'analyse de la teneur en lipides de la farine de maïs et de drêches est la "AACC Method 30-10 Crude Fat in Flour, Bread, and Baked Cereal Products Hot Containing Fruit". Il s'agit d'un dosage pondéral de la matière grasse avec une hydrolyse acide (HCl) puis une extraction par solvants. Trois échantillons de chaque farine ont été testés. Dans chaque Mojonnier, deux grammes de farine ont été pesés puis 2 ml d'éthanol et 10 ml de préparation HCl y sont ajoutés (préparé avec 25 ml d'acide concentré et 11 ml d'eau désionisée) (figure 65). Ensuite, ils sont placés au bain-marie à 75 °C pendant 35 minutes (figure 65). Après cette étape d'hydrolyse acide, 10 ml d'éthanol puis 25 ml d'éther de pétrole et 25 ml d'éther éthylique sont ajoutés et les Mojonniers sont ensuite centrifugés durant 20 minutes à 530 rpm. La partie hydrophobe est transvasée dans un ballon préalablement pesé. La manipulation avec les deux solvants est répétée deux fois de plus avec 15 ml de chaque solvant d'éther au lieu de 25 ml. Les solvants sont ensuite évaporés à l'aide d'un évaporateur rotatif Büchi R210 et d'un bain thermostaté UKT3 EDB (figure 66).

Dans le ballon, il reste uniquement la matière grasse des farines. Les solvants potentiellement restants sont ensuite évaporés par deux passages consécutifs dans une étuve à 105 °C pendant 1 heure. Une pesée est réalisée après chaque passage et après refroidissement au dessiccateur.



Figure 65 : Mojonnier avant (à droite) et après (à gauche) hydrolyse acide.

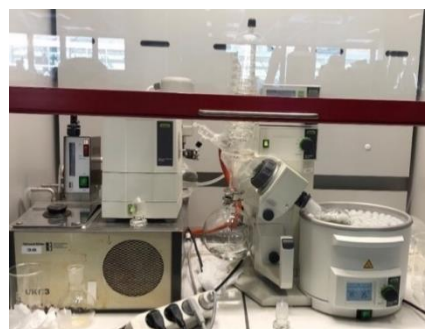


Figure 66 : Évaporateur rotatif Büchi R210 et d'un bain thermostaté UKT3 EDB.

²⁶ CHAPTER 2: METHODS OF FOOD ANALYSIS. (s.d.). FAO. Consulté le 15 juillet 2022, <https://www.fao.org/3/y5022e/y5022e03.htm>

1. 3. 4 Les fibres

Les fibres solubles et insolubles ont été analysées selon la méthode AOAC 991.43 (AACC 32-07). La farine de maïs et la drêche de brasserie doivent être broyées à une taille inférieure à 500 µm. Une analyse de la matière sèche est également réalisée en plaçant une partie de l'échantillon à l'étuve à 70 °C durant deux heures.

La veille de l'expérience, des creusets avec 0,5 g de cérite doivent être pesés et être placés durant la nuit dans une étuve à 103 °C. Quatre creusets par échantillon à analyser doivent être préparés (deux pour les fibres solubles et deux pour les fibres insolubles ; dont chaque fois un pour l'analyse des cendres et un pour l'analyse des protéines) ainsi que quatre creusets pour les blancs.

Le jour de l'expérience, 1 g d'échantillon doit être ajouté dans des erlenmeyers avant d'ajouter 40 ml de tampon MES-TRIS et 50 µl d'alpha-amylase (solution thermostable et prête à emploi du fournisseur Sigma-Aldrich avec le numéro de référence A3306) avant d'homogénéiser la solution. Ensuite, il faut placer les erlenmeyers durant 35 minutes dans un bain-marie à 100 °C et agiter de temps en temps (toutes les 5 à 10 minutes).

Par la suite, les erlenmeyers doivent être refroidis à une température de 60 °C avant d'ajouter 10 ml d'eau distillée. Après cette étape, 100 µl de protéase (poudre lyophilisée de *Bacillus licheniformis* du fournisseur Sigma-Aldrich avec le numéro de référence P3910) doivent être ajoutées avant de remettre les erlenmeyers dans un bain-marie agitant cette fois-ci à 60 °C durant 30 minutes. Ultérieurement, 5 ml d'HCl 0,561 N sont ajoutés et le pH est ajusté (à l'aide de NaOH 1 N et HCl 1 N) pour arriver à un pH compris entre 4 et 4,7 avant de pouvoir ajouter 300 µl d'amyloglucosidase (*Aspergillus niger*, solution prête à emploi du fournisseur Sigma-Aldrich avec le numéro de référence A9913) et remettre les erlenmeyers dans le bain-marie agitant à 60 °C pendant 30 minutes.

Fibres insolubles

Pour doser les fibres insolubles, les creusets avec la cérite sont placés dans des fioles de filtration qui vont créer un vide et améliorer la filtration. En premier lieu, la cérite doit être mouillée avec de l'eau distillée à 70 °C. Ensuite, le contenu de l'erlenmeyer est versé dans les fioles de filtration avant d'être rincé à l'eau distillée. Pour finir, le filtrat est récupéré pour la suite de l'expérience et les creusets sont séchés durant une nuit dans une étuve à 103 °C avant d'être pesés.

Fibres solubles

Pour doser les fibres solubles, le filtrat des fibres insolubles doit être récupéré et pesé. Puis cette masse doit être multipliée par quatre pour obtenir la masse nécessaire en éthanol pour l'expérience. Cet éthanol doit être chauffé à 60 °C. Le filtrat et l'éthanol doivent être filtrés par des creusets contenant de la cérite (mouillé préalablement avec de l'éthanol chauffé à 60 °C) qui sont placés dans des fioles de filtration. Les béchers sont rincés à l'éthanol pour enlever

toutes les particules. Finalement, les creusets sont séchés durant une nuit dans une étuve à 103 °C avant d'être pesés.

Cendres et protéines

Les creusets de célite secs récupérés doivent encore être utilisés pour caractériser les cendres et protéines. Pour les cendres, les creusets sont placés dans le four à moufle dont la température atteint 525 °C en 600 minutes avant de les laisser refroidir dans un dessiccateur pour pouvoir les peser. L'autre moitié des creusets est utilisée pour déterminer le contenu en protéines. Pour cela, des pastilles avec le contenu des creusets doivent être réalisées et passées au DUMAS. La suite est expliquée au point du dosage des protéines 1. 3. 2.

Expression de résultats

Les formules à appliquer sont les suivantes :

% de fibres du produit humide

$$= ((R_1 + R_2) \div 2 - (\%P + \%A) \times (R_1 + R_2) \div 2 - B) \times 100 \div ((m_1 + m_2) \div 2)$$

$$\mathbf{Blanco} = B = ((R_1 + R_2) \div 2) - ((\%P + \%A) \times ((R_1 + R_2) \div 2))$$

$$\mathbf{\% de fibres du produit sec} = \% \text{ des fibres du produit humide} \times \left(\frac{100}{MS}\right)$$

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

R₁ et R₂ = masse du résidu après séchage

%P = pourcentage de protéines du résidu

%A = pourcentage de cendres du résidu

m₁ et m₂ = masse de la prise d'essais (en g)

MS = teneur en matière sèche de l'échantillon

1. 3. 5 L'Amidon

Les teneurs en amidon de la farine de maïs et de la farine de drêches sont mesurées par la méthode du dosage de l'amidon par la méthode polarimétrique d'Ewers avec la détermination du pouvoir rotatoire totale (S) et la détermination du pouvoir rotatoire des substances solubles dans l'amidon. Cette méthode se base sur la norme ISO 10520 – First edition : 1997-09-01 – Native starch – Determination of starch content – Ewers polarimetric method et la norme NBN EN ISO 10520 – 1^e éd., décembre 1998 – Amidon et féculés natifs – Dosage de l'amidon – Méthode polarimétrique de Ewers (ISO 10520 : 1997).

Trois échantillons de chaque farine ont été analysés.

La détermination du pouvoir rotatoire total commence par le traitement à chaud (bain-marie bouillant pendant 15 minutes) de $2,5 \pm 0,05$ g d'échantillon avec deux fois 25 ml d'acide chlorhydrique 0,31 N dans un ballon jaugé de 100 ml. Après le refroidissement, 10 ml de la solution de Carrez 1, puis 10 ml de la solution de Carrez 2 sont ajoutés en agitant le ballon durant une minute après chaque ajout pour provoquer la défécation (précipitation des matières azotées à l'aide d'acétate de fer). Ensuite les ballons sont amenés au trait de jauge, puis agités et enfin filtrés à travers 2 filtres Whatman 2V dans un erlenmeyer (figure 67). Le filtrat limpide qui en résulte est ensuite analysé au polarimètre ADP 220 – Bellingham + Stanley limited pour déterminer son pouvoir rotatoire.



Figure 67 : Filtration avec 2 filtres Whatman 2V pour obtenir une solution qui contient l'amidon et qui peut être analysée au polarimètre.

Pour la détermination du pouvoir rotatoire des substances solubles dans l'amidon, environ 80 ml l'éthanol 40 % sont utilisés pour extraire les sucres et polysaccharides de faible masse moléculaire de $5,0 \pm 0,1$ g d'échantillon dans un ballon jaugé de 100 ml. Puis le ballon est laissé au repos pendant une heure en mélangeant toutes les 10 minutes. Ensuite, il est amené au trait de jauge avec de l'éthanol 40 % (et bien mélangé), pour être transféré dans des flacons de centrifugation. Les flacons sont ensuite centrifugés à l'aide de la centrifugeuse Beckman J2-21 Series Centrifuges avec JA-14 fixed angle rotator durant 5 minutes à 5000 rpm à température ambiante. La partie liquide est filtrée au travers d'un filtre Whatman n°1 dans un erlenmeyer. Après cette étape, 50 ml de filtrat et 2,1 ml d'acide chlorhydrique 25 % sont mesurés et placés dans un erlenmeyer à col rodé de 250 ml. Les erlenmeyers sont ensuite placés dans un bain-marie avec un réfrigérant à reflux pendant 15 minutes. Ensuite, le contenu des erlenmeyers est disposé dans des ballons jaugés de 100 ml. La suite est identique à la détermination du pouvoir rotatoire total avec l'ajout des solutions de Carrez.

Formule du calcul du pourcentage de l'amidon :

$$\% \text{ amidon} = \text{Facteur correctif} \times \left(\frac{S}{\text{Poids réel}} - \frac{S'}{\text{Poids réel EtOH}/2} \right)$$

$$\text{Facteur correctif} = \frac{26,6 \times N}{[\alpha]_D^{20}} \times PE$$

S = pouvoir rotatoire totale (en degré saccharimétriques)

S' = pouvoir rotatoire donné par les substances solubles dans l'éthanol 40 % (en degré saccharimétriques)

N = 26,00 g pour les appareils allemands

PE = prise d'essais

$[\alpha]_D^{20}$ = pouvoir rotatoire de l'amidon pur en en degré saccharimétriques (+ 181,5 pour l'orge et + 184,6 pour le maïs)

Poids réel = prise d'essais exprimée par rapport à la matière sèche (en grammes)

Poids réel EtOH = prise d'essais exprimée par rapport à la matière sèche (analysées lors de la détermination du pouvoir rotatoire des substances solubles dans l'éthanol 40 % (en grammes)

1. 3. 6 L'amylose et l'amylopectine

Dosage de l'amylose apparente par la méthode de Morrison & Laignelet, 1983. Le protocole se trouve en annexe 6. Le spectromètre utilisé est le spectrophotomètre Hitachi U-2900.

1. 3. 7 Les cendres

Le dosage du taux de cendres par incinération de la farine de maïs et de celle de la farine de drêches de brasserie a été réalisé selon la méthode NF EN ISO 2171 (juin 2010) pour les céréales, légumineuses et produits dérivés. Pour cela, le four à moufle Nabertherm a été utilisé (figure 68). Celui-ci est chauffé à 900 °C. 2,5 g d'échantillons (trois échantillons de chaque farine) sont placés dans des creusets et sont mouillés avec de l'éthanol pour flamber les échantillons dans le four avec porte ouverte. Une fois la flamme éteinte, le four est fermé et les échantillons sont laissés dans celui-ci durant 2h30. Les échantillons doivent refroidir dans un dessiccateur avant d'être pesés. La quantité de matière est pesée à la balance analytique avant et après le passage au four.

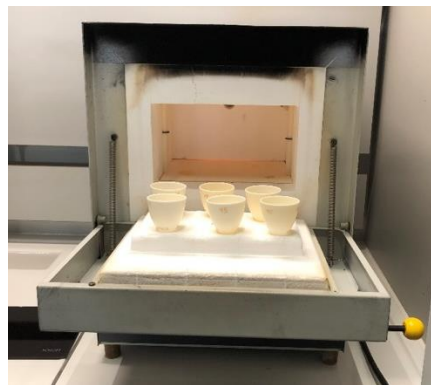


Figure 68 : Four à moufle Nabertherm.

1. 3. 8 L'activité de l'eau

Les mesures de l'activité de l'eau des farines de maïs et de drêches ont été réalisées à l'aide de l'Aqualab Decagon (figure 69). Trois échantillons de chaque farine ont été analysés. Ils ont été disposés dans des petits récipients en plastique avec couvercle. Le récipient est rempli jusqu'à mi-hauteur. Les échantillons ont été placés dans la chambre climatisée où se trouve l'Aqualab pendant 30 minutes afin d'être à la même température que l'appareil. L'appareil est calibré avec de l'eau désionisée et l'activité de l'eau doit être de $1 \pm 0,003$.

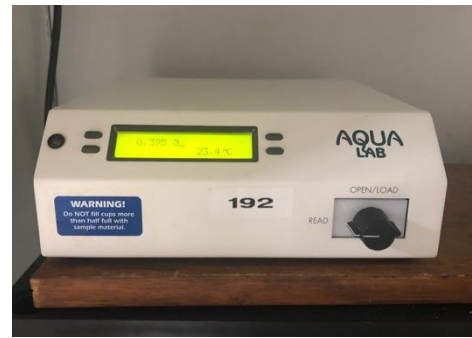


Figure 69 : Aqualab Decagon.

Ensuite, les échantillons ont été disposés sans couvercle les uns après les autres dans la chambre de l'Aqualab jusqu'à ce que la lumière clignote et que l'appareil affiche l'Aw de l'échantillon et la température.

1. 3. 9 La capacité de rétention d'eau

La capacité de rétention d'eau a été réalisée avec une adaptation de la méthode AACC 56-30 (AACC, 1990 ; Thammakiti et al., 2004 ; Sosulski, 1962). L'analyse a été réalisée sur la drêche sèche entière, la farine de drêche à 750 µm, la farine de drêche à 450 µm, la farine de maïs, et la farine de blé blanche. Trois échantillons de chaque farine ont été préparés et analysés. Dans des Falcon de 50 ml, 2,5 g d'échantillon et 15 ml d'eau distillée ont été ajoutés. Ils ont été mélangés vigoureusement pendant 30 secondes pour ensuite les laisser reposer durant 10 minutes. Sept cycles de mélange de 20 secondes suivis de 10 minutes de repos ont été effectués par la suite. Ensuite, 5 ml d'eau distillée ont été ajoutés avant de centrifuger les échantillons avec une centrifugeuse Beckman J2-21 Series Centrifuges avec JA-14 fixed angle rotator à 1600 g durant 25 minutes à température ambiante. Pour finir, le surnageant a été enlevé avec une pipette Pasteur avant de peser les échantillons. La capacité de rétention d'eau a été calculée en utilisant la formule :

$$\text{capacité de rétention d'eau} = \frac{\text{masse finale de l'échantillon}}{\text{masse initiale de l'échantillon}} \times 100$$

La masse initiale correspondant à la prise d'essais précise avant l'ajout d'eau et la masse finale correspond à la masse de l'échantillon précise après l'ajout d'eau, après avoir enlevé le surnageant d'eau.

1. 3. 10 La capacité de rétention d'huile

La capacité de rétention d'huile a été réalisée avec une adaptation de la méthode AACC 56-30 (AACC, 1999 ; O'Shea et al., 2015). L'analyse a été faite sur la drêche sèche entière, la farine de drêche à 750 µm, la farine de drêche à 450 µm, la farine de maïs et la farine de blé blanche.

Trois échantillons de chaque farine ont été préparés et analysés. Dans des Falcon de 50 ml, 2,5 g d'échantillon et 6 ml d'huile ont été ajoutés. Ils ont été mélangés pendant 30 secondes avant d'être laissés au repos durant 30 minutes. Les échantillons ont ensuite été centrifugés avec une centrifugeuse Beckman J2-21 Series Centrifuges avec JA-14 fixed angle rotator à 3000 rpm durant 15 minutes à température ambiante. Pour terminer, le surnageant d'huile a été retiré avec une pipette Pasteur et le contenu a été pesé. Le résultat a été calculé en utilisant la formule :

$$\text{Capacité de rétention d'huile} = \frac{\text{masse finale de l'échantillon}}{\text{masse initiale de l'échantillon}} \times 100$$

La masse initiale correspondant à la prise d'essais précise avant l'ajout d'huile et la masse finale correspond à la masse de l'échantillon précise après l'ajout d'huile, après avoir enlevé le surnageant d'huile.

1. 3. 11 Les tests microbiologiques sur la drêche de brasserie

Pour les tests microbiologiques, les levures, les moisissures, les bactéries lactiques et les germes mésophiles totaux ont été mesurés, sur un échantillon de drêches humides et un échantillon de drêches sèches. Les milieux utilisés sont le MRS pour les bactéries lactiques, le OGYE pour les levures et moisissures et le PCA pour les mésophiles anaérobies. Ces milieux ont été préparés en mélangeant la bonne quantité de milieu déshydraté avec de l'eau désionisée pour ensuite être placés dans l'autoclave. Une fois finis, les milieux sont placés dans un bain-marie à 45 °C.

Entre-temps, 10 g d'échantillon ont été mis dans un sac stomacher avec un filtre latéral avec de l'eau peptonée, pour ensuite être mélangée et homogénéisée durant 1 minute. Par la suite, cette solution mère subit encore quatre dilutions décimales. Puis, un millilitre de ces cinq dilutions (10^{-1} à 10^{-5}) est placé au milieu d'une boîte de Pétri à l'aide d'une pipette graduée.

Ensuite, les milieux sont coulés dans les boîtes de Pétri préalablementensemencées et le tout est mélangé grâce à de petits mouvements de la boîte. En refroidissant, les milieux deviennent solides. Par la suite, les boîtes de Pétri qui sont utilisées pour sélectionner les levures et moisissures sont incubées à ± 25 °C à l'abri de la lumière et ceux pour les lactobacilles et les bactéries mésophiles anaérobies dans une étuve à ± 30 °C. Les boîtes pour les bactéries lactiques sont préalablement enrobées d'un Parafilm pour éviter l'assèchement du milieu. La lecture des boîtes a lieu après 72 heures.

Pour les levures et moisissures toutes les boîtes avec moins de 150 colonies sont comptées, pour les bactéries lactiques toutes les boîtes comprenant entre 15 et 300 colonies et pour les mésophiles toutes les boîtes avec moins de 300 colonies.

Lorsque plusieurs boîtes sont comptées, une moyenne de celles-ci est calculée pour connaître la charge microbiologique de l'échantillon. Ces valeurs seront comparées à la législation pour voir, si les échantillons sont conformes ou non.

La formule appliquée pour calculer le nombre de colonies est la suivante :

$$\frac{n}{V \times (nb_s + (nb_i \times 0,1)) \times d_s}$$

Avec

- n = nombre des colonies additionnées
- V = volume d'inoculum (ici toujours 1 ml)
- nb_s = nombre de boîtes à dilution supérieure
- nb_i = nombre de boîtes à dilution inférieure
- d_s = dilution la plus faible pour le comptage des boîtes

1. 4 La fabrication et l'analyse des snacks extrudés

Cette partie traite des différentes étapes nécessaires à la fabrication des snacks extrudés comme la préparation de la pâte, l'extrusion et l'enrobage ainsi que l'analyse postérieure des résultats obtenus.

En ce qui concerne la formulation des snacks extrudés, la première étape a été de trouver une recette de référence à base de farine de maïs, de sel et d'eau avec de bonnes caractéristiques sensorielles. La farine de maïs a ensuite été substituée en partie par les autres constituants secs dont les drêches (à différents taux d'incorporation), les graines de lin, la pectine et les épices. La quantité d'eau est calculée pour maintenir le rapport amidon/eau constant.

Les pâtes réalisées passent ensuite dans l'extrudeuse en gardant les paramètres fixes de celle-ci.

À propos de l'analyse, certaines mesures sont faites systématiquement sur un échantillon de chaque snack obtenu : la couleur, la texture, l'activité d'eau, la matière sèche, l'expansion, la densité apparente et les dimensions. Ces analyses se font toujours 24 heures après la réalisation des snacks extrudés pour que celles-ci soient répétables et comparables.

Concernant le snack final, la teneur en lipides, en protéines, en cendres et en matière sèche ont été déterminés. La teneur en fibres totales n'a pu être dosée et a donc été obtenue par calcul.

Comme pour les matières premières, les snacks extrudés ont été réduits à une taille inférieure à 500 µm pour faciliter les dosages des différents composants.

Les analyses effectuées pour la matière sèche, la teneur en cendres et la teneur en protéines sont les mêmes que pour l'analyse des matières premières.

1. 4. 1 Diagramme de fabrication des snacks extrudés

Le diagramme de fabrication des snacks extrudés est présent à la figure 70. Il reprend toutes les étapes nécessaires à leur réalisation.

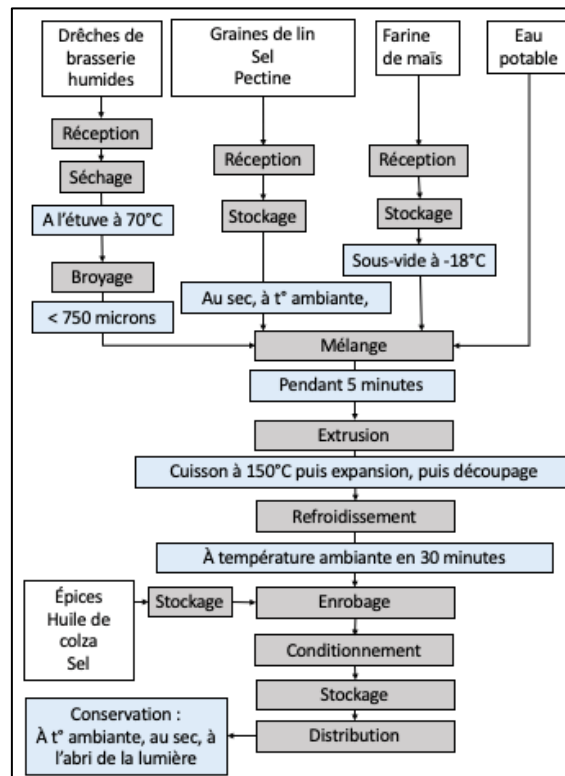


Figure 70 : Diagramme de fabrication des snacks extrudés.

1. 4. 2 Préparation du mélange

Pour chaque essai, 15 kg de pâte doivent être préparés afin de garantir une pression constante dans l'extrudeuse et un résultat répétable. La capacité du mélangeur Hobart (figure 71) étant de 5 kg, trois pâtes identiques de 5 kg sont préparées pour chaque essai. Les ingrédients secs sont pesés et mis dans le mélangeur avant d'allumer celui-ci et de régler la vitesse de mélange sur 1 (3 vitesses possibles). L'eau est ensuite ajoutée progressivement à la pâte. Afin d'obtenir une préparation homogène, le temps de mélange nécessaire est de 5 minutes.



Figure 71 : Mélangeur Hobart avec une capacité de 5 kg.

1. 4. 3 L'extrusion



Figure 72 : Extrudeuse bavis (Creuset-Loire).

L'extrudeuse utilisée est un cuiseur-extrudeur bavis à vis corotative de la marque Creuset-Loire (figure 72). La pâte est placée au sommet de l'extrusion. Le doseur sert à contrôler la vitesse de la vis qui achemine la pâte vers les vis d'extrusion. Au niveau des vis d'extrusion, trois zones sont présentes. La première, sans résistance, qui sert principalement à mélanger. La deuxième correspond à la zone de cuisson avec une résistance de 7 kW et la troisième zone à une résistance de 3 kW. La température des deux résistances peut être réglée indépendamment, mais conserver 150 °C pour les deux permet d'assurer une température plus stable et ainsi une meilleure répétabilité et donc comparaison entre les échantillons.

Les deux vis tournent dans le même sens (corotatif) mais leur partie extrême contient un pas de vis inversé (zone 3) sur une dizaine de centimètres ce qui permet d'augmenter la pression et ainsi de produire l'expansion à la sortie des filières. La vitesse de rotation est fixée à 200 rpm.

Le choix de ces paramètres ainsi que ceux qui suivent ont été établis à l'aide de la littérature, d'un travail de fin d'études réalisé sur la même extrudeuse (Plompteux, 2021) et de l'expérience du personnel de laboratoire à TERRA.

Une fois la mise en route de l'extrudeuse, la première matière qui en sort est composée des graines de colza utilisées pour graisser les vis de l'extrudeuse. Après une minute, les premiers snacks extrudés sortent, mais ceux-ci ne sont pas encore bien formés. Un temps d'attente total de 3,5 min a été établi avant la prise de l'échantillon. Cela permet d'obtenir des échantillons comparables.

Les snacks sélectionnés sont refroidis sur une plaque percée durant 30 minutes à température ambiante (figure 73). Ils sont ensuite emballés et scellés dans des sacs en aluminium à l'aide de la sertisseuse sous-videuse Multivac pour être protégés de la lumière. Une partie des snacks emballés est conservée à température ambiante pour réaliser des tests de conservation.



Figure 73 : Refroidissement des snacks extrudés.

1. 4. 4 L'enrobage

Les épices de l'enrobage ont été ajoutées sur les snacks avant d'être mélangés à l'aide du Stephan UMC 5 électronique (2011) (figure 74). Celui-ci a été utilisé de manière manuelle durant 2 minutes à 120 tours/minute. Un spray d'huile de colza vierge a été pulvérisé toutes les 15 secondes lors du mélange pour amener une meilleure homogénéité à l'enrobage. Le processus d'enrobage n'a pas été optimisé, la priorité étant la texture du snack extrudé.



Figure 74 : Stephan UMC 5 électronique utilisé pour l'enrobage des snacks extrudés.

1. 4. 5 La texture

L'analyse de la texture a été réalisée avec un texturomètre SMS TA.XT2. Pour la mesure sur les snacks extrudés, la presse « HD/P50 50 mm DIA Cylinder Stainless » a été employée (figure 75). Cinq répétitions ont été réalisées par échantillon.



Figure 75 : Texturomètre SMS TA.XT2 avec la presse « HD/P50 50 mm DIA Cylinder Stainless » pour comprimer les snacks extrudés et analyser leur dureté et croustillance.

Deux paramètres sont retenus : la force moyenne (en Newton) pour comprimer les snacks extrudés et qui apprécie la dureté du snack en question et le nombre de pics qui est positivement corrélé à sa croustillance (Liu et al. 2019). Le nombre de pics a été mesuré avec un threshold de 0,3 N (Plompteux, 2021). Les paramètres sélectionnés pour les snacks extrudés sont repris dans le tableau 19 (Plompteux, 2021).

Tableau 19 : Paramètres utilisés pour l'analyse de texture des snacks extrudés.

Caption	Value	Units
Test Mode	Compression	
Pre-test Speed	1,00	mm/sec
Test Speed	0,5	mm/sec
Post-Test Speed	1,00	mm/sec
Target Mode	Distance	
Distance	15,000	mm
Trigger Type	Auto (Force)	
Trigger Force	0,049	N

1. 4. 6 La couleur

L'analyse de la couleur a été réalisée avec le spectrocolorimètre ColorFlex EZ et le logiciel EZMQC servant à exporter les données du colorimètre. Un récipient en verre est rempli de snacks extrudés de manière à ne pas laisser d'espace vide afin d'obtenir un résultat homogène. A chaque fois, cinq répétitions sont effectuées.

Les résultats sont donnés en L*, a* et b* avec :

- L* donnant la luminance, allant de 0 pour le noir et 100 pour le blanc
- a* allant de vert au rouge avec des valeurs de -120 à + 120 respectivement
- b* allant du bleu au jaune avec des valeurs de -120 à + 120 respectivement.²⁷

1. 4. 7 La teneur en matière sèche

L'analyse de la matière sèche des snacks apéritifs a été effectuée avec une balance infra-rouge Sartorius MA150 avec le programme « 130 °C automatique ». Un seul snack par essai est placé sur la balance pour être analysé. Cette mesure donne un écart-type un peu plus élevé que la méthode à l'étuve. Cependant, une grande quantité d'échantillons doit être analysée. Cette balance infra-rouge a donc été utilisée car elle permet de mesurer rapidement la matière sèche. Pour chaque échantillon, deux analyses ont été réalisées.

1. 4. 8 L'activité de l'eau

La mesure de l'activité de l'eau des snacks apéritifs a été réalisée avec l'Aqualab Decagon. Deux échantillons de chaque formulation ont été analysés. Les snacks extrudés ont été coupés en rondelles et disposés dans les récipients les unes à côté des autres, de manière à couvrir le plus de surface possible, comme le montre la figure 76.

²⁷ Pillou, J. F. (2008, 14 octobre). *Le codage CIE / Lab (L*a*b) - Comment Ça Marche*. CommentCaMarche. Consulté le 1 juillet 2022, <https://www.commentcamarche.net/contents/1192-le-codage-cie-lab-l-a-b>



Figure 76 : Disposition des rondelles de snacks extrudés dans les récipients pour l'Aqualab.

1. 4. 9 La taille, la masse et la densité apparente des snacks extrudés

Les mesures sont réalisées sur cinq échantillons provenant d'une même formulation et les résultats sont exprimés en valeur moyenne (avec écart-type).

La taille des snacks est mesurée à l'aide d'un pied à coulisse. Pour cela, la longueur ainsi que la plus petite et la plus grande largeur sont mesurées. La masse a été mesurée sur les cinq mêmes échantillons avec une balance analytique, ce qui a permis de réaliser un calcul de densité apparente.

La densité apparente (BD) en g/cm³

La densité apparente est mesurée à l'aide de la méthode déterminée par Alvarez-Martinez et al. (1998) suivant l'équation ci-dessous. Cette mesure a été réalisée sur cinq snacks lors de chaque formulation.

$$BD \left(\frac{g}{cm^3} \right) = 4m/\pi d^2 L$$

Où m est la masse (g) de l'extrudé, L est la longueur (cm) et d le diamètre (cm) (Alvarez-Martinez et al., 1998).

Les snacks, n'ayant pas une forme régulière, entravent la fiabilité de la mesure de densité apparente.

Pour cette raison, une autre méthode d'analyse a été utilisée. Les snacks sont placés dans un berlin d'un litre et disposés de manière à laisser le moins de place possible. Les différents résultats sont ainsi comparables. Au contraire de la première méthode, cette mesure prend en compte les formes irrégulières des snacks, ce qui diminue les erreurs éventuelles. Ceci est d'autant plus représentatif que la mesure est faite sur un grand nombre de snacks. Cependant, qu'une seule mesure a été réalisée, les résultats seront donc exprimés sans écart-type et l'unité sera le g/dm³.

Le taux d'expansion et le pourcentage d'expansion

L'expansion radiale (ER) moyenne des snacks extrudés est obtenue via le taux d'expansion en faisant le rapport du diamètre du snack par celui de la filière. Ce ratio est multiplié par 100 pour obtenir le pourcentage d'expansion (Alvarez-Martinez et al., 1998).

$$ER = \frac{\text{diamètre de l'extrudé (mm)}}{\text{diamètre de la filière (mm)}}$$

1. 4. 10 La teneur en lipides du produit fini

Le protocole du dosage des lipides se base sur les « techniques modernes de la biscuiterie, pâtisserie, boulangerie industrielles et artisanales et des produits de régime par J.L. KIGER – TOME II – pages 550-551 – extraction après dissolution acide ».

Pour doser les lipides du snack extrudé, 3,5 g d'échantillon sont pesés et mis dans un berlin avant d'ajouter 2 ml d'éthanol. Le tout doit être agité. Par la suite, 50 ml de HCl 6 N sont ajoutés avant de mettre le berlin dans un bain-marie à 70 °C avec agitation durant 40 minutes. Après ce temps, le mélange est filtré à travers deux filtres Whatman 2V dans un erlenmeyer. Le gâteau est rincé à l'eau désionisée jusqu'à ce que celui-là atteigne un pH neutre. Puis, le résidu avec le filtre est séché durant une nuit dans une étuve à 60 °C.

Le lendemain, 140 ml de solvant d'extraction sont ajoutés et l'extraction est programmée sur le Soxtherm. Après cette étape, les béchers sont placés dans une étuve ventilée à 103 °C durant une heure avant de les laisser refroidir et de les peser. Le protocole complet se trouve en annexe 7.

1. 4. 11 Tests de vieillissement

Pour les snacks extrudés, le test de vieillissement a été réalisé à température ambiante pendant 11 semaines. La texture, la couleur, la matière sèche et l'activité de l'eau ont été mesurées 24 heures, 5 semaines, 8 semaines et 12 semaines après production. Le but étant de voir si tous les paramètres restent stables tout au long de la conservation.

1. 4. 12 Test de vieillissement accéléré : l'oxydation de l'huile d'enrobage

Le Rancimat Metrohom 743 a été utilisé pour l'analyse de l'huile d'enrobage des snacks extrudés (figure 77).

Pour l'enrobage, l'huile de colza a été utilisée. Afin d'extrapoler les résultats à une température de 20 °C, cinq analyses à cinq températures différentes ont été réalisées : 90 °C, 100 °C, 110 °C, 120 °C et 130 °C avec un flux d'air de dix litres par heure



Figure 77 : Rancimat Methohom 743.

(Farhoosh, 2007). Par rampe de température, deux échantillons d'huile de colza et deux échantillons d'huile de colza avec extrait de romarin (4 mg par 100 ml, ce qui correspond à la teneur maximale légale (Règlement 1333/2008)) ont été analysés pour observer l'effet antioxydant de l'extrait de romarin.

1. 5 La fabrication et l'analyse des crackers

Cette partie traite les différentes étapes nécessaires à la fabrication des crackers comme la préparation de la pâte et la cuisson, mais aussi l'analyse postérieure des résultats obtenus.

En ce qui concerne la formulation des crackers, la première étape a été de trouver une recette de référence à base de farine de froment, de graines de lin, de sel, d'huile de colza et d'eau. Ensuite, une partie de la farine de froment a été substituée par les autres constituants secs (drêches et éventuelles épices). L'huile et l'eau sont recalculées, pour chaque formulation, en fonction de la quantité de farine de froment et de drêche ainsi que leur taux d'absorption.

À propos de l'analyse, certaines mesures sont faites systématiquement sur un échantillon de chaque cracker obtenu : la couleur, la texture, l'activité d'eau, la matière sèche et les dimensions. Ces analyses se font toujours le même jour que la réalisation des crackers pour que celles-ci soient répétables et comparables.

Concernant le cracker final, la teneur en lipides, en protéines, en cendres et en matière sèche ont été déterminées. La teneur en fibres totales n'a pu être dosée et est obtenue par calcul.

Comme pour les matières premières, les crackers ont été réduits à une taille inférieure à 500 µm pour faciliter les dosages des différents composants. Les analyses effectuées pour la matière sèche, la teneur en cendres, la teneur en protéines sont les mêmes que pour l'analyse des matières premières.

1. 5. 1 Diagramme de fabrication des crackers

Le diagramme de fabrication des crackers est présent à la figure 78. Il reprend toutes les étapes nécessaires à leur réalisation.

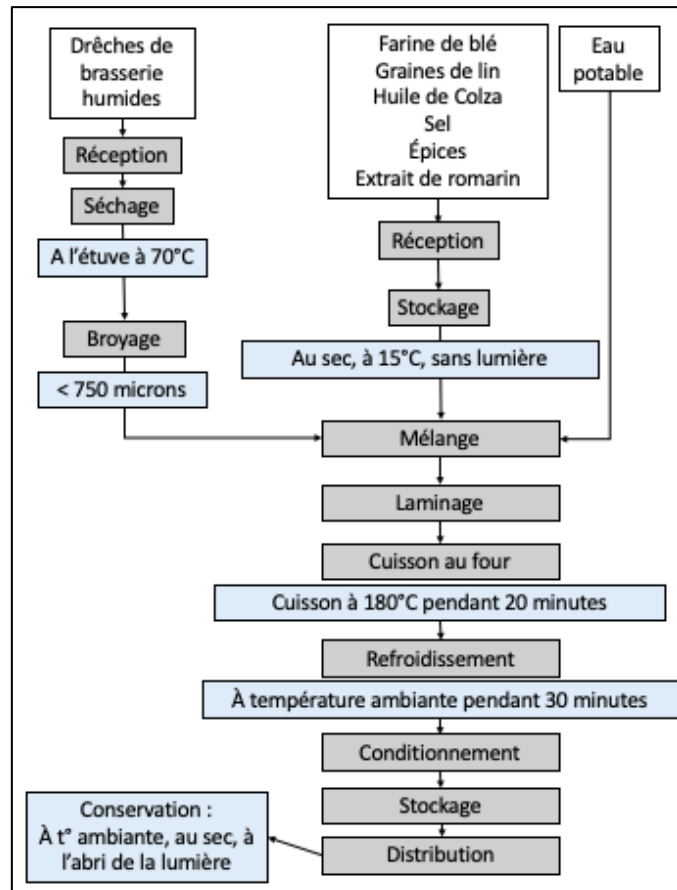


Figure 78 : Diagramme de fabrication des crackers.

1. 5. 2 Le mélange

Les ingrédients liquides (eau et l'huile) sont pesés avant d'y ajouter les ingrédients secs déjà pesés et prémélangés. Le robot Kenwood Chef Classic KM630 muni d'un crochet pétrisseur réglé sur la vitesse 3 est ensuite utilisé durant cinq minutes afin d'obtenir une pâte homogène. Pour chaque essai, 200 g de pâtes ont été préparés.

Certaines formulations contiennent de l'extrait de romarin, celui-ci est ajouté directement à l'huile et l'eau de manière à bien se solubiliser. La quantité ajoutée est de 50 mg/kg d'huile de colza (Règlement 1333/2008).

1. 5. 3 Le laminage

L'épaisseur constante de la pâte à crackers est obtenue à l'aide d'un laminoir fixé à une machine de pâte Ristorántica Wellness-220. La pâte est étendue préalablement à l'aide d'un rouleau pâtisserie avant d'être introduite dans le laminoir. Elle est passée en premier dans le laminoir en ouverture « 0 », ce qui correspond à environ 5 mm, puis à l'ouverture « 1 », ce qui correspond à environ 4,3 mm et finalement à l'ouverture « 2 », ce qui correspond à environ 3,5 mm.

1. 5. 4 La découpe

La découpe des crackers a été réalisée à l'aide d'un emporte-pièce rond de 35 mm de diamètre. Cette taille correspond à la dimension précisée dans le cahier des charges.

1. 5. 5 La cuisson

Pour la cuisson des crackers, deux fours différents ont été testés. Dans un premier temps, le four électrique à pain Salva et ensuite le four à vapeur Air-o-steam option air pulsé sans vapeur. L'homogénéité et la stabilité de la température des deux fours ont été analysées à l'aide de thermocouples.

La cuisson des crackers a été réalisée à 180 °C et des temps de cuisson de 15 à 25 minutes ont été testés afin d'obtenir les meilleures caractéristiques sensorielles.

Après cuisson, les crackers sont refroidis durant 30 minutes à température ambiante. Les analyses de texture, de couleur, de matière sèche et d'activité de l'eau sont réalisées une heure après la sortie du four.

1. 5. 6 La texture

L'analyse de la texture se fait comme pour les snacks extrudés avec le texturomètre SMS TA.XT2. Ici, la lame « Warner Bratzer Rectangular Natch Blade » est utilisée (figure 79). Pour les crackers, dix répétitions ont été réalisées pour chaque échantillon, car les résultats semblaient être très variables.

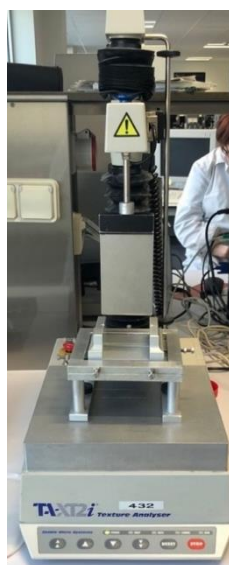


Figure 79 : Montage du texturomètre avec la lame Warner Bratzer Rectangular Natch Blade pour l'analyse de la texture des crackers.

Deux paramètres sont retenus : la force moyenne (en Newton) pour casser les crackers en deux et qui apprécie la dureté du cracker en question et le nombre de pics qui est positivement

corrélé à la fragilité et à sa croustillance (Vincent et al. 1998 ; Varela et al. 2006 ; Liu et al. 2019). Le nombre de pics a été mesuré avec un threshold de 0,3 N (Plompteux, 2021). Les paramètres sélectionnés pour les crackers sont repris dans le tableau 20 (Courtois & Houge, 2019).

Tableau 20 : Paramètres utilisés pour l'analyse de texture des crackers.

Caption	Value	Units
Test Mode	Compression	
Pre-Test Speed	0,50	mm/sec
Test Speed	0,50	mm/sec
Post-Test Speed	10,00	mm/sec
Targes Mode	Distance	
Distance	7	mm
Trigger Type	Auto (Force)	
Trigger Force	0,049	N
Advanced options	Off	

1. 5. 7 La couleur

L'analyse de la couleur a, comme pour le snack extrudé, été réalisée avec le spectrocolorimètre ColorFlex EZ avec le système L*a*b* et le logiciel EZMQC permettant d'exporter les données du colorimètre. Un cracker est placé directement au-dessus de l'objectif et l'analyse des deux faces est effectuée sur cinq crackers par échantillon.

1. 5. 8 La teneur en matière sèche

L'analyse de la matière sèche des crackers se fait comme expliquée pour les snacks extrudés au point 1. 4. 7. La seule différence est que la mesure a été faite sur un morceau de cracker ayant une masse d'environ un gramme.

1. 5. 9 L'activité de l'eau

La mesure de l'activité de l'eau des snacks apéritifs a été réalisée avec l'Aqualab Decagon sur deux échantillons de chaque formulation. Les crackers ont été découpés à la forme exacte du récipient grâce à un emporte-pièce.

1. 5. 10 La teneur en lipides du produit fini

Pour le dosage des lipides du produit fini, le même processus que pour les snacks extrudés a été utilisé. Celui-ci est expliqué au point 1. 4. 10.

1. 5. 11 Tests de vieillissement accéléré

Les crackers ont été analysés avec un test de vieillissement accéléré dans une chambre thermostatique à 32 °C durant 28 jours. Cette température a été choisie, car elle se situe dans la fourchette de référence utilisée dans la littérature pour un vieillissement accéléré (de 28 à 40 °C).²⁸ La texture, la couleur, la matière sèche et l'activité de l'eau ont été analysées à un intervalle de sept jours durant quatre semaines. Le but étant de voir si tous les paramètres restent stables tout au long de la conservation.

Analyse de l'oxydation

Le Rancimat Metrohom 743 a été utilisé pour l'analyse de l'oxydation des crackers avec et sans extrait de romarin. Les crackers ont été réduits en poudre avec un mortier afin de ne pas broyer les graines de lin. Laisser ces dernières le plus intactes possible semblait important, car l'huile riche en oméga-3 contenue dans celles-ci est protégée de l'oxydation par l'enveloppe de la graine. Les broyer fausserait donc les résultats et donnerait une oxydation précoce et donc une DDM raccourcie. Comparer ces résultats à des crackers sans graines de lin aurait été intéressant, mais ces tests n'ont pas fait partie de l'étude de ce travail.

Cinq températures (90 °C, 100 °C, 110 °C, 120 °C et 130 °C) avec un flux d'air de dix litres par heure ont été définies afin de pouvoir extrapoler les résultats pour une température de 20 °C. Par rampe de température, deux échantillons de crackers sans additif et deux échantillons de crackers avec extrait de romarin (50 mg d'extrait/kg d'huile de colza, ce qui correspond à la teneur légale (Règlement 1333/2008)) ont été testés. Cette mesure permet de connaître la durée maximale de stockage à température ambiante avant que le produit ne soit oxydé, mais aussi de pouvoir observer l'effet antioxydant de l'extrait de romarin.

1. 5. 12 Les tests microbiologiques

Pour les tests microbiologiques, la présence des levures, des moisissures, des bactéries lactiques et des germes mésophiles totaux est analysée sur les crackers sans extrait de romarin. La manière de procéder est la même que pour les drêches et est expliquée au point 1. 3. 11.

²⁸ Celabor. (s.d.). *Vieillissement Accéléré*. Celabor.be. Consulté le 30 mai 2022, https://www.celabor.be/site/5_vieillissement-accelere/index.html

2. Résultats et discussion

2. 1 Le séchage des drêches de brasserie

La drêche de brasserie est rapidement périssable (Jackowski et al., 2020), sa stabilisation est donc un point primordial. L'objectif du séchage est de stabiliser les drêches de brasserie en diminuant sa teneur en humidité (ainsi que l'activité de l'eau) afin de les conserver sur une longue période (Mussatto et al., 2006). Trois méthodes ont été réalisées afin d'optimiser le processus de séchage. Un séchage en étuve à 70 °C, un à 100 °C et un avec un pressage au préalable ont été réalisés et analysés.

Une certaine quantité de drêches humides non pressées a dû être congelée en attendant le séchage. La congélation peut être une autre manière de stabiliser la drêche, mais a le désavantage d'être énergivore et d'occuper de grands volumes de stockage (l'eau contenue à environ 80 % dans les drêches est également congelée). La composition de la drêche peut également légèrement changer (Mussatto et al., 2006 ; Bartolome et al., 2002 ; Ikram et al., 2017). Ces changements de compositions n'ont pas été caractérisés dans ce travail.

2. 1. 1 Le séchage à l'étuve

Le premier séchage en étuve a été réalisé en 65 heures avec une température comprise entre 65 et 70 °C. Le taux de matière sèche finale obtenue est de 97,27 %. Cette température a été choisie parce que les valeurs retrouvées dans la littérature varient de 60 °C à 150 °C. Utiliser une température basse de séchage a également l'avantage de moins altérer la saveur et la couleur des drêches (Stojceska et al., 2008 ; Ainsworth et al., 2007 ; Mussatto et al., 2006 ; Bartolome et al., 2002 ; Ikram et al., 2017).

Le tableau 21 reprend les différents taux de matière sèche et d'eau évaporée à différents intervalles de temps.

Tableau 21 : L'évolution de la matière sèche des drêches de brasserie et du pourcentage d'eau évaporée en fonction du temps lors du séchage en étuve à 70 °C.

Temps (h)	Eau évaporée (%)	Matière sèche (%)
0	0	20,56
17,17	9,19	29,75
19,34	10,84	31,4
41,17	31,38	51,94
43,5	40,98	61,54
46	53,06	73,62
65,17	76,71	97,27

La figure 80 montre l'évolution de la matière sèche au cours du temps. Plus les drêches deviennent sèches, plus le séchage est rapide. Le temps nécessaire pour passer de 30 à 40 % de MS est d'environ dix heures, alors qu'il ne faut qu'environ deux heures pour passer de 50 à 60 % de MS.

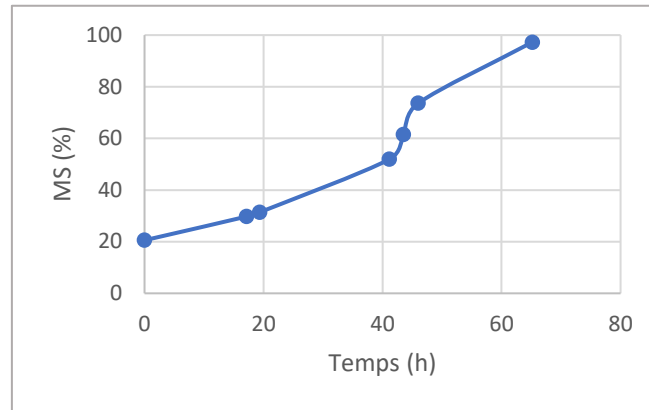


Figure 80 : L'évolution de la matière sèche (%) de la drêche de brasserie séchée en étuve à 70 °C au cours du temps (h).

Une deuxième méthode de séchage a été réalisée pour essayer d'optimiser le séchage. Une température de 100 à 110 °C a été choisie, celle-ci se trouve également dans la fourchette de 60 °C à 150 °C comme mentionnée dans la littérature. Cette température, un peu plus élevée, permet de conserver les avantages (protection des risques microbiologiques) tout en limitant les inconvénients (risque de fermentation à cause d'une température trop basse et altération des saveurs et des couleurs par une température trop élevée) (Stojceska et al., 2008 ; Ainsworth et al., 2007 ; Mussatto et al., 2006 ; Bartolome et al., 2002 ; Ikram et al., 2017).

Sur la courbe présente à la figure 81, l'évolution de la matière sèche au cours du temps est représentée. L'allure des courbes de séchages à 70 °C et 100 °C sont comparables mais le temps ne l'est pas car la quantité de drêche par plaque est de 9 kg pour le séchage à 70 °C et de 1 kg pour le séchage à 100 °C. A noter que le temps est indiqué en minutes et pas en heures comme pour le graphique précédent. Le point d'inflexion de la courbe est également plus précoce. Il se situe aux alentours de 50 % de MS tandis qu'à une température de séchage de 70 °C, celui-ci se trouvait plutôt vers les 60 % de MS.

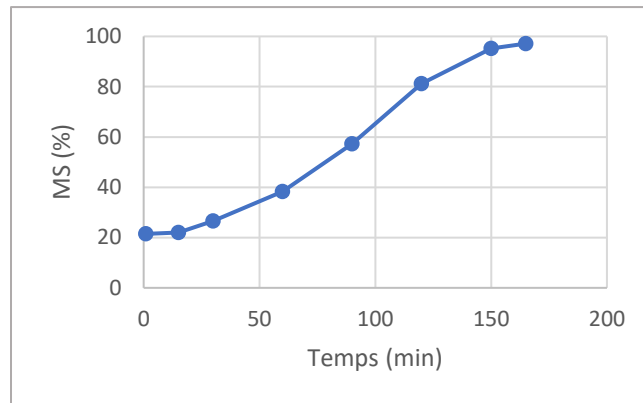


Figure 81 : L'évolution de la matière sèche (%) de la drêche de brasserie séchée en étuve à 100 °C au cours du temps (min).

Le pressage

Afin d'optimiser le temps de séchage, le pressage a été envisagé. Pour observer son influence sur la courbe de séchage, celui à 100 °C a servi de référence. Ce pressage permet de réduire davantage les coûts liés au séchage (Tang et al., 2004 ; El-Shafey et al., 2004). Il permet de baisser le taux d'humidité initial de 20 à 30 % (El-Shafey et al., 2004 ; Ikram et al., 2017). Le seul désavantage étant la perte d'un liquide riche en substances intéressantes comme des sucres (notamment le maltose), des acides aminés (arginine, phénylalanine, lysine, glutamine), du potassium et du phosphore (Akermann et al., 2020). La revalorisation de ce liquide pourrait être intéressante, mais cela ne rentre pas dans le cadre de ce travail.

La presse hydraulique a été utilisée pour extraire une partie du liquide contenu dans les drêches en appliquant une pression de 400 kg/m². Ceci permet de baisser le pourcentage d'humidité de 22,96 % et donc de réduire le temps de séchage nécessaire d'environ une heure. Ce temps gagné d'approximativement 60 minutes correspond à celui nécessaire pour évaporer les premiers 20 % d'humidité. La courbe de séchage obtenue ressemble à la courbe du séchage à 100 °C sans pressage (figure 82).

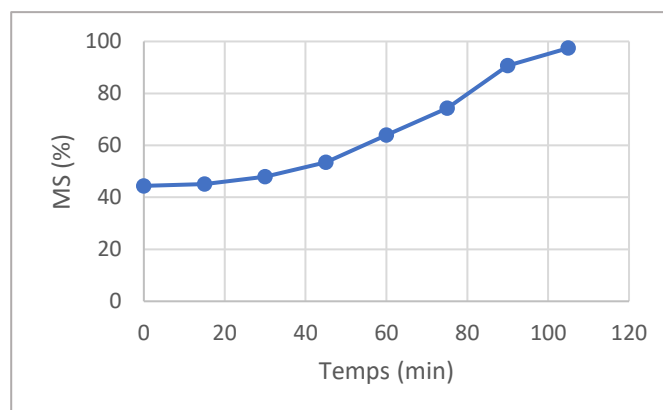


Figure 82 : L'évolution de la matière sèche (%) de la drêche de brasserie séchée en étuve à 100 °C au cours du temps (min) avec un pressage

La méthode de séchage qui inclut une étape de pressage préalable a été retenue. Le temps de séchage étant plus court, il le rend ainsi moins énergivore et donc moins couteux.

2. 2 Les analyses sur la matière première

Ces analyses sont primordiales pour la formulation des différents snacks, car chaque ingrédient possède différentes propriétés qui peuvent exercer une influence sur les caractéristiques des produits finaux. Cette partie reprend les analyses qui paraissent essentielles à la formulation des snacks apéritifs. Les analyses sur les ingrédients achetés en magasin n'ont pas été réalisées, même si cela aurait pu être intéressant, vu qu'une variation par rapport à la composition reprise sur l'étiquette n'est pas impossible.

Le tableau 22 reprend les résultats obtenus concernant la composition de la farine de drêches de brasserie et de la farine de maïs ainsi que la composition des autres ingrédients utilisés dans la confection des snacks apéritifs.

Tableau 22 : Résumé des compositions des matières premières.

	Farine de drêche de brasserie	Farine de maïs	Graines de lin RANSON NV (pour 100 g) ***	Farine de froment ANCO (pour 100 g) ***	Huile de colza bio traitée à froid (pour 100 g) ***
Aw	0,072	0,529	/	/	/
MS	96,94 %	87,34 %	/	/	/
Kcal	173,26 kcal*	358,01 kcal*	493 kcal	345 kcal	900 kcal
Protéines	24,87 ± 0,90 %	6,87 ± 0,30 %	22 g	9,3 g	0 g
Lipides	6,50 ± 0,74 %	4,21 ± 0,52 %	36,3 g dont 4,2 g d'AGS	1,6 g dont 0,1 g d'AGS	100 g dont 6,6 g d'AGS, 65 g d'AGMI et 28 g d'AGPI
Glucides	62,37 avec FA**	74,92 avec FA**	7,40 g dont 2,10 g de sucres	72 g dont 2 g de sucres	0 g
Amidon	3,82 %	Amidon : 73,16 %	/	/	/
Dont	/	Amylose : 16,89 ± 0,22 Amylopectine : 83,11 ± 0,22	/	/	/
Fibres	Solubles : 4,40 ± 2,40 % Insolubles : 69,05 ± 9,08 %	Solubles : 1,64 ± 1,66 % Insolubles : 16,40 ± 1,12 %	/	2,5 g	0 g
Cendres	3,20 ± 0,00 %	1,34 ± 0,00 %	/	/	/
Sel	/	/	0,06 g	0,025 g	0 g

*Calculé sur base des protéines, lipides et glucides avec la formule : Protéines (g) x 4 (kcal/g) + Glucides (g) x 4 (kcal/g) + Lipides x 9 (kcal/g). C'est le pourcentage d'amidon qui est utilisé pour calculer les calories apportées par les glucides.

** Calculé par soustraction : $100 - (\text{humidité} + \text{protéines} + \text{lipides} + \text{cendres})$

*** Données retrouvées sur les emballages des ingrédients utilisés

Tous les pourcentages (sauf le pourcentage de MS) sont des pourcentages sur la MS

2. 2. 1 L'activité de l'eau

Une activité de l'eau supérieure à 0,6 rend le produit à risque concernant la détérioration microbologique avec un développement possible de moisissures, de levures et de bactéries (Castaigne, 1993). Le séchage de la drêche de brasserie a permis de réduire ce risque en passant d'une activité de l'eau des drêches humides de 0,998 à une activité de l'eau de 0,072. Cette dernière valeur peut être expliquée par un séchage certainement trop important. Avec une activité de l'eau très basse, le risque d'oxydation se retrouve augmenté. L'idéal serait de se situer entre 0,2 et 0,5 pour limiter celui-ci (Baldet & Colas, 2012). Les drêches ont donc été mises dans des emballages hermétiques sous-vides pour réduire ce risque en empêchant le contact avec l'oxygène (Genot et al., 2004).

L'activité de l'eau a été analysée dans l'étude de Naibaho et Korzeniowska (2021). Celle-ci compare huit drêches de brasserie différentes provenant de différents pays et qui ont été séchées à 70 °C jusqu'à ce que la masse des drêches soit stable. Les valeurs d'activité de l'eau obtenues varient de 0,064 à 0,197 avec la moitié des résultats se situant en dessous d'une Aw de 0,1 (Naibaho & Korzeniowska, 2021). Nos valeurs se retrouvent donc dans la fourchette basse de ces résultats.

L'activité de l'eau du maïs est de 0,529. Cette valeur, étant inférieure à 0,6, limite le risque de développement de microorganismes, mais n'est pas encore suffisante pour limiter tous les risques de dégradations. Pour cette raison, le maïs a été emballé hermétiquement et mis sous-vide, avant d'être congelé.

2. 2. 2 La matière sèche

Le séchage a permis d'augmenter la teneur en matière sèche en passant de 20,56 % à 97,27 %, ce qui permet de rallonger la durée de vie du produit (Jackowski et al., 2020). Le suivi de l'évolution de la matière sèche a permis de déterminer le moment final du séchage. Diminuer la durée de séchage aurait permis d'obtenir une matière sèche finale moins élevée avec une activité de l'eau des drêches plus hautes.

La teneur en MS du maïs est de 87,34 %. Cette valeur correspond à la matière sèche retrouvée pour le maïs à destination du bétail qui est de 86,3 %.²⁹

²⁹ Maïs | Tables de composition et de valeur nutritionnelle des aliments pour animaux INRA CIRAD AFZ. (s.d.). feedtables. Consulté le 22 juillet, <https://feedtables.com/fr/content/maïs>

2. 2. 3 Les protéines

En se référant à la littérature, la teneur en protéines des drêches de brasserie se trouve entre 15 à 26 % de la MS (Aliyu & Bala, 2011). Le résultat obtenu pour les drêches est d'environ 24,87 % ce qui correspond à la fourchette haute en comparaison aux teneurs théoriques.

Le taux de protéines retrouvé dans le maïs varie selon la littérature de 8 à 11 % (FAO, 1993). Le maïs utilisé et analysé pour ce travail a une teneur en protéines de 6,87 % de la MS, ce qui correspond donc à la moyenne inférieure retrouvée dans la littérature.

2. 2. 4 Les lipides

La littérature situe la teneur en lipides des drêches de brasserie entre 5,8 et 11 % de la MS (Mussatto & Roberto, 2005). Avec une teneur en lipides de 6,50 %, les drêches analysées sont conformes à la littérature et se situent dans la partie inférieure de la fourchette.

En fonction de la variété de maïs, les teneurs en lipides peuvent varier de 3 à 18 % (FAO, 1993). Le maïs utilisé ici se situe avec ses 4,21 % de lipides dans la fourchette inférieure. Cependant, une autre table de composition nutritionnelle pour le maïs de bétail indique que la matière grasse du maïs s'élève à uniquement 4,1 % de la MS³⁰, ce qui correspond davantage à la valeur retrouvée dans notre cas.

2. 2. 5 L'amidon et pourcentage d'amylose et d'amylopectine

L'amidon est le facteur responsable de l'expansion lors de l'extrusion (Ainsworth et al., 2007). Le résultat obtenu dans la farine de maïs, après la réalisation de la méthode d'Ewers, est de 73,97 % d'amidon. Selon Yu et Moon (2022), le contenu d'amidon du maïs est d'environ 75 % de la matière sèche (Yu & Moon, 2022), ce qui correspond aux valeurs obtenues. En comparant la valeur à celle indiquée pour le maïs de bétail, on retrouve une valeur très similaire : 73,9 % d'amidon sur MS.

La teneur en amidon dans les drêches ne s'élève qu'à 3,82 %. Dans la littérature, la valeur trouvée est d'environ 6,4 % de la MS (Heuzé & Tran, 2017), ce qui est plus élevé que la valeur obtenue ici.

La littérature indique que des farines contenant de l'amidon qui contient 5 à 20 % d'amylose ont un taux idéal pour être extrudées (Riaz, 2015). Le maïs utilisé ici, avec un pourcentage de 16,89 % d'amylose et de 83,11 % d'amylopectine, est ainsi bien adapté pour l'extrusion. Ces valeurs se rapprochent le plus de celles retrouvées dans le cas du maïs denté, avec 25 à 30 % d'amylose et 70 à 75 % d'amylopectine (FAO, 1993).

³⁰ Maïs | Tables de composition et de valeur nutritionnelle des aliments pour animaux INRA CIRAD AFZ. (s.d.). feedtables. Consulté le 22 juillet, <https://feedtables.com/fr/content/maïs>

2. 2. 6 Les fibres insolubles et solubles

Les fibres solubles et insolubles n'ont pas les mêmes interactions durant l'extrusion. Connaître leur taux respectif semble donc intéressant (Korkerd et al., 2016 ; Robin et al., 2012 ; Yanniotis et al., 2007). Les drêches sont composées de 73,45 % de fibres totales ($4,40 \pm 2,40$ % pour les solubles et $69,05 \pm 9,08$ % pour les insolubles) et le maïs de 18,04 %. Les résultats sont légèrement supérieurs aux valeurs retrouvées dans la littérature qui sont de 30 à 70 % de fibres totales dans la MS pour la drêche (Mussatto & Roberto, 2005). Ces résultats ainsi que l'écart-type obtenu peuvent s'expliquer par le fait que des problèmes sont survenus durant les manipulations. Il faut donc prendre ces résultats avec prudence. Pour les deux farines, les types de fibres qui s'y retrouvent en plus grande quantité sont les fibres insolubles.

Les fibres totales retrouvées dans le maïs sont de l'ordre de 12,19 à 14,91 % avec 1,14 à 1,64 % de fibres solubles et 10,94 à 13,77 % de fibres insolubles en fonction de la variété de maïs. Ces valeurs sont indiquées pour le grain entier (FAO, 1993). Dans notre cas, le maïs contient 1,64 % de fibres solubles et 16,40 % de fibres insolubles. Les valeurs pour les fibres solubles se situent ainsi dans la fourchette haute. En ce qui concerne les valeurs pour les fibres insolubles, elles sont supérieures à celles de la littérature. On a en conséquence un maïs plus riche en fibres.

2. 2. 7 Les cendres

Dans la littérature, des résultats de 3,303 % à 4,290 % de cendres ont été obtenus après l'étude de huit drêches de brasserie différentes (Naibaho & Korzeniowska, 2021). Avec un taux de 3,2 % de cendre, les drêches de brasserie étudiées se situent légèrement en dessous des résultats trouvés dans la littérature.

Pour le maïs, la valeur retrouvée est de 1,3 % (FAO, 1993), celle-ci correspond aux 1,34 % de cendres compris dans notre échantillon de maïs.

2. 2. 8 La capacité de rétention d'eau

La capacité de rétention d'eau peut jouer un rôle important lors de la formation de la pâte des crackers. Connaître cette valeur a permis de garder une pâte assez humide pour pouvoir la manipuler sans qu'elle se casse. En effet, la capacité de rétention d'eau des drêches est plus élevée que celle de la farine de blé. Si la quantité d'eau n'avait pas été adaptée en fonction de la valeur de rétention des drêches, ces dernières auraient absorbé une grande quantité d'eau rendant la pâte sèche, non collante et impossible à la travailler.

D'après les résultats, les drêches absorbent jusqu'à 5,7 fois leur masse en eau pour les drêches entières, et jusqu'à 4,4 et 4,4 fois pour les drêches broyées à 750 et 450 μm respectivement. En comparaison, le maïs n'absorbe que 2,1 fois sa masse en eau, la farine de blé complète que 2,0 fois et la farine blanche seulement 1,7 fois. Les résultats complets sont présentés dans le tableau 23. L'étude de Naibaho et Korzeniowska (2021) a comparé la capacité de rétention

d'eau de huit drêches, provenant de différentes brasseries. Ils ont obtenu des facteurs de rétention allant de 3,055 à 4,346 sur des drêches broyées à 385 µm (Naibaho & Korzeniowska, 2021). Les résultats obtenus ici pour la drêche à 450 et 750 µm sont supérieurs aux résultats de l'étude.

La granulométrie des drêches semble impacter le pouvoir de rétention d'eau. Les drêches entières présentent une capacité supérieure aux drêches à 450 et 750 µm. Ceci est en accord avec les résultats de Noort et al. (2010) qui démontrent que plus la taille de la fibre est petite, moins sa capacité de rétention d'eau est élevée et inversement (Noort et al., 2010). Néanmoins, une diminution ou une augmentation de la capacité de rétention d'eau pour des fibres de taille décroissantes est dépendante de la matrice de la fibre en question (Auffret et al., 1994 ; Noort et al., 2010).

Dans la littérature, une étude a obtenu une capacité de rétention d'eau pour la farine de blé raffinée qui se situe aux alentours de 1,31 (Felli et al. 2018), cette valeur est inférieure aux résultats obtenus en laboratoire pour la farine de blé

La capacité de rétention d'eau de la farine de maïs est de 2,1, cette valeur est supérieure à celle de 1,2 retrouvé dans la littérature (Yang et al., 2016). Le manque d'informations sur la farine utilisée dans l'article ne permet pas une comparaison optimale avec la farine employée dans ce travail. Ni la variété de maïs est connue, ni la granulométrie ou son potentiel raffinage.

Les drêches étant plus riches en fibres, et notamment en fibres insolubles, en comparaison à la farine de maïs ou à la farine de blé, expliquent ainsi une capacité de rétention d'eau plus importante (Felli et al. 2018). En effet, les fibres lient davantage d'eau comparé à l'amidon et aux protéines qui sont les composants principaux des farines (Lineback et Rasper, 1988 ; Noort et al., 2010).

Tableau 23 : Résultats de l'analyse de la capacité de rétention d'eau de la farine de blé, de la farine de maïs et de la farine de drêches de brasserie.

Échantillons	Facteur de rétention d'eau
Farine de maïs	2,08 ± 0,08
Farine de drêches de brasserie 450 µm	4,41 ± 0,26
Farine de drêches de brasserie 750 µm	4,37 ± 0,12
Farine de drêches de brasserie entières	5,70 ± 0,28
Farine de blé blanche	1,70 ± 0,04

2. 2. 9 La capacité de rétention d'huile

Tout comme la rétention d'eau, la formation de la pâte de crackers est influencée par la rétention d'huile. Le tableau 24 reprend les valeurs obtenues des facteurs de rétention d'huile des différentes matières premières analysées.

Naibaho et Korzeniowska (2021) ont également comparé la rétention d'huile des différentes drêches. Les résultats obtenus sont compris entre 1,916 et 2,219 sur des drêches broyées à 385 μm . Avec une valeur de 2,209, les drêches broyées à 450 μm sont comprises dans cette fourchette, et se situent dans la limite supérieure.

Comme pour la rétention d'eau, la rétention d'huile semble être affectée par la taille des particules de drêches. Les drêches entières retiennent plus d'huile que celles broyées à 450 μm . Ceci est démontré par Sangnark & Noomhorm (2003) qui expliquent que plus la taille des particules est petite, plus le facteur de rétention d'huile diminue (Sangnark & Noomhorm ; 2003)

La capacité de rétention d'huile se situe aux alentours de 1,12 pour la farine de blé (Felli et al. 2018).

Pour la farine de maïs, la comparaison des résultats avec la littérature ne peut pas être réalisée, car aucune valeur n'a été retrouvée.

Tout comme pour la capacité de rétention d'eau, la capacité de rétention d'huile est influencée par les fibres insolubles (Felli et al. 2018). Pour cette raison, il est possible de remarquer une capacité de rétention plus élevée pour la drêche de brasserie par rapport à la farine de maïs ou la farine de blé.

Tableau 24 : Résultats de l'analyse de la capacité de rétention d'huile de la farine de blé, de la farine de maïs et de la farine de drêches de brasserie.

Échantillons	Facteur de rétention d'huile
Farine de maïs	1,70 \pm 0,09
Farine de drêches de brasserie 450 μm	2,209 \pm 0,09
Farine de drêches de brasserie 750 μm	2,45 \pm 0,18
Farine de drêches de brasserie entières	3,77 \pm 0,10
Farine de blé blanche	1,62 \pm 0,03

2. 2. 10 L'analyse microbiologique

Mesurer la charge microbiologique des drêches est indispensable pour les déclarer aptes à la consommation humaine et pour contrôler que le séchage ait été réalisé correctement.

Les bactéries lactiques ont été choisies comme indicateur d'une fermentation potentielle des drêches.³¹ La mesure des bactéries totales ainsi que des levures et des moisissures permet de connaître la charge microbiologique présente dans les drêches humides. Elles permettent aussi de s'assurer qu'aucune contamination n'ait été réalisée durant le séchage.

Tableau 25 : Bactéries lactiques dans les drêches de brasserie humides et sèches.

Bactéries lactiques (ufc)		
Dilutions	Drêches humides	Drêches sèches
10^{-1}	Incomptable	Incomptable
10^{-2}	Incomptable	Incomptable
10^{-3}	67	20
10^{-4}	4	3
10^{-5}	0	0
TOTAL par gramme d'échantillon	60 909,09 ufc/g	18 181,82 ufc/g

Tableau 26 : Bactéries totales mésophiles dans les drêches de brasserie humides et sèches.

Bactéries totales (mésophiles) (ufc)		
Dilutions	Drêches humides	Drêches sèches
10^{-1}	Incomptable	Incomptable
10^{-2}	Incomptable	Incomptable
10^{-3}	207	50
10^{-4}	21	7
10^{-5}	0	0
TOTAL par gramme d'échantillon	207 272,73 ufc/g	51 818,18 ufc/g

³¹ Intérêt des Bactéries Lactiques en Alimentation. (s.d.). Caducee.net. Consulté le 27 juillet 2022, <https://www.caducee.net/Fiches-techniques/eufic/bacteries-lactiques.asp#:~:text=Les%20bact%C3%A9ries%20lactiques%20appartiennent%20%C3%A0,syst%C3%A8me%20digestif%20de%20l'homme>

Tableau 27 : Levures et moisissures dans les drêches de brasserie humides et sèches.

Levures (L) et moisissures (M) (ufc)		
Dilutions	Drêches humides	Drêches sèches
10⁻¹	L : incomptable pour cause de colonies envahissantes M : 0	L : incomptable pour cause de colonies envahissantes M : 1
10⁻²	L : incomptable pour cause de colonies envahissantes M : 0	L : incomptable pour cause de colonies envahissantes M : 0
10⁻³	L : incomptable pour cause de colonies envahissantes M : 0	L : 30 M : 0
10⁻⁴	L : 0 M : 0	L : 6 M : 0
10⁻⁵	L : 0 M : 0	L : 0 M : 0
TOTAL par gramme d'échantillon	L : 0 ufc/g M : 0 ufc/g	L : 32 727,27 ufc/g M : 9,09 ufc/g

Sécher les drêches de brasserie diminue les risques microbiologiques en réduisant le nombre de bactéries mésophiles totales et de bactéries lactiques (tableau 25). Les bonnes pratiques mises en place à l'étape de séchage (hygiène, température des fours, ...) sont donc primordiales pour assurer une diminution de la charge microbiologique.

Pour les levures et les moisissures, les conclusions sont difficiles à tirer, car des colonies envahissantes sont présentes. Leur température d'incubation est de 25 °C, mais comme celle de la pièce était supérieure (30 - 31 °C), cela a pu favoriser excessivement leur croissance.

La drêche sèche peut être assimilée à une farine, vu qu'elle la remplace dans les crackers et les snacks extrudés. Dans ce cas, les germes totaux ne peuvent pas dépasser les 10⁷ ufc/g et les levures et moisissures (ensemble) ne peuvent pas dépasser les 10⁴ ufc/g. La drêche sèche est conforme pour les germes totaux (tableau 26), mais pas pour les levures (tableau 27).³² Pour les drêches humides, aucune valeur dans la législation n'a pu être trouvée, ceci est certainement dû au fait que la drêche humide n'est pas utilisée en tant que telle dans l'alimentation humaine. Évaluer la conformité de l'échantillon est impossible.

En conclusion, le séchage diminue la charge bactérienne concernant les bactéries lactiques et les germes totaux. Cependant, il augmente la charge de levures. Le processus de

³² Guide d'autocontrôle pour les boulangeries et pâtisseries. (18 juin 2013). AFSCA. Consulté le 20 juin 2022, https://www.favv-afsca.be/autocontrôle-fr/guides/distribution/g026/ documents/G-026_V2_FR_18-06-2013.pdf

décongélation n'ayant pas été réalisé de manière optimale, cela peut expliquer la quantité trop élevée de levures. Il est également possible que les drêches humides contiennent une charge de levures et moisissure plus élevée, mais que le comptage n'a pas été possible, vu le nombre de colonies envahissantes.

Dans le cadre de ce travail, la drêche séchée est utilisée pour la fabrication de crackers et de snacks extrudés. La cuisson ainsi qu'une Aw basse, pourraient diminuer la charge de bactéries et levures en rendant ainsi les snacks aptes à la consommation. Ces suppositions sont vérifiées au point 2. 4. 11 de ce chapitre qui évalue l'analyse microbiologique des crackers.

2. 3 L'élaboration des snacks extrudés

Cette partie traite de l'élaboration des formulations permettant d'arriver à un snack extrudé respectant les critères déterminés dans le cahier des charges. Pour calculer ces formulations, les caractéristiques des matières premières ainsi que des références théoriques sont utilisées. L'annexe 8 reprend le détail de chaque formulation qui a été établie.

Les analyses effectuées systématiquement pour chaque formulation sont l'activité de l'eau, la matière sèche, la texture, la couleur, le diamètre, l'épaisseur et la masse.

2. 3. 1 Mise au point des paramètres

Plusieurs paramètres interviennent lors de la fabrication de snacks extrudés. Les paramètres fixes et variables sont déterminés à partir de la littérature et confirmés avec des essais de familiarisation sur l'extrudeuse. Ces pré-tests ont permis de formuler un snack extrudé sans drêches avec des caractéristiques d'expansion et de texture satisfaisantes. Les formulations incorporant de la drêche de brasserie sont établies en prenant comme référence ce snack de base.

Les paramètres fixes :

- Vitesse de vis : 200 rpm
- Température : 150 °C
- Diamètre de la filière : 4 mm
- Rapport eau/amidon : 0,23
- Sel : 1%

Les paramètres variables suivants sont utilisés afin d'étudier leurs impacts sur les propriétés du snack extrudé.

Les paramètres variables :

- Taux d'incorporation des drêches en remplacement de la farine de maïs : 5 à 15 %
- Granulométrie des drêches : entière ou < 750 µm
- Graine de lin : 0 ou 5 %
- Pectine de citron à haut pouvoir de méthylation : 0 ou 1 %
- Ampérage (20 ou 27 A) : dépend de la vitesse du doseur (débit), c'est-à-dire la vitesse de chargement à laquelle le mélange est acheminé dans la partie des vis d'extrusion. Le débit est compris entre 47,7 kg/h et 104,88 kg/h.

Le but est d'incorporer le plus grand taux de drêches possible tout en conservant des propriétés similaires à celles de la formulation de base d'un point de vue de l'expansion, de la texture, etc. L'incorporation de cinq pourcents de graines de lin permet d'atteindre les objectifs fixés en termes d'apport en oméga-3 et la pectine à haut pouvoir de méthylation de l'ordre d'un pourcent permet en théorie d'augmenter l'expansion des snacks extrudés (Ačkar et al. 2018 ; Xie et al., 2021).

De plus, l'augmentation du débit a été testée pour accroître l'expansion par l'intermédiaire d'une pression plus importante au sein de l'extrudeuse.

2. 3. 2 Mise au point des formulations

Les formulations suivantes sont établies pour obtenir systématiquement 15 kg de pâte. À partir de la formulation de référence, une substitution de la farine de maïs par les autres ingrédients secs (drêches, graines de colza, pectine et épices) est réalisée. La quantité d'eau est déterminée en fonction de la teneur en amidon de la pâte, car l'amidon a besoin d'eau pour se gélatiser (Malumba et al., 2011). À partir de la formulation de base, qui montre un bon taux d'expansion, le rapport eau/amidon est fixé à 0,23.

Une analyse de la littérature a permis de déterminer certains paramètres permettant d'atteindre une bonne expansion de snacks extrudés. La teneur en matière grasse de la pâte doit être inférieure à 5 % (Szterk et al., 2015) avec moins de 3 % d'huile ajoutée (Thachil et al., 2013) et l'humidité doit se situer entre 12 % (Stojceska et al., 2009) et 17 % (Baik et al. 2004) (pour un snack à 10 % de drêches de brasserie). Ces valeurs ont servi de base à la formulation des snacks contenant de la drêche de brasserie.

Le tableau 28 reprend toutes les combinaisons de formulation qui ont été réalisées et la figure 83 reprend les résultats de manière visuelle.

Tableau 28 : Les différentes formulations réalisées selon le pourcentage de drêches de brasserie, de pectine, de graines de lin et de l'ampérage (soit le débit).

Ampérage	20 A		27 A		Pectine (%)
Drêche (%)					
0	X	X	X	X	0
	X		X		1
5	X		X		0
					1
10	X		X		0
	X (+ drêches entières)	X	X (+ drêches entières)	X	1
12,5					0
	X	X	X	X	1
15	X		X		0
	X	X	X	X	1
Graines de lin (%)	0	5	0	5	



Figure 83 : Les différents snacks extrudés en entier et avec leur coupe transversale dans l'ordre chronologique.

A l'annexe 8, il est possible de retrouver la formulation de chaque snack.

2. 3. 3 Étude de l'influence de l'incorporation de la drêche de brasserie

L'incorporation de drêches de brasserie provoque une modification des paramètres de texture, de couleur, d'activité de l'eau, de teneur en matière sèche, d'expansion et de densité. L'impact de différents taux d'incorporation de drêche sur ces paramètres est étudié.

Influence du taux de drêches sur la dureté

La texture est un point important, car l'objectif est l'obtention d'un produit qui n'est pas trop dur et qui est autant croustillant qu'un snack sans drêches de brasserie.

L'augmentation du taux de drêches accroît la force de compression et donc la dureté du snack extrudé (Korkerd et al., 2016). Ce processus peut être expliqué par une interaction des protéines avec les fibres contenues dans les drêches provoquant une augmentation de la dureté et un épaissement des parois ainsi qu'une diminution de la formation des bulles de gaz. De plus, une partie de l'eau présente dans la pâte se retrouve piégée par les fibres, ce qui rend son évaporation et donc son expansion plus difficile (Heredia-Sandoval et al., 2020 ; Ačkar et al., 2018 ; Żelaziński et al., 2018 ; Naibaho & Korzeniowska, 2021).

La figure 84 montre la relation de la force de compression (la dureté) en fonction de la teneur en drêches de la préparation. Cette figure confirmerait les informations fournies par la bibliographie.

L'incorporation de 5 % de drêches ne semble pas avoir d'effet sur la dureté. À partir d'un taux d'incorporation de 10 %, la courbe présente une augmentation de cette force de compression. D'autres études ont même démontré qu'ajouter 10 % de drêches n'affecterait pas les propriétés sensorielles du produit (Makowska et al., 2013). En passant d'un snack sans drêches à un snack à 15 % de drêches, la force est pratiquement quadruplée, en passant de 104,1 N à 429,6 N.

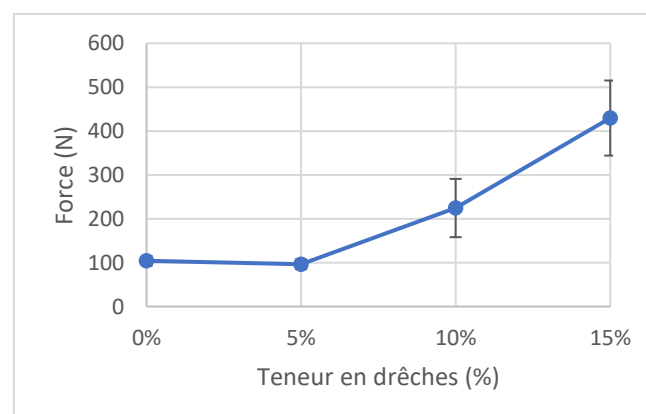


Figure 84 : La force (N) nécessaire (± 2 écarts-types) pour compresser un snack extrudé en fonction de la teneur en drêche à 0 %, 5 %, 10 % et 15 %.

Jusqu'à 5 %, aucun changement de dureté n'a pu être démontré.

Influence du taux de drêches sur la croustillance

La croustillance peut être caractérisée en fonction du nombre de pics obtenu sur le graphique fourni par le texturomètre. Ce paramètre de croustillance est influencé par la porosité du snack (Liu et al. 2019). Comme le montre la figure 85, le nombre de pics diminue en fonction de la teneur en drêches.

Comme pour la dureté, l'incorporation de drêches à 5 %, ne semble pas impacter la croustillance.

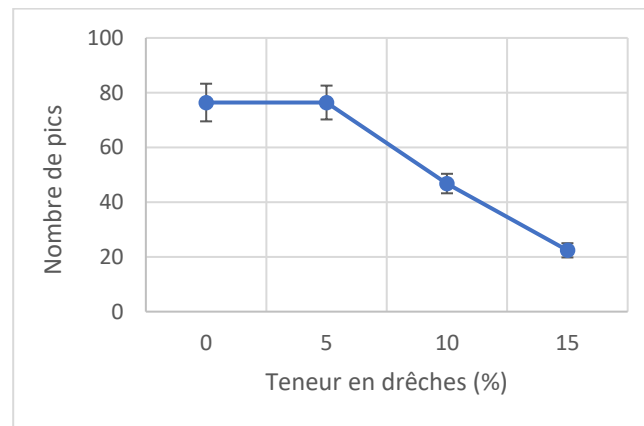


Figure 85 : Le nombre de pics (± 2 écarts-types) en fonction de la teneur en drêche à 0 %, 5 %, 10 % et 15 %.

Un impact négatif de l'incorporation de drêches sur la dureté et sur la croustillance est observé à partir d'un taux de 10 % de drêches. Un taux d'incorporation de 5 % ne présente pas d'impact négatif sur la texture en comparaison avec le snack de base. Ceci est cohérent avec le fait qu'à faible teneur en drêches, les propriétés sensorielles des snacks extrudés ne sont pas affectées (Makowska et al., 2013).

Influence du taux de drêches sur la couleur

La réaction de Maillard donne une couleur foncée aux produits extrudés. En raison du contenu élevé en protéines de la drêche de brasserie, la réaction de Maillard est un processus accentué lors de son extrusion (Rufián-Henares et al., 2007). De plus, la drêche étant de nature plus sombre que la farine de maïs, il est logique d'obtenir un snack extrudé plus foncé lors de son incorporation à celui-ci.

Sur la figure 86, on observe, avec l'incorporation de drêche, une tendance à la diminution de la valeur de luminance L^* (%). Cela signifie que le snack devient plus foncé et moins lumineux.

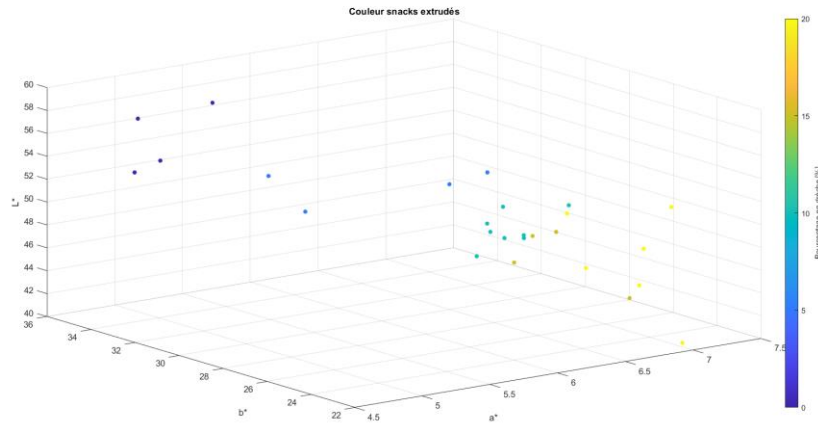


Figure 86 : Couleur des snacks extrudés en fonction du pourcentage de drêche (bleu foncé = 0 %, bleu clair = 5 %, vert = 10 % et jaune = 20 % de drêches).

La figure 87 ci-dessous montrerait une corrélation linéaire négative. Plus le taux de drêches augmente, plus la valeur de L* diminue.

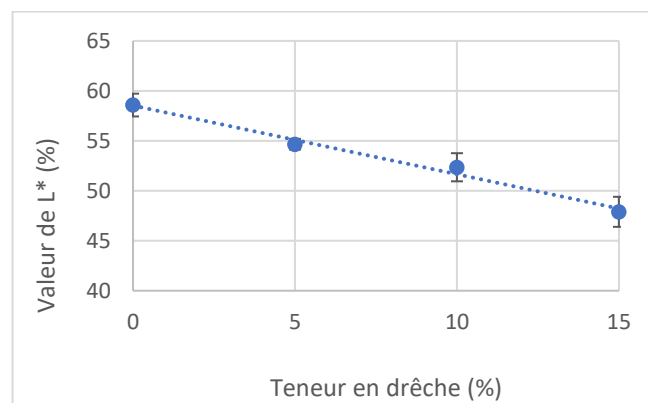


Figure 87 : La valeur de luminance L* (± 2 écarts-types) en fonction de la teneur en drêche à 0 %, 5 %, 10 % et 15 %.

Sur la figure 88, on observe que plus la teneur en drêches du snack est faible, plus le snack serait de couleur jaunâtre (b^* plus élevé) et plus le taux augmente, plus il tendrait vers une couleur bleue. Ce qui signifierait que la valeur de b^* a tendance à diminuer et à s'éloigner du jaune. a^* a tendance à augmenter et tendre vers le rouge. Avec l'ajout de drêches, le snack deviendrait donc plus foncé, moins jaune et plus rouge.

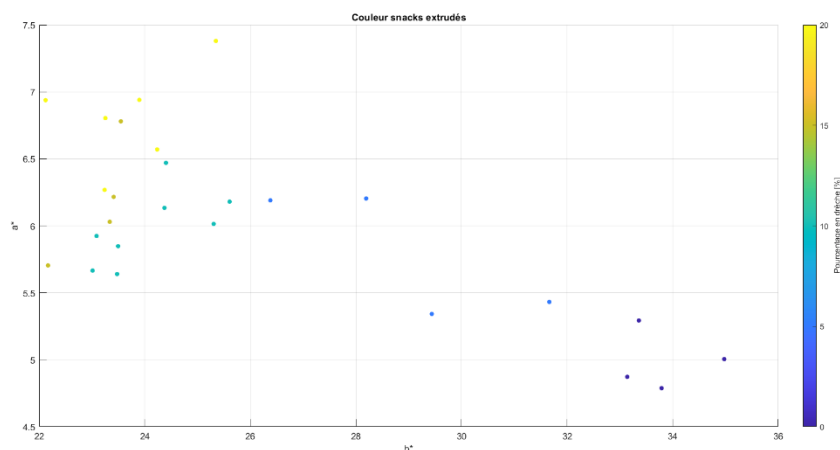


Figure 88 : Couleur des snacks extrudés en fonction du pourcentage de drêches ajoutées (bleu foncé = 0 %, bleu clair = 5 %, vert = 10 % et jaune = à 20 % de drêches).

De faibles quantités de drêches affectent déjà la couleur du snack extrudé. La couleur change en tendant davantage vers une couleur rouge et bleue et elle est surtout plus foncée que le snack extrudé sans drêches.

Influence du taux de drêches sur l'activité de l'eau

L'activité de l'eau joue un rôle primordial dans la conservation du produit. L'Aw doit se situer en dessous de 0,6 pour freiner le développement de microorganisme et entre 0,2 et 0,5 pour limiter les risques d'oxydation (Castaigne, 1993 ; Baldet & Colas, 2012). De plus, l'activité doit rester en dessous de 0,5 pour assurer une bonne croustillance du produit (Hough et al., 2001 ; Arimi et al., 2010).

L'activité de l'eau des snacks extrudés à 0 %, 5 %, 10 % et 15 % de drêches varie entre 0,338 et 0,372, ce qui représente une activité de l'eau idéale pour limiter toutes les dégradations possibles.

Influence du taux de drêches sur la teneur en matière sèche

Sur la figure 89, les variations de matière sèche par rapport à l'incorporation de la drêche de brasserie sont représentées. La matière sèche semble augmenter lors de l'ajout de drêches. Ce résultat pourrait être expliqué par la teneur en humidité de la préparation avant expansion. Celle-ci est calculée en fonction de la teneur en amidon et diminue avec l'ajout de drêches de brasserie. Les valeurs des teneurs en humidité sont de 16 % pour la base, puis de 15,4 % à 5 % de drêches, 14,6 % à 10 % de drêches et à 13,7 % à 15 % de drêches.

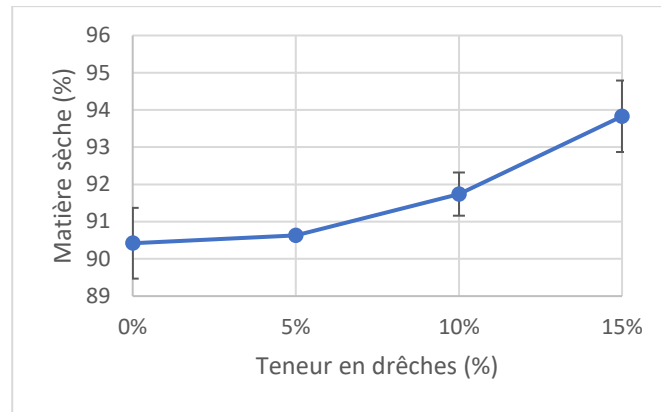


Figure 89 : Graphique de la matière sèche des snacks extrudés (± 2 écarts-types) en fonction de la teneur en drêche à 0 %, 5 %, 10 % et 15 %.

Influence du taux de drêches sur l'expansion

L'ajout de la drêche de brasserie diminue l'expansion, cet effet est lié au contenu élevé en fibres présent dans les drêches (Ainsworth et al., 2007 ; Stojceska et al., 2010). Ces fibres sont majoritairement insolubles et lient une quantité plus élevée d'eau par rapport à l'amidon. Cette eau ne peut donc ni s'évaporer ni expandre le snack (Ačkar et al., 2018). Ces fibres sont la cause d'une réduction de la taille des alvéoles ainsi que de leur cassure par une rupture prématurée des cellules gazeuses (Robin et al., 2012 ; Yanniotis et al., 2007). Les cellules produites sont plus petites avec des parois cellulaires plus épaisses (Mendonça et al., 2000).

La figure 90 montre le pourcentage d'expansion obtenue en fonction du taux d'incorporation des drêches. Entre 5 % et 15 %, le pourcentage d'expansion semble diminuer de moitié, passant de $241,8 \pm 15,8$ % à $118,0 \pm 6,6$ %. En revanche, entre 0 et 5 % de drêche, on obtient des valeurs d'expansion proches. L'incorporation jusqu'à une valeur de 5 % de drêches de brasserie n'impacterait pas l'expansion du snack.

Ici, comme pour les valeurs de la texture, on peut donc remarquer qu'un ajout de 5 % de drêches ne modifierait pas les propriétés du snack extrudé.

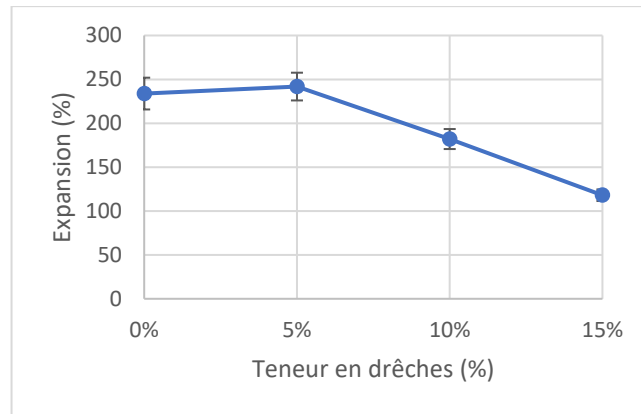


Figure 90 : Pourcentage d'expansion (± 2 écarts-types) en fonction de la teneur en drêches à 0 %, 5 %, 10 % et 15 %.

La figure 91 ci-dessous reprend une photo d'une coupe transversale des snacks extrudés. Une diminution de l'expansion peut être observée à l'œil nu lors de l'incorporation de 10 % et 15 % de drêches.



Figure 91 : Coupe transversale des snacks extrudés avec différents taux d'incorporation de drêches à 0 %, 5 %, 10 % et 15 % (de gauche à droite).

Influence du taux de drêches sur la densité apparente

Le consommateur attend d'un snack extrudé qu'il ait une densité faible (Kasprzak et al., 2013). Cependant, en ajoutant un produit riche en fibres comme la drêche de brasserie à un snack extrudé, celle-ci augmente (Korkerd et al., 2016).

Le graphique 92 ci-dessous reprend la densité apparente (g/dm^3) en fonction du taux d'incorporation de drêches, calculé par la méthode du berlin. Comme une seule analyse a été réalisée, elle ne possède pas de valeur d'écart-type.

Plus le taux de drêches augmente, plus la densité semble augmenter. Ceci s'observe surtout à un taux d'incorporation de 15 % où la densité apparente est 3,1 fois plus élevée que pour le snack sans drêche. Comme pour les autres analyses, un taux de drêche de 5 % n'affecterait pas la densité apparente du snack extrudé.

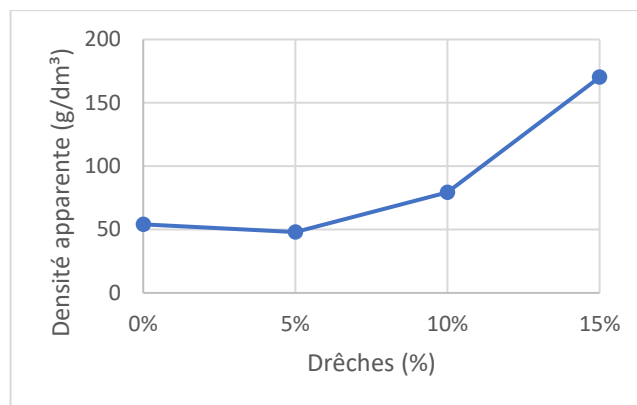


Figure 92 : La densité apparente en fonction de la teneur en drêches à 0 %, 5 %, 10 % et 15 % par la méthode du berlin.

En comparant la courbe d'expansion et la courbe de densité apparente, on observe une relation inversement proportionnelle entre les deux paramètres (figure 93), et ce, pour n'importe quelle formulation de snacks. Moins l'expansion du snack est importante, plus sa densité augmente. La densité apparente des snacks reste assez similaire et inférieure à 100 g/dm³ tant que le pourcentage d'expansion se trouve au-dessus de 150 %. À partir du moment où l'expansion se situe en dessous de cette valeur, la densité apparente semble augmenter.

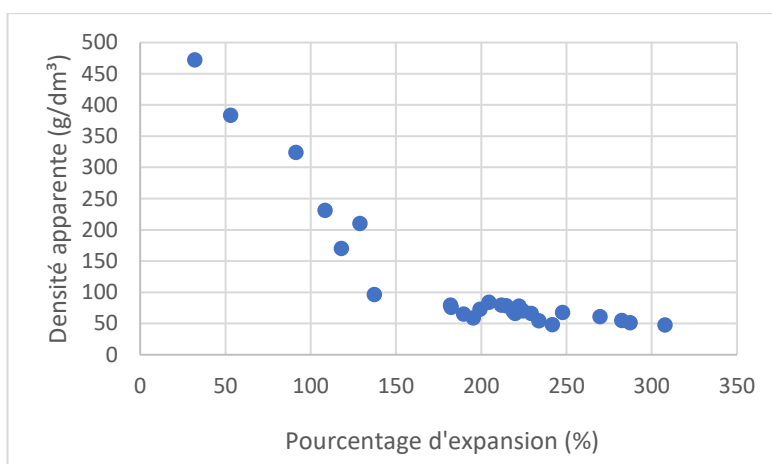


Figure 93 : Densité apparente (g/dm³) par rapport au pourcentage d'expansion des snacks extrudés.

Conclusion

En conclusion, la substitution du maïs par la drêche de brasserie, moins riche en amidon et plus riche en fibres et en protéines, ne semble pas avoir d'impact jusqu'à 5 % d'incorporation sauf sur la couleur. À partir de 10 % de substitution, la dureté et la densité sont augmentées, tandis que l'expansion et la croustillance sont diminuées. Ces résultats paraissent cohérents avec l'étude de Makowska et al. (2013) qui affirme que l'ajout de drêches de brasserie jusqu'à un certain seuil ne semble pas affecter les propriétés sensorielles du produit (Makowska et al., 2013).

2. 3. 4 Étude de l'influence de l'incorporation de la pectine

Une solution a été envisagée pour contrebalancer la diminution de l'expansion et de la croustillance, ainsi que l'augmentation de la dureté et de la densité observées lors de l'incorporation de la drêche de brasserie aux snacks extrudés. Cette solution consiste à ajouter 1 % de pectine à la formulation des snacks extrudés (Ačkar et al., 2018 ; Yanniotis et al., 2007 ; Xie et al., 2021).

Influence de la pectine sur la dureté

Dans la figure 94, on observe que l'ajout de 1 % de pectine diminue la force de compression d'environ 50 %. À 0 % de drêche, la force diminue de 44,3 %, allant de 104,1 N à 58,0 N, à 10 % la force diminue de 56,8 % allant de 224,6 N à 127,6 N et à 15 %, la diminution est de 50,0 %, allant de 429,5 N à 214,6 N.

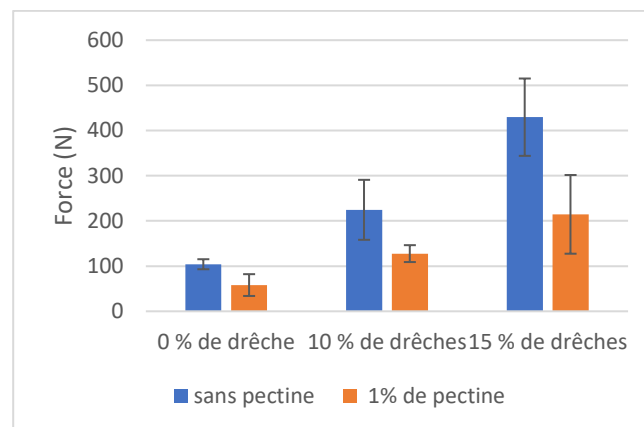


Figure 94 : Influence de la dureté (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 1 % de pectine sur des snacks à 0 %, 10 % et 15 % de drêches de brasserie.

Influence de la pectine sur la croustillance

La pectine diminuerait la cassure et stabiliserait les membranes cellulaires, ce qui les rendrait plus extensibles et augmenterait donc la porosité des snacks extrudés. Ils deviendraient alors plus croustillants (Yanniotis et al., 2007).

Comme le montre la figure 95, l'ajout de 1 % de pectine permet d'augmenter le nombre de pics et ainsi la croustillance des snacks. Le nombre de pics est 1,5 fois plus élevé pour les snacks sans drêches et 2 fois plus élevé à 15 % de drêches. Aucune hypothèse n'a été trouvée pour expliquer l'absence de différence concernant les snacks à 10 % de drêches.

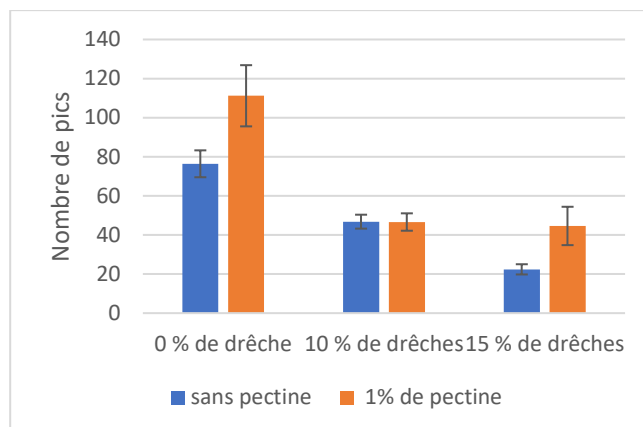


Figure 95 : Influence du nombre de pics (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 1 % de pectine sur des snacks à 0 %, 10 % et 15 % de drêches de brasserie.

Influence de la pectine sur l'activité de l'eau

L'influence de la pectine a été étudiée sur trois taux d'incorporation de drêches : 0 %, 10 % et 15 %. L'activité de l'eau est correcte pour tous les échantillons et ne semble diminuer qu'avec 10 % de drêches. Aucune information n'a été trouvée dans la littérature pour expliquer ces résultats.

Influence de la pectine sur l'expansion

La pectine exerce une influence sur la gélatinisation et donc l'expansion des snacks extrudés. La pectine utilisée est une pectine à haut pouvoir de méthylation. Celle-ci, ayant un caractère plutôt hydrophobe, permet d'entourer les molécules d'amylose. Elles perdent ainsi moins de vapeur d'eau durant le processus d'extrusion ce qui améliore donc l'expansion (Xie et al., 2021). Cette augmentation d'expansion est montrée à la figure 96.

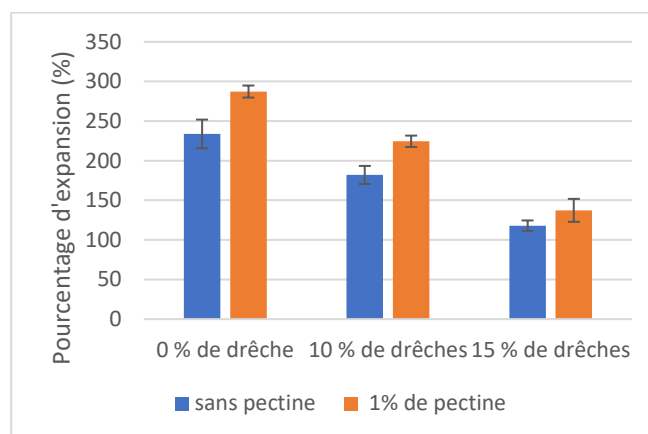


Figure 96 : Influence du pourcentage d'expansion (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 1 % de pectine sur des snacks à 0 %, 10 % et 15 % de drêches de brasserie.

Influence de la pectine sur la densité apparente

Le graphique 97, ci-dessous, reprend la densité apparente (g/dm³) en fonction du taux d'incorporation de drêches, calculée par la méthode du berlin. La densité diminue surtout à 15 % d'incorporation de drêches. Pour le snack sans drêches, la différence de densité semble être faible.

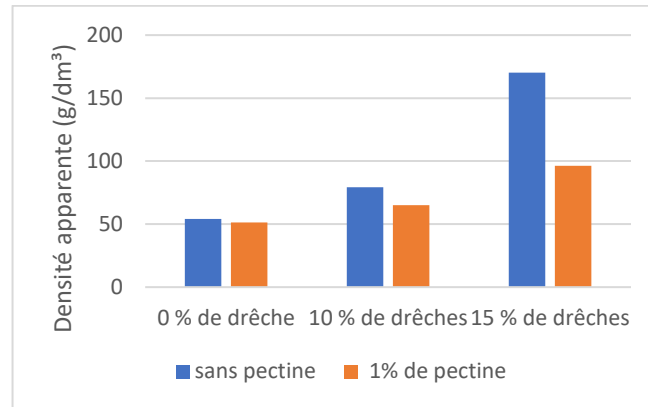


Figure 97 : Influence de la densité apparente (g/dm³) en fonction de l'incorporation de 1 % de pectine sur des snacks à 0 %, 10 % et 15 % de drêches de brasserie.

Conclusion

L'ajout d'un pourcent de pectine aux formulations des snacks extrudés semble améliorer la dureté, la croustillance et l'expansion des snacks avec et sans drêches de brasserie. Pour la densité apparente, elle semble être améliorée uniquement pour les snacks avec incorporation de drêches. La réalisation de plusieurs mesures aurait permis de définir les écarts-types et ainsi de tirer des conclusions plus pertinentes pour les différentes formulations. L'amélioration des paramètres semble être plus marquée à 15 % de drêches.

Les résultats pour la formulation à 15 % de drêches et 1 % de pectine avec un taux d'expansion de $2,45 \pm 0,01$ et une densité apparente de $0,16 \text{ g/cm}^3$, sont concordants à ceux retrouvés dans l'étude de Ačkar et al., qui ont obtenu un taux d'expansion de $2,37 \pm 0,15$ et une densité apparente de $0,17 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ (Ačkar et al., 2018).

2. 3. 5 Étude de l'influence de l'incorporation de graines de lin

Avec une incorporation de 5 % de graines de lin, les objectifs en termes d'apport en oméga-3 sont atteints. Une étude montre que moins d'un pourcent d'ALA de l'huile de lin est détruit durant le processus d'extrusion (Imran et al., 2013 ; Szterk et al., 2015). Une formulation avec un ajout de 5 % de lin a été testée sur le snack de référence à base de maïs.

Les graines de lin contiennent de 10 à 31 % de protéines, 20 % de fibres insolubles et 9 % de fibres solubles (Shim et al., 2014). À cause de leur composition, l'ajout des graines de lin peut potentiellement influencer les paramètres de texture, d'expansion et de densité comme le font les drêches de brasserie.

Influence des graines de lin sur la dureté

La dureté du snack ne semble pas être augmentée avec l'ajout des graines de lin comme le montre la figure 98. Cependant, l'écart-type a augmenté sans raison apparente. Les autres formulations ne sont pas reprises ici, car un pourcent de pectine a été ajouté. Les cumulés sont de la pectine et des graines de lin sont montrés au point suivant.

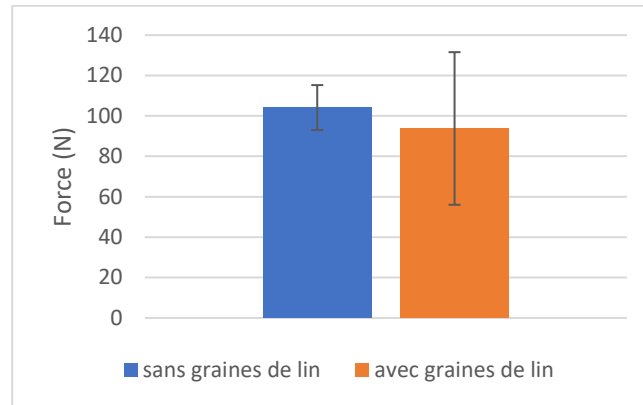


Figure 98 : Influence de la dureté (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 5 % de graines de lin sur la formulation de base.

Influence des graines de lin sur la croustillance

Le nombre de pics ne semble pas varier entre les snacks extrudés sans graines de lin et ceux avec un ajout de 5 % de graines de lin. En prenant en compte les écarts-types, comme le montre la figure 99, le snack avec graines de lin compte en moyenne 4 pics de plus que le snack sans graines.

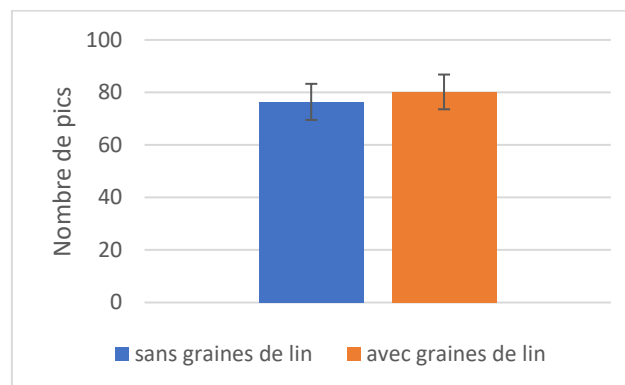


Figure 99 : Influence du nombre de pics (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 5 % de graines de lin sur la formulation de base.

Influence des graines de lin sur l'expansion

En théorie, l'expansion se voit diminuée à partir d'un ajout de 3 % de lipides (Thachil et al., 2013). Comme le montre la figure 100 et en tenant compte des écarts-types, le snack extrudé avec un ajout de 5 % de graines de lin semble être légèrement plus expansé que le snack sans graines de lin. Le pourcentage de lipides ajouté se situe en dessous des 3 % lors d'un ajout de

5 % de graines de lin. Cela peut ainsi expliquer qu'aucun effet négatif sur l'expansion n'a pu être constaté.

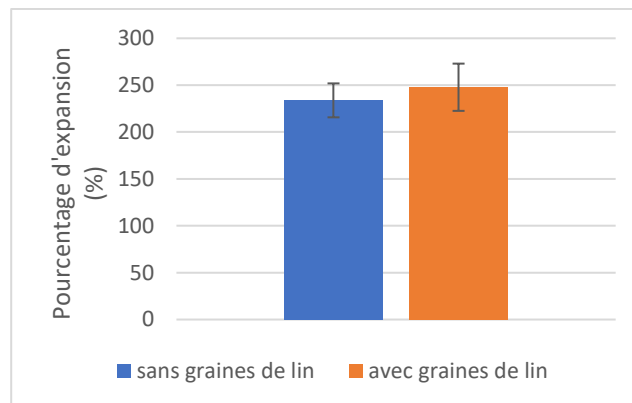


Figure 100 : Influence du pourcentage d'expansion (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 5 % de graines de lin sur la formulation de base.

Influence des graines de lin sur la densité apparente

Le graphique 101 reprend la densité apparente (g/dm^3) en fonction de l'incorporation de 5 % de graines de lin calculée par la méthode du berlin. L'augmentation de la densité s'explique par la formation d'un complexe amylose-lipide qui accroît l'épaisseur des membranes et rend ainsi le produit plus dense (Thachil et al., 2013). Les résultats sont en accord avec cette étude et semblent montrer une augmentation de la densité lors de 5 % d'incorporation de graines de lin.

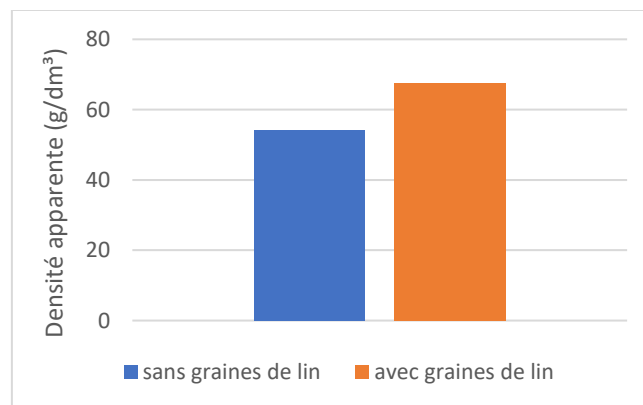


Figure 101 : La densité apparente en fonction de l'ajout de graines de lin de l'ordre de 5 % par la méthode du berlin.

Comme montre la figure 102, visuellement l'expansion est semblable et les parois du snack avec graines de lin paraissent légèrement épaissies. À gauche se trouve le snack sans ajout des graines de lin et à droite le snack avec un ajout de 5 % de graines de lin.



Figure 102 : Coupe transversale des snacks extrudés en comparant l'impact de l'ajout des graines de lin.

Conclusion

En conclusion, l'ajout de 5 % de graines de lin ne semble pas exercer une grande influence sur les différents paramètres de l'extrusion. A l'exception de la densité, une légère amélioration des paramètres analysés peut être constatée. Celle-ci se voit augmentée, ce qui est sûrement due à un épaississement des parois du snack.

Des effets négatifs pourraient certainement s'observer à des taux d'incorporation plus élevés de graines de lin, comme c'est le cas pour la drêche de brasserie. Cependant cela ne rentre pas dans les objectifs déterminer pour ce travail.

2. 3. 6 Étude de l'influence des graines de lin et de la pectine en plus des drêches de brasserie

Concernant le snack final, les graines de lin et la pectine sont ajoutées simultanément. Cette partie reprend l'analyse de l'influence de ces deux ingrédients en plus des drêches de brasserie. Cependant aucune source dans la littérature parlant des effets de la pectine et des graines de lin sur des snacks avec incorporation de drêches de brasserie n'a pu être trouvée. Il n'est, par conséquent, pas possible comparer les résultats obtenus.

Pour observer cette influence, la dureté, la croustillance, l'expansion et la densité sont étudiées sur des snacks avec des taux d'incorporation de 10 %, 12,5 % et 15 % de drêches, 1 % de pectine et 5 % de graines de lin. Le snack à 12,5 % de drêches n'a pas été formulé sans pectine et ne pourra donc pas être comparé à une formulation sans graines de lin et sans pectine.

Influence de la pectine et des graines de lin sur la dureté

Pour la dureté, un phénomène intéressant est observé. À un taux d'incorporation de 10 % de drêches, l'ajout de pectine et de graines de lin diminue la dureté de presque la moitié. Au contraire, à 15 % d'incorporation, la dureté est augmentée. Ici, elle atteint la limite de détection du texturomètre, ce qui a interrompu la mesure. La dureté réelle du snack est donc supérieure à la valeur obtenue de 600 N. Pour le snack à 12,5 % de drêches, l'ajout des graines de lin en plus de la pectine ne semble pas avoir un impact (figure 103).

L'hypothèse serait que le taux de fibres et de protéines dans la formulation devient trop important à partir de 15 % de drêches et 5 % de graines de lin. La pectine n'arrivant plus à contrebalancer leurs effets sur la dureté.

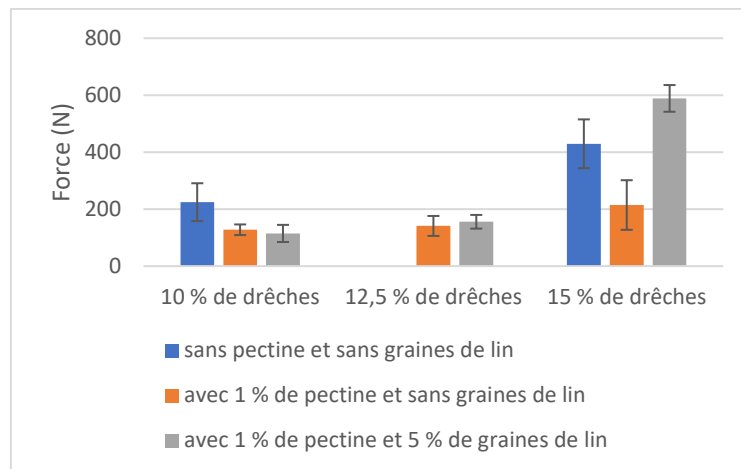


Figure 103 : Influence de la dureté (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 5 % de graines de lin et 1 % de pectine sur une formulation de snacks extrudés avec 10 %, 12,5 % et 15 % de drêches de brasserie.

Influence de la pectine et des graines de lin sur la croustillance

Comme le montre la figure 104, pour la formulation avec pectine et graines de lin, une diminution du nombre de pics à 10 % de drêches peut être observée par rapport aux deux autres formulations (sans pectine ni graine de lin et avec pectine, mais sans graine de lin). Cependant l'écart-type est très élevé. La formulation à 12,5 % de drêches voit ses pics légèrement diminuer, mais vu l'écart-type élevé, ceci n'est pas clairement démontré.

Pour la formulation à 15 % de drêches, aucune diminution du nombre de pics n'est observée par rapport à la formulation sans pectine et sans graines de lin. Ceci peut s'expliquer par un nombre de pics déjà très bas au départ. Néanmoins, 1 % de pectine sans ajout de graines de lin permettait presque de doubler le nombre de pics.

On peut émettre l'hypothèse que l'ajout des graines de lin diminue l'effet de la pectine. Mais les raisons peuvent être multiples (un taux trop élevé en fibres, en protéines, ou en lipides). Aucune explication n'a pu être trouvée dans la littérature.

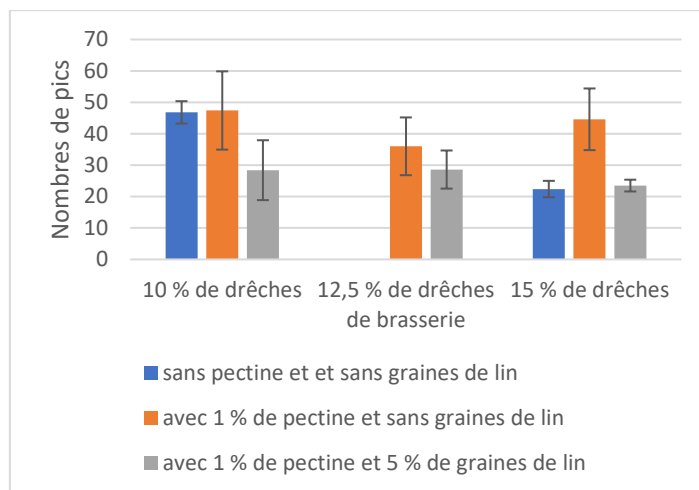


Figure 104 : Influence du nombre de pics (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 5 % de graines de lin et 1 % de pectine sur une formulation de snacks extrudés avec 10 %, 12,5 % et 15 % de drêches de brasserie.

Influence de la pectine et des graines de lin sur l'expansion

L'expansion semble être améliorée par l'ajout de graines de lin pour la formulation à 12,5 % de drêches de brasserie. Elle ne semble pas varier pour une formulation à 10 % de drêches et semble diminuer pour la formulation à 15 % de drêches de brasserie (figure 105).

L'explication peut venir du fait que la formulation devient trop riche en protéines et en fibres pour que la pectine puisse avoir un effet positif sur l'expansion à 15 % d'incorporation de drêches. D'autant plus que l'effet positif de la pectine sur l'expansion n'était déjà pas très marqué sans l'ajout des graines de lin.

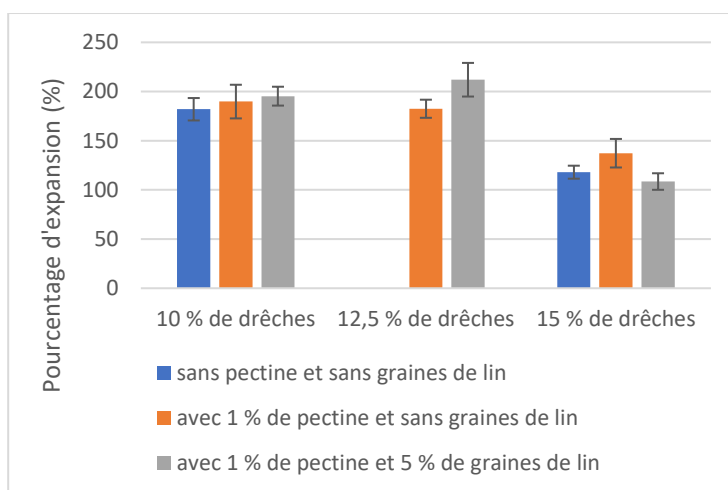


Figure 105 : Influence du pourcentage d'expansion (± 2 écarts-types) en fonction de l'incorporation de 5 % de graines de lin et 1 % de pectine sur une formulation de snacks extrudés avec 10 %, 12,5 % et 15 % de drêches de brasserie.

Influence de la pectine et des graines de lin sur la densité apparente

La figure 106 semble montrer que le snack extrudé à 10 % de drêches de brasserie voit sa densité apparente (g/dm^3) diminuer avec l'ajout des graines de lin et de pectine, alors que celui à 15 % de drêches voit sa densité apparente augmenter. Précédemment, cette formulation était bien améliorée par l'ajout d'un pourcent de pectine, mais cet effet disparaît avec l'ajout des graines de lin. La formulation à 12,5 % de drêches est peu influencée par l'ajout de graines de lin et sa densité apparente n'augmente que légèrement.

L'ajout des graines de lin a probablement un effet sur la densité apparente, parce que le snack à 15 % de drêches et 1 % de pectine sans graines de lin avait une densité apparente plus faible. Ce phénomène observé est peut-être dû au fait que le complexe amylose-lipide augmente l'épaisseur des membranes rendant ainsi le produit plus dense (Thachil et al., 2013).

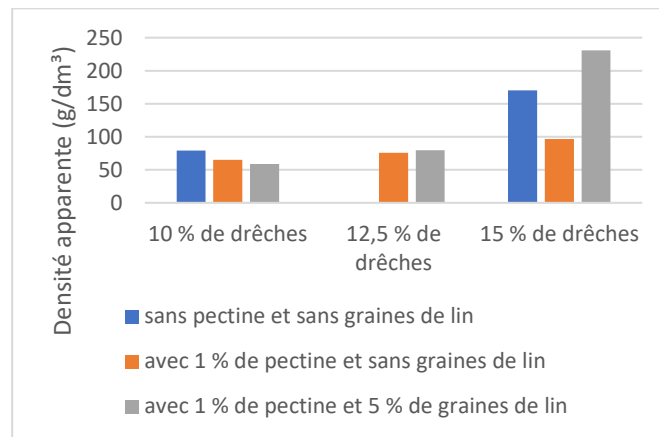


Figure 106 : Influence de la densité apparente en fonction de l'incorporation de 5 % de graines de lin et 1 % de pectine sur une formulation de snacks extrudés avec 10 %, 12,5 % et 15 % de drêches de brasserie.

Conclusion

À un taux d'incorporation de 10 % de drêches avec de la pectine et des graines de lin, une diminution de la dureté et de la densité est observée ainsi qu'une augmentation de l'expansion par rapport au snack extrudé sans graines de lin ni pectine. Cependant, la croustillance se voit réduite. Le snack à 12,5 % de drêches avec de la pectine et des graines de lin est peu influencé par l'ajout des graines de lin. Pour un taux d'incorporation de 15 % de drêches l'expansion est diminuée et la densité et la dureté sont augmentées.

Produire un snack extrudé avec 5 % de graines de lin et 1 % de pectine possédant des propriétés sensorielles acceptables est possible. Néanmoins, cela est réalisable uniquement jusqu'à un certain seuil d'incorporation de drêches de brasserie. Celui-ci semble être atteint par le snack à 12,5 % d'incorporation de drêches.

2. 3. 7 Étude de l'influence du débit

En dernier lieu, l'influence du débit a été analysée. Dans la littérature, aucun article traitant l'influence du débit sur les propriétés d'un snack extrudé n'a été trouvé. Cependant, le débit a été réglé pour obtenir un ampérage de la machine à 20 A et à 27 A. En augmentant l'extrudeuse à 27 ampères, l'objectif était d'augmenter la pression au sein de celle-ci et ainsi d'améliorer l'expansion du produit à sa sortie.

Influence du débit sur l'expansion

Avec un débit plus élevé, l'expansion semble augmenter pour les formulations sans drêches et à 10 % de drêches et diminuer pour la formulation à 15 % de drêches. Pour la formulation à 5 % de drêches, il n'est pas possible d'affirmer que l'expansion est réellement diminuée avec un débit plus élevé, vu que l'écart-type est élevé (figure 107).

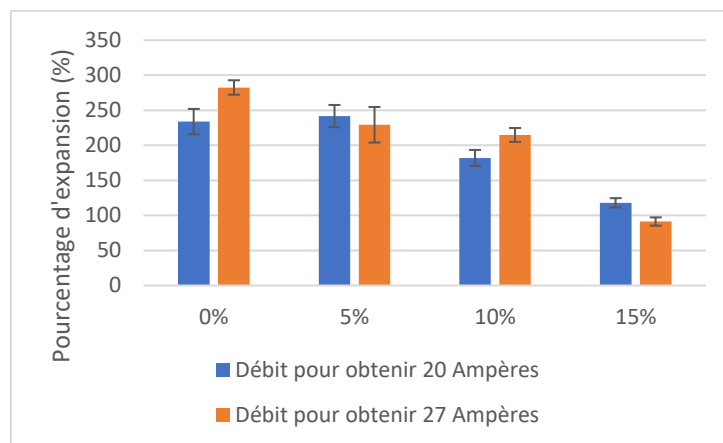


Figure 107 : Influence du pourcentage d'expansion (± 2 écarts-types) en fonction du débit pour les formulations à 0 %, 5 %, 10 % et 15 % de drêches.

En comparant des formulations avec des pourcentages croissant en drêches, 1 % de pectine et 5 % de graines de lin, il est possible d'observer que le pourcentage d'expansion diminue à partir de 12,5 % de drêches lorsque le débit est augmenté (figure 108). À 10 % cependant, l'expansion est plus importante quand le débit augmente.

Dans la littérature, aucune explication claire n'a pu être trouvée. L'hypothèse la plus probable est que l'augmentation en protéines, fibres et lipides interagissent avec l'amidon en se complexant ou en l'entourant (Merayo et al., 2011 ; Xie et al., 2021). Ce phénomène pourrait être amplifié à haute pression et être responsable du manque de gélatinisation et d'expansion de l'amidon.

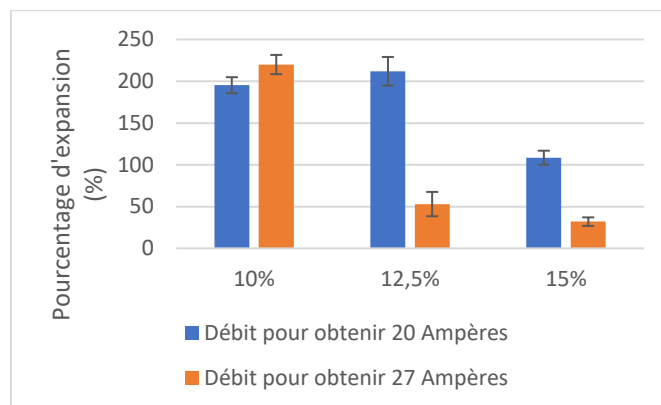


Figure 108 : Influence du pourcentage d'expansion (± 2 écarts-types) en fonction de l'augmentation du débit sur des formulations avec un pourcentage de drêches croissant (10 %, 12,5 % et 15%) avec 1 % de pectine et 5 % de graines de lin.

Concernant la dureté, elle augmente autant qu'elle rend les snacks à 12,5 % et 15 % de drêches avec pectine et graines de lin non consommables. Leur force nécessaire à la compression dépasse les 600 N et donc la capacité d'analyse du texturomètre.

Conclusion

Le but étant d'atteindre le taux de drêches le plus élevé possible tout en ajoutant 5 % de graines de lin. Il n'est pas conseillé d'augmenter le débit de l'extrudeuse, car cela diminue l'expansion des snacks extrudés les rendant trop durs et inconsommables.

2. 3. 8 Études de l'influence de la taille des drêches de brasserie

La taille des fibres peut également impacter le pourcentage d'expansion du snack extrudé. Plus la fibre est grande, moins l'expansion est importante. En effet, lorsque la taille des fibres est plus grande, les alvéoles cassent plus rapidement, ce qui diminue l'expansion des snacks extrudés (Lue et al., 1991). Les formulations comparées ici sont des formulations à 10 % de drêches et 1 % de pectine. La seule différence étant la taille de la drêche (entière et inférieure à 750 μm). L'objectif étant de voir si l'étape de broyage peut être évitée.

Influence de la taille des drêches sur l'expansion

La formulation avec la drêche broyée a une taille inférieure à 750 μm semble présenter un pourcentage d'expansion inférieur à celle avec la drêche entière, même si la différence est faible (figure 109). Les résultats ne correspondent donc pas à ceux trouvés dans la littérature.

Comparer ces résultats avec ceux utilisant une drêche micronisée aurait peut-être montré une différence, mais cela n'est pas le sujet de ce travail. Dans ce cas-ci, les drêches broyées à une taille inférieure à 750 μm semblent plus adaptées pour la suite du travail malgré une meilleure expansion avec les drêches entières. L'extrudeuse a été totalement obstruée durant l'expérimentation et l'hypothèse la plus probable est que les drêches entières soient à l'origine du problème, car c'est le seul facteur qui a varié.

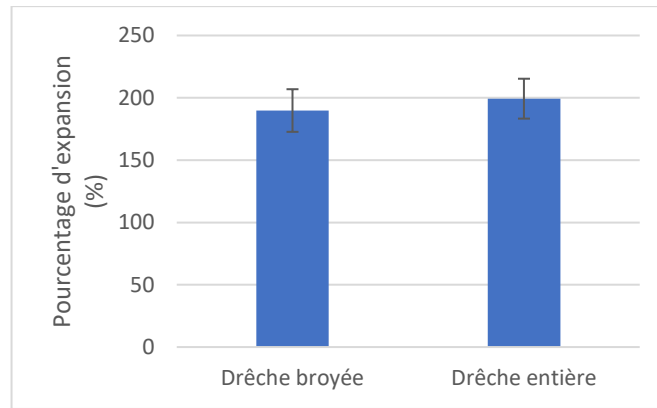


Figure 109 : Influence du pourcentage d'expansion (± 2 écarts-types) en fonction de la taille de la drêche (entière ou broyée à $< 750 \mu\text{m}$) pour une formulation à 10 % de drêches.

2. 3. 9 Formulation finale du snack extrudé

Le snack final doit contenir le taux le plus élevé possible en drêches de brasserie en gardant de bonnes caractéristiques (de dureté, de croustillance, d'expansion et de densité). De plus, l'ajout de 5 % de graines de lin est un paramètre qui doit rester fixe dans notre formulation finale. Cela permet d'atteindre le taux nécessaire à l'obtention de l'allégation nutritionnelle « source d'oméga-3 ».

Les résultats montrent que les snacks contenant des drêches entières qui sont produits à plus haut débit sont moins expansés et plus durs. Pour cette raison, le débit n'a pas été augmenté et la drêche est broyée à une taille inférieure à $750 \mu\text{m}$.

Le snack final contient également 1 % de pectine, car elle permet de contrebalancer la teneur importante en fibres qui perturbe le phénomène d'expansion. La pectine permet donc d'augmenter l'expansion et de diminuer la dureté du snack, mais seulement jusqu'à un certain seuil de drêches de brasserie. Pour obtenir des caractéristiques satisfaisantes, ce seuil de drêches a été fixé à 12,5 %.

L'importance du choix de la pectine est primordiale et cela a été montré durant l'expérience par l'utilisation d'une autre pectine, d'apparence similaire, mais vraisemblablement différente à la vue des résultats obtenus après son utilisation. L'absence de numéro de lot n'a pas permis d'identifier quel type de pectine a été utilisé. La première pectine n'ayant pas pu être recommandée, la fin de la mise au point des snacks extrudés en a été affectée, car il n'a pas été possible de faire des nouveaux snacks avec la formulation finale pour les tests de vieillissement.

2. 3. 10 Tableau résumé des snacks extrudés réalisés

Taux de drêche (%)	Taux de grain e de lin (%)	Taux de pectine (%)	Ampé- rage (A)	Aw	Matière sèche (%)	Pourcentage d'expansion	Densité apparente (berlin) (g/dm ³)	Force moyenne (N)	Nombre de pics (threshold 0,3 N)
0	0	0	20	0,372 ± 0,003	90,42 ± 0,95	233,8 ± 18,1	54,1578	104,138 ± 11,120	76,4 ± 6,877
0	0	0	27	0,396 ± 0,003	91,20 ± 0,55	282,5 ± 10,3	54,7146	112,27 ± 17,498	85,0 ± 11,023
0	0	1	27	0,358 ± 0,006	91,74 ± 0,10	307,8 ± 19,7	47,2894	50,788 ± 10,312	103,0 ± 11,023
0	0	1	20	0,364 ± 0,013	91,20 ± 0,59	287,3 ± 7,6	51,2198	58,04 ± 24,126	111,2 ± 15,659
0	5	0	27	0,363 ± 0,072	91,05 ± 0,31	269,8 ± 12,9	61,0016	96,88 ± 22,276	88,2 ± 15,498
0	5	0	20	0,359 ± 0,006	92,64 ± 0,04	247,8 ± 25,2	67,4648	93,798 ± 37,776	80,2 ± 6,611
5	0	0	20	0,338 ± 0,006	90,63 ± 0,06	241,8 ± 15,8	48,0196	96,445 ± 11,108	61,2 ± 6,181
5	0	0	27	0,360 ± 0,006	91,02 ± 0,81	229,3 ± 25,4	66,0614	104,114 ± 53,144	68,2 ± 17,456
10	0	0	20	0,352 ± 0,000	91,74 ± 0,58	182,0 ± 11,4	79,2386	224,56 ± 66,358	46,8 ± 3,564
10	0	0	27	0,360 ± 0,001	91,77 ± 0,17	214,8 ± 9,9	78,51	205, 338 ± 18,302	43,2 ± 5,762
10	0	1	20	0,290 ± 0,008	91,58 ± 0,08	189,8 ± 17,1	65,0678	127,645 ± 18,682	47,4 ± 12,462
10	0	1	27	0,308 ± 0,000	92,33 ± 0,57	224,5 ± 7,2	70,1236	150,518 ± 18,034	46,6 ± 4,450
10 (entière)	0	1	20	0,342 ± 0,001	92,48 ± 0,11	199,3 ± 16,0	72,6092	120,087 ± 15,480	43,6 ± 4,037
10 (entière)	0	1	27	0,325 ± 0,003	92,46 ± 0,04	218,8 ± 6,3	68,8332	142,53 ± 29,148	49,0 ± 6,442
10	5	1	20	0,312 ± 0,006	91,30 ± 0,52	195,3 ± 9,6	58,7194	114,751 ± 30,126	28,4 ± 9,529

10	5	1	27	0,282 ± 0,006	93,49 ± 0,18	220,0 ± 11,5	66,2042	147,612 ± 19,844	29,8 ± 2,588
12,5	0	1	20	0,345 ± 0,004	93,42 ± 1,47	182,5 ± 9,2	75,7712	141,148 ± 35,024	36,0 ± 9,192
12,5	0	1	27	0,305 ± 0,004	94,29 ± 1,36	204,5 ± 4,1	84,141	165,45 ± 25,666	34,0 ± 4,472
12,5	5	1	20	0,288 ± 0,008	94,39 ± 0,42	212,0 ± 17,1	79,3772	155,754 ± 24,052	28,6 ± 6,066
12,5	5	1	27	0,323 ± 0,007	93,39 ± 1,34	53,0 ± 14,6	383,2728	598,366 ± 0,118 (limite de la machine)	/
12,5*	5	1	20	0,371 ± 0,0017	93,05 ± 0,03	99,3 ± 6,7	112,3746	228,376 ± 43,658	21,8 ± 4,658
15	0	0	20	0,366 ± 0,003	93,83 ± 0,96	118,0 ± 6,6	170,2036	429,598 ± 85,56	22,4 ± 2,608
15	0	0	27	0,384 ± 0,041	92,51 ± 0,17	91,3 ± 5,9	323,9644	598,398 ± 0,004	7,7 ± 3,786
15	0	1	20	0,353 ± 0,018	92,52 ± 0,01	137,3 ± 14,5	96,3554	214,547 ± 87,104	44,6 ± 9,813
15	0	1	27	0,315 ± 0,013	93,56 ± 0,08	222,3 ± 7,0	77,865	162,752 ± 42,914	27,0 ± 4,848
15	5	1	20	0,336 ± 0,006	93,19 ± 1,13	108,5 ± 8,4	230,8054	588,825 ± 46,894	23,5 ± 1,871
15	5	1	27	0,306 ± 0,001	94,00 ± 1,06	32,0 ± 5,1	472,208	598,37 ± 0,044 (Limite de la machine)	27,0 ± 5,244

*Plus 1 % paprika, 0,5 % oignon, 0,25 % d'ail

2. 3. 11 L'enrobage du snack extrudé final

La satisfaction étant un des points du cahier des charges, le snack extrudé doit avoir un goût appréciable afin de plaire aux consommateurs. L'incorporation d'épices dans la préparation pourrait influencer l'expansion et donc la texture. Pour cette raison, il a été choisi d'enrober le snack pour lui apporter de la saveur, surtout que l'étude marketing montre, que la population juge la saveur comme étant la priorité des snacks extrudés suivi par la texture croustillante.

L'enrobage est un modèle simplifié qui n'a pas été optimisé.

La formulation de l'enrobage a été réalisée en incorporant différents taux d'épices.

Pour 100 g de snacks extrudés, l'enrobage se compose de :

- 10,5 g d'huile de colza
- 8 g de poudre de paprika
- 3 g d'oignons en poudre
- 1 g d'ail
- 1 g de sel

Cet enrobage rend le snack plus gras et calorique, mais il permet d'apporter de la saveur et de la gourmandise au produit.

Afin de caractériser l'influence de l'enrobage sur la texture, deux snacks identiques ont été analysés, l'un sans enrobage et l'autre avec un enrobage.

Les résultats repris dans le tableau 29 semblent montrer une diminution de la dureté par l'application d'un enrobage, avec une force de compression passant de 126,7 N à 91,2 N. Les résultats montrent également une diminution du nombre de pics sur la courbe de compression allant de 57,7 pics à 29,0 pics. Cela implique une diminution de la croustillance. Il est intéressant de remarquer que les écarts-types augmentent pour les snacks enrobés, ceci pourrait être dû au fait que l'enrobage n'a pas entouré les snacks de manière homogène.

Tableau 29 : Résultats des analyses de la texture d'un snack sans et avec enrobage.

Paramètres étudiés	Snack sans enrobage	Snack avec enrobage
Force (N)	126,737 ± 18,48	91,185 ± 55,71
Nombre de pics	57,7 ± 12,8	29,0 ± 21,6

2. 3. 12 Analyses du snack extrudé avec enrobage

Tout d'abord, la composition du produit final a été analysée, puis comparée aux snacks de la concurrence et enfin des analyses sur la conservation (vieillessement, oxydation et analyse microbiologiques) ont été réalisées.

Analyse de la composition

Les analyses de composition ont été réalisées sur le snack extrudé à 12,5 % de drêches de brasserie avec son enrobage. Sur la matière sèche, ceci représente 13,4 % de drêches de brasserie sans enrobage et 10,6 % de drêches pour le snack en comptant l'enrobage.

Voici ci-dessous le tableau 30 qui récapitule la composition du snack extrudé avec son enrobage. Les fibres, les glucides et les kilocalories n'ont pas été mesurés en laboratoire, ils ont été calculés sur base des ingrédients utilisés. Les écarts-types ne sont pas présents pour tous les résultats, car une seule mesure a été réalisée pour les protéines et les lipides.

Tableau 30 : Présentation de la composition du snack extrudé et enrobé.

Snack extrudé avec enrobage	
Matière sèche	93,27 ± 0,00 %
Kilocalories	445,2 kcal/100 g*
Protéines	9,7 %
Lipides	15,9 %
Glucides	65,82 %**
Dont fibres alimentaires	22,84 %
Cendres	1,85 ± 0,00 %

*Calculé sur base des protéines, lipides et glucides avec la formule : Protéines (g) x 4 (kcal/g) + (Glucides- Fibres alimentaires) (g) x 4 (kcal/g) + Lipides x 9 (kcal/g).

** Calculé par soustraction : 100 – (humidité + protéines + lipides + cendres)

Tous les pourcentages (sauf le pourcentage de MS) sont des pourcentages sur la MS

La teneur en protéines analysée des snacks extrudés est de 9,714 %. Ce pourcentage est comparé à la concurrence dans le tableau 32.

La teneur en matière grasse est de 15,89 % dont environ 2/3 des lipides sont apportés par l'enrobage. Un snack sans enrobage serait certainement plus sain, mais moins plaisant gustativement. Pour trouver un compromis entre santé et aspect gustatif, une huile de bonne qualité a été utilisée (huile de colza vierge). La teneur en oméga-3 n'a pas été analysée, mais a été calculée (annexe 9). Le snack enrobé contiendrait en théorie 2,01 g d'ALA pour 100 g de snack et 0,45 g par 100 kcal de snack. Le snack peut porter l'appellation « source d'oméga-3 », mais pas « riche en oméga-3 », car il ne contient pas 0,6 g d'ALA par 100 kcal de snack (RÈGLEMENT (UE) No 432/2012).

Idéalement, l'enrobage devrait être vaporisé sur les snacks afin que la répartition soit homogène tout en diminuant la quantité d'huile nécessaire. L'enrobage n'a pas été optimisé dans ce travail, une meilleure technique pourrait permettre de baisser davantage ce taux de matière grasse.

Les snacks extrudés contiennent 1,85 % de cendres. Les différents minéraux présents dans les snacks n'ont pas été analysés.

Nutri-Score

Le Nutri-Score de minimum B est l'un des objectifs du cahier des charges. Le calcul du Nutri-Score a été réalisé. En annexe 10, le tableau de calcul du Nutri-Score et du calcul du taux d'acides gras saturé sont repris. Notre snack extrudé peut porter le Nutri-Score B. Les valeurs des sucres et des acides gras saturés utilisées sont approximatives, car ils ont été calculés sur base des ingrédients utilisés et n'ont pas été mesurés. De plus, le contenu des sucres et acides gras saturés n'est pas connu précisément pour tous les ingrédients.

Les pourcentages d'AGS pour les drêches de brasserie et pour le maïs n'ont pas été analysés. La valeur de 31,79 % d'acide gras monoinsaturés pour la drêche brasserie a été trouvée dans la littérature (Lordan et al. 2019) et de 13 % pour le maïs.³³

Comparaison du snack à une référence du commerce

La référence utilisée pour comparer les résultats obtenus avec un snack du commerce est le Chipito de la marque Lay's. Le tableau suivant reprend les caractéristiques du Chipito et les compare au snack extrudé élaboré dans ce travail (tableau 31).

Tableau 31 : Comparaison des différents paramètres des Chipitos (Lay's) et nos snacks extrudés.

Paramètres	Chipito (Lay's)	Snack extrudé
Aw	0,105 ± 0,002	0,288 ± 0,004
MS (%)	96,83 ± 0,017	94,39 ± 0,21
Force (N)	92,003 ± 22,942	155,754 ± 24,052
Nombre de pics	85,6 ± 9,4	28,6 ± 12,1

La référence Chipito présente une activité de l'eau, une dureté et un nombre de pics plus bas que le snack apéritif aux drêches, mais sa teneur en matière sèche est plus élevée. La couleur n'a pas été analysée, car celle-ci n'est pas pertinente. En effet, les Chipitos ne contiennent pas de drêches de brasserie et contiennent de l'extrait de paprika utilisé comme colorant³⁴.

³³ Maïs | Tables de composition et de valeur nutritionnelle des aliments pour animaux INRA CIRAD AFZ. (s.d.). feedtables. Consulté le 22 juillet, <https://feedtables.com/fr/content/maïs>

³⁴ Cheetos | Chipito | Chips | Chipito | Fromage | 125 gr | Delhaize. (s.d.). Delhaize. Consulté le 27 juin 2022, <https://www.delhaize.be/fr-be/shop/Epicerie-salee/Chips-et-snacks-aperitif/Chips/Chips-forme-speciale/Chips-Chipito-Fromage/p/S2021061100030200000#productInfo>

Il n'existe pas sur le marché belge des snacks extrudés à base de drêches de brasserie qui auraient pu servir de meilleure référence.

L'activité de l'eau des snacks extrudés aux drêches de brasserie est plus élevée que celle des Chipitos. Une première hypothèse était que ce résultat peut être dû aux fibres ayant un pouvoir de rétention d'eau plus important empêchant ainsi une partie de l'eau de s'évaporer (Żelaziński et al., 2018 ; Naibaho & Korzeniowska, 2021). Cependant, la formulation de base du snack extrudé (sans drêches) ne présente pas non plus une activité aussi basse que celle des Chipitos avec une valeur d'activité de l'eau de 0,372. Ce résultat semble indiquer que ce n'est pas la rétention d'eau des fibres qui influence l'*A_w* des snacks.

Les écarts observés entre les paramètres analysés pourraient venir d'une différence au niveau des techniques de production. En effet, les paramètres de fabrication des Chipito de Lay's ainsi que le type d'extrudeuse utilisé sont inconnus. Une autre explication pourrait venir de la composition des Chipito (comme le montre le tableau 32) qui est bien plus complexe que les snacks élaborés en laboratoire, notamment en nombre d'additifs³⁵.

L'activité de l'eau du chipito, étant de 0,105, augmente le risque d'oxydation, ce qui n'est pas le cas pour les snacks élaborés lors de ce travail qui possèdent une activité de l'eau comprise entre 0,200 et 0,500 (Castaigne, 1993).

Au niveau de la composition nutritionnelle, comme le montre le tableau 32, les Chipitos de Lay's, les Chips Naturel de Lay's et les Chips Monster Munch Original de Lorenz sont plus riches en lipides, en calories et plus pauvres en fibres alimentaires et protéines que les snacks extrudés aux drêches. Seules les Chips Oven Baked Mediterranean Herbs de Lay's contiennent moins de lipides, mais tout de même autant de calories que les snacks extrudés avec drêches. Les Oven Baked sont les seules chips qui ont le même Nutri-Score que le snack extrudé aux drêches, les autres ayant un Nutri-Score plus bas. Il est également intéressant de noter que les Chipitos contiennent de l'huile de colza, une huile riche en oméga-3.

³⁵ *Cheetos | Chipito | Chips | Chipito | Fromage | 125 gr | Delhaize.* (s.d.). Delhaize. Consulté le 27 juin 2022, <https://www.delhaize.be/fr-be/shop/Epicerie-salee/Chips-et-snacks-aperitif/Chips/Chips-forme-speciale/Chips-Chipito-Fromage/p/S2021061100030200000#productInfo>

Tableau 32 : comparaison des valeurs nutritionnelles avec la référence Chipito et d'autres marques de chips classiques.

Produits	Ingrédients	Composition nutritionnelle pour 100g
Snack extrudé et enrobé à base de drêches de brasserie	Maïs, drêche de brasserie (13,4 %), huile de colza, poudre de paprika, oignon en poudre, sel, pectine, ail en poudre	Kcal : 445,2 kcal Lipides : 15,9 g Fibres : 22,8 g Protéines : 9,7 g Nutri-Score : B
Chipito (Lay's) ³⁶	« Maïs, huile de colza, goût fromage [petit-LAIT en poudre (de LAIT), arôme (contient du FROMAGE, LACTOSE, huile de BEURRE), exhausteur de goût (glutamate monosodique), chlorure de potassium, sucre, régulateurs d'acidité (acide citrique, lactate de calcium), colorant (extrait de paprika)], sel. Ce produit peut contenir du soja et du blé (gluten). »	Kcal : 491 kcal Lipides : 23 g Fibres : 1 g Protéines : 6,9 g Nutri-Score : D
Chips Lay's Naturel ³⁷	« Pommes de terre, huiles végétales (tournesol, colza, maïs, en proportion variable), sel. »	Kcal : 508 kcal Lipides : 30 g Fibres : 4,3 g Protéines : 6,1 g Nutri-Score : C
Chips Monster Munch Original Lorenz ³⁸	« Huile de tournesol (28 %), poudre de pommes de terre (23 %), amidon de pommes de terre (22 %), amidon de maïs, amidon de pois, LACTOSERUM en poudre (LAIT), sucre, sel, FROMAGE en poudre, paprika en poudre, arôme naturel, agent colorant alimentaire extrait de paprika. Peut contenir du GLUTEN. »	Kcal : 523 kcal Lipides : 28 g Fibres : 1,6 g Protéines : 1,9 g Nutri-Score : D

³⁶ Cheetos | Chipito | Chips | Chipito | Fromage | 125 gr. (s.d.). Delhaize. Consulté le 27 juin 2022, <https://www.delhaize.be/fr-be/shop/Epicerie-salee/Chips-et-snacks-aperitif/Chips/Chips-forme-speciale/Chips-Chipito-Fromage/p/S2021061100030200000#productInfo>

³⁷ Lay's Chips Sel 45g. (s.d.). Delhaize. Consulté le 27 juin 2022, <https://www.delhaize.be/fr-be/shop/Epicerie-salee/Chips-et-snacks-aperitif/Chips/Chips-classiques/Chips-Sel/p/S2000102600027800000>

³⁸ Lorenz Monster Munch Chips Original 75g. (s.d.). Delhaize. Consulté le 30 juin 2022, <https://www.delhaize.be/fr-be/shop/Epicerie-salee/Chips-et-snacks-aperitif/Chips/Chips-forme-speciale/Chips-Original/p/S2011010300027740000>

Chips Oven Baked Mediterranean herbs, Lay's ³⁹	« Flocons de pomme de terre (65%), amidon de pomme de terre (14%), huile de tournesol, sucre, base aromatisante au goût de sel marin [sel de mer, sel, arômes], émulsifiant (lécithine de tournesol), colorant (norbixine de rocou). »	Kcal : 442 kcal Lipides : 13 g Fibres : 6,2 g Protéines : 5,9 g Nutri-Score : B
---	--	---

Calcul du coût du snack extrudé

Le coût des snacks extrudés a été calculé uniquement à partir des prix de la matière première (tableau 33). Le coût de la main-d'œuvre, de la location des locaux ainsi que les charges, des appareils et de l'emballage étant compliqué à estimer, ils n'ont pas été pris en compte dans ce calcul.

Le prix des ingrédients utilisés durant ce travail a été repris du magasin Colruyt, car une majorité d'entre eux a été achetée dans ce magasin. Une production plus importante de snacks permettrait de diminuer le prix d'achat des matières premières en les achetant en plus grosse quantité et chez des grossistes destinés aux professionnels. Le prix de la pectine qui est élevé dans ce cas-ci pourrait certainement être diminué.

Le prix de reviens du snack extrudé est de 0,33 € pour 100 g de snacks.

³⁹ Lay's oven backed. Mediterranean Herbs Ribbled Chips 150 g. Delhaize. Consulté le 30 juin 2022. <https://www.delhaize.be/fr-be/shop/Epicerie-salee/Chips-et-snacks-aperitif/Chips/Chips-classiques/Mediterranean-Herbs-Ribbled-Chips-150G/p/S2010061000025970000>

Tableau 33 : calcul du prix de revient pour 100g de snacks extrudés.

Ingrédients	Prix par kilo (€)	Quantité pour 100g de snacks extrudés	Prix pour 100 g de produit (€)
Maïs ⁴⁰	313 €/tonne	64,3	0,02
Drêches	0	10,6	0,00
Graine de lin ⁴¹	3,33	4,2	0,01
Pectine ⁴²	134,5	0,8	0,11
Sel ⁴³	0,28	0,8	0,00
Huile de colza ⁴⁴	6,58	8,9	0,06
Paprika ⁴⁵	11,19	6,8	0,08
Ail en poudre ⁴⁶	16,76	0,8	0,01
Oignon en poudre ⁴⁷	13,52	2,5	0,03
Total :			0,33

2. 3. 13 L'influence du vieillissement sur trois mois

L'objectif de ce vieillissement est d'observer les changements de texture, d'activité de l'eau et de matière sèche au cours du temps, afin de confirmer la date de durabilité minimale du snack non enrobé (tableau 34). Pour l'enrobage un test d'oxydation a été réalisé.

Le vieillissement a été réalisé à une température de 20 °C dans des sachets en aluminium fermé hermétiquement, pendant 12 semaines, ce qui correspond à la DDM souhaitée dans le cahier des charges. Les snacks ont été mis en sachet après 30 minutes de refroidissement.

⁴⁰ *cours et marchés du maïs*. (s.d.). Agro.bast. Consulté le 25 juillet 2022,

https://www.agro.basf.fr/fr/aide_a_la_decision/informations_economiques/cours_et_marches/cours_et_marches_maïs/

⁴¹ *graines de lin brun 3kg*. (s.d.). Greenweez. Consulté le 25 juillet 2022, <https://www.greenweez.com/markal-graines-de-lin-brun-3kg-p87167>

⁴² *pectine de pomme*. (s.d.). Piccantino. Consulté le 25 juillet 2022, <https://www.piccantino.be/fr-BE/arche-naturkueche/pectine-de-pomme>

⁴³ *Sel*. (s.d.). Collectandgo. Consulté le 25 juillet 2022,

https://www.collectandgo.be/colruyt/fr/assortiment/sel#pdp_3074457345616678341

⁴⁴ *Huile de colza*. (s.d.). Collectandgo. Consulté le 25 juillet 2022,

https://www.collectandgo.be/colruyt/fr/recherche?searchTerm=huile+de+colza+#pdp_3074457345616720427

⁴⁵ *Paprika*. (s.d.). Collectandgo. Consulté le 25 juillet 2022,

https://www.collectandgo.be/colruyt/fr/recherche?searchTerm=paprika#pdp_3074457345616692697

⁴⁶ *Ail en poudre*. (s.d.). Collectandgo. Consulté le 25 juillet 2022,

https://www.collectandgo.be/colruyt/fr/recherche?searchTerm=ail+en+poudre#pdp_3074457345616714987

⁴⁷ *poudre d'oignon 1kg*. (s.d.). Gourmet versand. Consulté le 25 juillet 2022, <https://www.gourmet-versand.com/fr/article9583/poudre-doignon-1-kg.html>

Tableau 34 : Les différents paramètres au cours du vieillissement sur trois mois.

Nombre de semaines	Aw	Matière sèche (%)	Force (N)	Nombre de pics
Semaine 0	0,288 ± 0,008	94,39 ± 0,42	155,754 ± 24,052	28,6 ± 12,0
Semaine 5	0,281 ± 0,006	93,54 ± 1,46	165,05 ± 21,816	31,3 ± 4,2
Semaine 8	0,358 ± 0,020	93,33 ± 0,46	161,255 ± 28,396	29,6 ± 10,8
Semaine 12	0,378 ± 0,050	93,57 ± 0,70	169,111 ± 30,184	18,6 ± 10,3

La texture

La figure 110 reprend les résultats de la force de compression à la semaine 0, 5, 8 et 12. La force de compression semble augmenter légèrement entre la semaine 0 et la semaine cinq et également entre la semaine huit et la semaine douze. Cependant, il n'est pas possible d'admettre que la dureté augmente réellement entre la semaine cinq et huit vu que l'écart-type de la semaine huit est trop élevé.

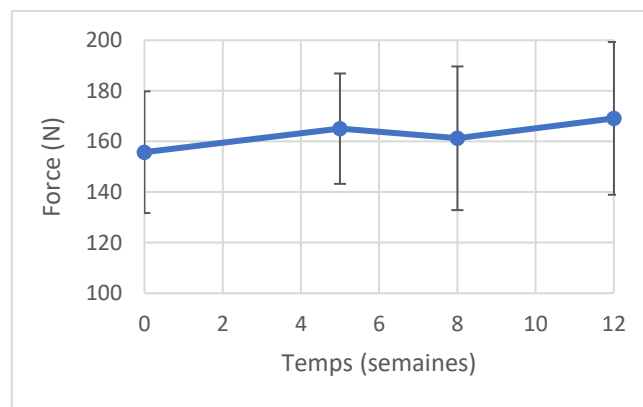


Figure 110 : Influence du temps (en semaines) sur la force de compression (en Newton) (± 2 écarts-types) du snack extrudé.

Sur la figure 111 qui reprend le nombre de pics en fonction du temps, le nombre de pics semble diminuer entre les semaines 8 et 12, ce qui peut indiquer une perte de croustillance à partir de la semaine 8 (Anton et al. 2007). Cependant, ici aussi les écarts-types sont élevés.

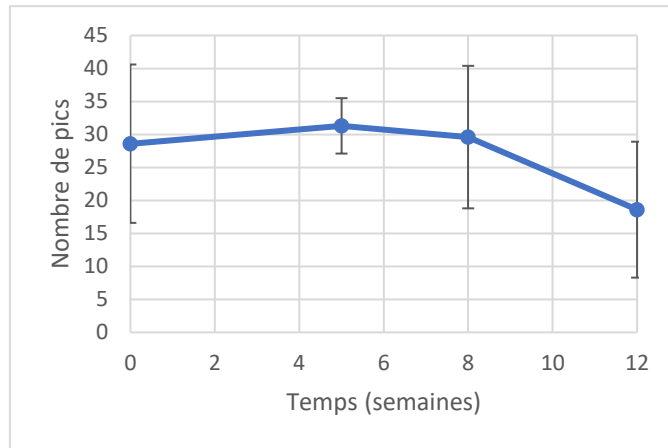


Figure 111 : Influence du temps (en semaines) sur le nombre de pics (± 2 écarts-types) du snack extrudé.

L'activité de l'eau

Comme le montre la figure 112, l'activité de l'eau en fonction du temps paraît augmenter entre la semaine cinq et huit. Pour la variation de l'activité de l'eau, entre la semaine huit et douze, il est difficile de tirer des conclusions en raison des écarts-types très élevés.

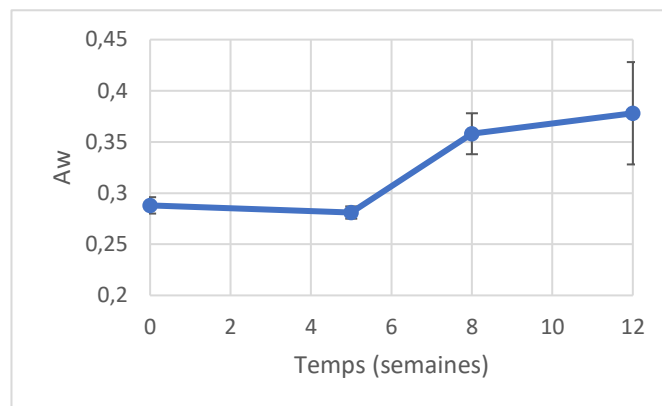


Figure 112 : Influence du temps (en semaines) sur l'activité de l'eau (± 2 écarts-types) du snack extrudé.

La teneur en matière sèche

La teneur en matière sèche en fonction du temps est représentée sur la figure 113. Les résultats semblent montrer une diminution entre la semaine 0 et la semaine huit avant de se stabiliser entre les semaines huit et 12. Pour la variation de la matière sèche entre la semaine 0 et cinq et la semaine cinq et huit, il n'est pas possible de tirer des conclusions, vu que l'écart-type est trop élevé. Il y a donc une légère diminution de la matière sèche, mais il n'est pas possible de prédire à quel moment celle-ci a lieu.

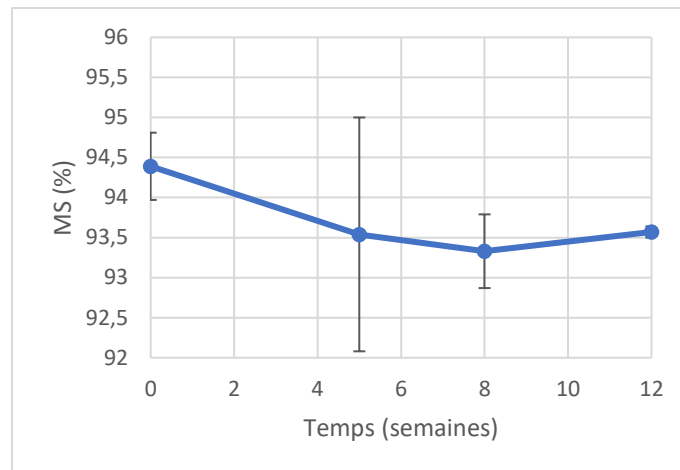


Figure 113 : Influence du temps (en semaines) sur la matière sèche (en pourcent) (± 2 écarts-types) du snack extrudé.

Conclusion

Les problèmes d'augmentation de l'activité de l'eau, de diminution de matière sèche et de la perte de croustillance peuvent être expliqués par le fait que le sachet des snacks extrudés a dû être ouvert et refermé après 5 semaines, en raison de problèmes liés à la pectine expliqués précédemment. Théoriquement, les snacks auraient dû être partagés dans quatre sachets différents, pour les laisser hermétiquement fermés jusqu'à leur jour d'analyse, comme il a été fait pour les crackers dans la suite de ce travail. Le sachet a donc été ouvert et refermé après cinq semaines de production, ce qui montre une augmentation de l'activité d'eau immédiate jusqu'à la mesure à la semaine huit. Ceci pourrait également expliquer la perte de croustillance, cependant, celle-ci n'est observée qu'entre la huitième et la douzième semaine. Une autre explication peut aussi venir d'une absorption d'eau provenant de l'air compris dans l'emballage qui n'a pas été mis sous-vide, car ce vide aurait comprimé les snacks.

En raison de cette ouverture à 5 semaines et en tenant compte des résultats, il est difficile de déterminer si la DDM de 3 mois peut être atteinte. Cependant, d'un point de vue gustatif la texture des snacks restait appréciable après 12 semaines.

2. 3. 14 Test de vieillissement accéléré sur l'huile d'enrobage

Pour évaluer la stabilité oxydative de l'huile d'enrobage des snacks extrudés, un test de vieillissement a été réalisé à l'aide d'un Rancimat. Cette analyse a pour but de déterminer le temps d'induction, c'est-à-dire le temps durant lequel les lipides résistent à l'oxydation (Rahani, 2007).

L'enrobage des snacks extrudés est constitué d'huile de colza extraite à froid qui est riche en acides gras polyinsaturés (28 g/100 g, dont 9,6 g d'oméga-3 (Sebei, 2007)) qui sont sensibles à l'oxydation. De ce fait, l'huile d'enrobage a été analysée pour connaître sa résistance à l'oxydation. Cet enrobage apporte environ 2/3 des lipides du snack extrudé.

La volonté première était d'analyser les snacks extrudés avec leur enrobage dans le Rancimat. Cependant les échantillons disponibles étaient déjà vieux de plusieurs semaines, cela aurait probablement faussé les analyses.

En effectuant l'analyse à plusieurs températures, l'objectif est d'extrapoler le temps d'induction à 20 °C, car cette température se rapproche d'une température ambiante. Le deuxième objectif est de comparer la stabilité oxydative entre une huile sans antioxydant et une avec antioxydant.

Deux tests d'oxydation sur l'enrobage ont été menés, le premier avec l'huile seule et le second avec l'huile et de l'extrait de romarin (50 mg/kg de matière grasse (Règlement 1333/2008)) comme antioxydant à 90 °C, 100 °C, 110 °C, 120 °C et 130 °C avec un flux d'air de dix litres par heure.

Comme le montre la figure 114, l'extrapolation du temps d'induction à 20 °C pour l'huile sans extrait de romarin indique un temps de 0,37 année, soit 135 jours. C'est-à-dire que l'huile d'enrobage du snack prend 135 jours avant que l'oxydation soit amorcée en présence d'oxygène.

Dauber et al. (2022) ont analysé le temps d'induction d'une huile de colza du commerce (pas de précision sur le type d'huile et d'extraction effectuée) à 100 °C avec un flux d'air de 20 litres par heure et ont obtenu un temps d'induction de $5,55 \pm 0,05$ heures (Dauber et al., 2022). À 110 °C avec un flux d'air de 10 litres par heure, le temps d'induction de l'huile analysée est de $14,4 \pm 0,13$ heures. Comme les flux d'air sont différents, ces résultats ne sont pas comparables directement. Aucune donnée n'a été trouvée dans la littérature pour le temps d'induction de l'huile de colza avec un flux d'air de 10 litres par heure. Cependant, dans l'étude de Farhoosh (2007), qui compare le résultat du temps d'induction de l'huile de soja sous plusieurs flux d'air, le résultat obtenu à 100 °C pour un flux d'air de 10 litres par heure est un temps d'induction de 15,82 heures et à 20 litres par heure, il est de 16,76 heures (Farhoosh, 2007). D'après ces résultats, il est possible de voir que la différence entre les deux valeurs n'est que de 5,6 %. La valeur de Dauber et al., pour le temps d'induction de l'huile de colza est 2,6 fois plus court que pour l'huile d'enrobage analysée, ce qui laisse penser que la stabilité oxydative de l'huile utilisée dans ce travail est supérieure à celle analysée dans l'étude.

Beig Mohammadi et al. ont analysé le temps d'induction de trois huiles de colza extraites par pressage à une température de 35 à 40 °C. Les temps d'induction ont été analysés à une température de 110 °C sous un flux d'air de 20 litres par heure. Ils ont obtenu des temps d'induction allant de 11 à 12,8 heures le jour de l'extraction et entre 8 à 13 heures après 16 semaines de stockage à température ambiante et à l'abri de la lumière. L'huile de colza analysée dans ce travail n'a pas été analysée au temps 0, elle a été stockée au moins 3 mois fermée à l'abri de la lumière et à une température de 15 °C. Son temps d'induction à 110 °C

était de $7,47 \pm 0,11$ heures. La stabilité oxydative de l'huile d'enrobage est inférieure à celle des huiles de colza de l'étude de Beig Mohammadi (Beig Mohammadi et al, 2012).

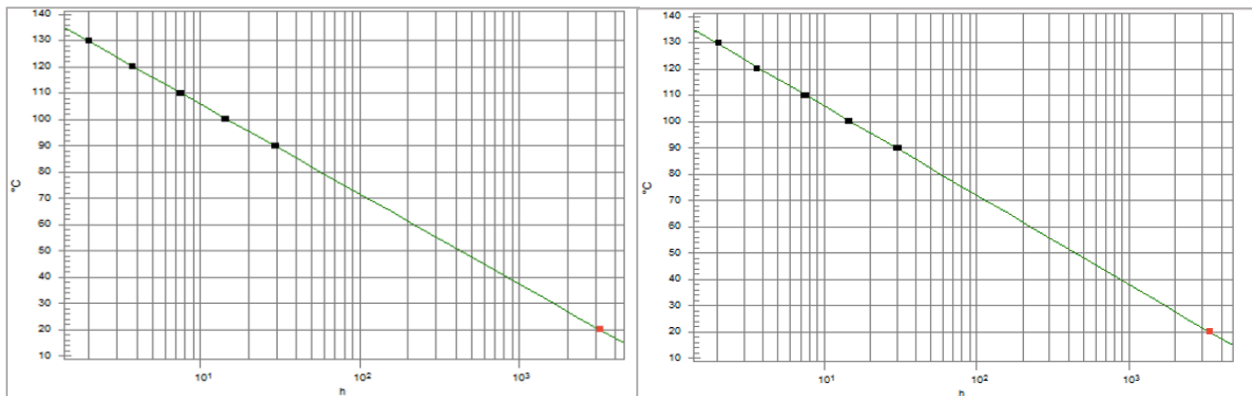


Figure 114 : Extrapolation du temps d'induction à 20 °C des snacks extrudés sans extrait de romarin à gauche et avec extrait de romarin à droite.

Il est possible de voir sur la figure 114 que l'extrapolation du temps d'induction à 20 °C pour l'huile avec extrait de romarin donne un temps de 0,39 année, soit 142 jours. La différence de l'induction de l'oxydation entre l'ajout ou non de cet antioxydant est de 7 jours à 20 °C avec un flux d'air de 10 litres par heure, ce qui correspond à une différence de 4,9 % de temps supplémentaires.

La pertinence de l'ajout de cet antioxydant n'a pas été démontrée ici. De plus, les résultats montrent que l'huile ne rancit pas avant 135 jours. Dans un emballage adapté, imperméable aux gaz, ce temps sera certainement plus important. La date de durabilité minimale de 3 mois souhaitée dans le cahier des charges est dès lors envisageable d'un point de vue de l'oxydation, mais uniquement concernant l'enrobage.

L'oxydation du snack extrudé avec enrobage n'a pas été étudiée, ce point aurait pu être intéressant. Cependant, dans la littérature, plusieurs aspects semblent indiquer que les produits extrudés présentent une meilleure conservation comparée à d'autres sortes de snacks salés et une meilleure protection contre l'oxydation (Barbosa-Canovas et al., 2005). Sur la totalité des ALA présents dans l'huile de lin, moins d'un pourcent est dégradé après le processus d'extrusion (Imran et al., 2013 ; Szterk et al., 2015). Le chauffage des graines de lin entraînerait une augmentation des composés phénoliques, qui se retrouveraient dans l'huile après le pressage des graines (Siger & Józefiak, 2016 ; Rekas et al., 2017). De plus, la formation du complexe amylose-lipide permet une bonne stabilité à l'oxydation (Merayo et al., 2011) et l'activité de l'eau des snacks est idéale pour limiter l'oxydation (Castaigne, 1993).

2. 3. 15 Conclusion de la conception de snacks extrudés

La mise au point de snacks extrudés à base de drêches de brasserie a été réalisée. La littérature ainsi que l'analyse des matières premières ont permis de calculer des formulations dans le but d'approcher des objectifs du cahier des charges. Ces objectifs ont été atteints partiellement.

Sécurité

Les snacks extrudés et enrobés ont une activité de l'eau de 0,288, ce qui se trouve donc entre 0,200 et 0,500 pour limiter les risques d'oxydation et les risques liés au développement des microorganismes tout en assurant une texture croustillante.

Un antioxydant ne semble pas nécessaire pour assurer la DDM de 3 mois d'après les résultats du Rancimat pour l'huile d'enrobage. L'oxydation des snacks en eux même n'a pas été réalisée, mais ne semble pas un problème d'après plusieurs études.

Société

Les snacks sont plus sains que la concurrence, ils contiennent moins de calories, moins de lipides et plus de fibres et protéines.

Les produits répondent à la demande d'un snack plus sain tout en gardant l'esprit de partage et de plaisir lors des apéritifs en groupe.

Il a été choisi de ne pas les produire dans la filière biologique, car l'enquête quantitative de la partie marketing montre clairement que la population n'est pas spécialement intéressée par des snacks apéritifs issus d'agriculture biologique.

Les snacks extrudés contiennent des sous-produits de la filière brassicole pour répondre à la pénurie des ressources alimentaires. Pour cette raison, le produit rentre dans une démarche d'économie circulaire. De plus, la drêche et le maïs proviennent de la Wallonie et y restent pour être transformés, ceci limite les déplacements.

Service

Le prix de vente a été établi par l'étude de marché et a été fixé à environ 2,90 € pour 100 g de produit. Ceci est inférieur au prix moyen des snacks apéritifs à base de drêches de brasserie vendu en Belgique, mais semble être le prix que la population juge comme étant un prix correct.

Santé

Le produit sans enrobage contient 13,4 % des drêches de brasserie sur matière sèche, ce qui est loin des 30 % établis dans le cahier des charges, mais il n'a pas été possible d'arriver à un taux d'incorporation de 30 % de drêches de brasserie en gardant des propriétés physico-chimiques acceptables.

Le produit peut porter les allégations nutritionnelles suivantes : source d'oméga-3 et riche en fibres. Ces valeurs ont uniquement été calculées et n'ont pas été mesurées. Pour connaître le contenu exact en oméga-3 (spécifiquement en ALA) du produit final, des analyses supplémentaires seraient nécessaires.

Vu que la composition exacte des drêches n'est pas connue, il n'est pas possible de savoir combien de pourcent d'orge se retrouvent dans les snacks extrudés et donc de savoir si l'allégation de santé "les fibres de grains d'orge contribuent à augmenter le volume des selles" a pu être obtenue.

Le snack extrudé porte le Nutri-Score B, ce qui est l'objectif souhaité.

Satisfaction

La cote de satisfaction n'a pas été évaluée, car l'analyse sensorielle n'a pas été réalisée. Dans le futur, il serait intéressant de comparer le produit à la concurrence.

La croustillance est assurée par l'activité de l'eau inférieure à 0,5. Cependant, le snack extrudé aux drêches est moins croustillant que la référence qui est le Chipito.

Le goût a été adapté en fonction de l'étude de marché en utilisant uniquement des épices et non pas des exhausteurs de goût ou autres arômes.

Pour finir, les snacks extrudés ont un diamètre moyen de 12,5 mm, ce qui est proche des 15 mm attendus.

2. 4 Élaboration des crackers

La formulation des crackers a été réalisée à partir de celle d'un cracker sans drêche de brasserie pour ensuite substituer progressivement les drêches à la farine de blé afin d'atteindre les objectifs fixés dans le cahier des charges. Le détail complet de chaque formulation effectuée se trouve en annexe 11. Les analyses réalisées pour chaque formulation sont l'activité de l'eau, la matière sèche, la texture, la couleur, le diamètre, l'épaisseur et la masse.

2. 4. 1 Mise au point des paramètres

Les paramètres fixes et variables ont été déterminés par la littérature et par les analyses des matières premières. Ceux-ci ont permis de formuler un cracker sans drêches avec des caractéristiques de dureté et de texture satisfaisantes. Ce snack a servi de référence pour les crackers contenant de la drêche jusqu'à ce que son taux d'incorporation ne donne plus de caractéristiques acceptables (texture, croustillance, ...).

Comme expliqué dans la partie bibliographique, plusieurs paramètres interviennent lors de la fabrication des crackers. Les paramètres fixes et variables sont repris ci-dessous.

Les paramètres fixes sont :

- Température : 180 °C
- Diamètre : 35 mm
- Sel : 1 %
- Graines de lin : 6 %

Les paramètres variables sont :

- L'incorporation de la drêche substituée à la farine de blé : 0 %, 10 %, 15 % ou 20 %
- Le four : Four à pain Silva ou four à air pulsé Air-o-steam
- Temps de cuisson : 15 à 25 minutes
- Épaisseur du cracker : 3,5 mm, 4,3 mm ou 5 mm avant cuisson
- Bicarbonate de soude : 0 ou 1 %

2. 4. 2 Mise au point des formulations

À partir de la formulation de référence, différents taux d'incorporation de drêches ont été substitués à la farine de blé. Pour chaque formulation, la quantité d'eau et d'huile a été recalculée en fonction de la capacité de rétention d'huile et d'eau des différentes farines. L'importance de tenir compte de la rétention d'huile et d'eau a été montrée dans les pré-tests où la quantité d'eau a été calculée par rapport aux teneurs en matières sèches des drêches et de la farine et ne permettait pas de former une pâte lisse et homogène par manque d'eau.

Le pourcentage d'huile du cracker de référence est de 6 %. Cette valeur a été choisie afin d'avoir une croustillance optimale et un goût agréable. Comme vu dans la théorie, un cracker

avec une faible teneur en huile possède une meilleure croustillance (Chavan et al., 2016). Des observations allant dans ce sens ont également été faites durant les pré-tests. La pâte se laminait mal et le cracker n'était pas croustillant lors de la dégustation à de plus hauts pourcentages d'huiles. Les 6 % de graines de lin sont utilisés apporter les oméga-3 qui sont un des objectifs du cahier des charges.

2. 4. 3 Mise au point du goût

Dans l'optique d'atteindre les objectifs de satisfaction du cahier des charges, des épices ont été ajoutées pour améliorer l'appréciation des crackers. Plusieurs goûts ont été présélectionnés en fonction des résultats de l'étude de marché.

Différents modèles ont été testés :

- 1 % d'oignon et 0,5 % d'ail
- 5 % de concentré de tomate et 0,5 % d'origan
- 1 % de sel et 0,3 % de poivre
- 1 % de paprika, 1,5 % d'oignon et 0,5 % d'ail
- 1,5 % de paprika, 1 % d'oignon et 0,5 % d'ail
- 0,5 % d'origan et 0,5 % de thym
- 15 % d'emmental râpé

Le choix final est le cracker au goût poivre et sel, qui ne cache pas la saveur des drêches de brasserie et qui laisse au cracker un aspect et un goût très brut et naturel. Ce goût permet également de se différencier de ceux des crackers aux drêches de brasserie qui sont déjà disponibles dans le commerce. De plus, ce goût est l'un des plus cités d'après les résultats de l'analyse quantitative de l'étude de marché. Dans le futur, avec une optique d'un élargissement de la gamme, le goût fromage et le goût paprika/oignon/ail seront à envisager. Ceux-ci ont également été cités fréquemment dans l'étude de marché.

2. 4. 4 Étude de l'influence de l'incorporation de drêches de brasserie

Dans cette partie, l'influence de l'incorporation de drêches de brasserie a été observée par le biais d'analyse de la texture, qui se caractérise par la dureté et la croustillance. L'activité de l'eau et la teneur en matière sèche ont également été analysées. Pour les analyses suivantes, les résultats des crackers préparés dans le four à air pulsé ont été utilisés. Par après, les différences entre le four à pain et le four à air pulsé vont être détaillées.

Influence du taux de drêches sur la dureté

La force nécessaire à couper des crackers augmente avec l'ajout de drêches de brasserie, car elles interagissent avec les protéines, rendent les parois plus dures et épaisses et diminuent la formation de bulle de gaz (Heredia-Sandoval et al., 2020 ; Ačkar et al., 2018 ; Żelaziński et al., 2018 ; Naibaho & Korzeniowska, 2021).

En comparant un cracker de base sans drêches à ceux avec des pourcentages de plus en plus élevés en drêches de brasserie (10 %, 15 % et 20 %), les résultats obtenus sont contradictoires. Sur la figure 115, les résultats montrent que les crackers sans drêches nécessitent une force de fracture de 99,211 N, tandis que les crackers avec 20 % de drêche nécessitent une force de fracture de 75,745 N. Plus il y a de drêches, moins il faut de force pour casser le cracker en deux. Néanmoins, il faut tenir compte que les écarts-types sont très élevés.

Cependant, Li et al. (2014) dit qu'à l'emploi de farine complète la dureté du cracker diminue, surtout si la quantité de fibre de type arabinoxylanes augmente. Ce phénomène est dû à leur haute capacité de rétention d'eau, qui la rend moins disponible pour la formation du réseau de gluten. Ceci réduit à son tour l'épaisseur du cracker et donc la force nécessaire pour casser le cracker (Li et al., 2014). Les arabinoxylanes constituant le principal type de fibre présent dans les drêches de brasserie (Mandalari et al., 2005 ; Forsell et al., 2008), il est dès lors possible que ce même principe s'applique aux crackers contenant des drêches.

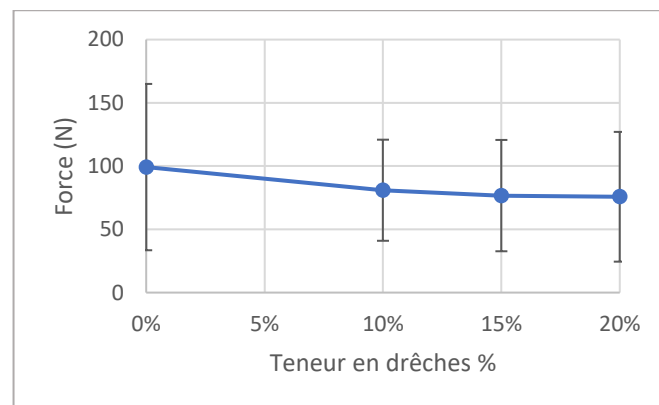


Figure 115 : La force nécessaire (± 2 écarts-types) à casser les crackers à pourcentage d'incorporation de drêche croissante (0 %, 5 %, 10 % et 15 %).

Les crackers sont composés des graines de lin qui les rendent non homogènes, cela peut influencer l'analyse de la texture. Lorsque la lame utilisée pour couper le cracker en deux rencontre une graine de lin, la courbe de texture est influencée et rend les écarts-types élevés. Pour cette raison, dix échantillons par formulation sont analysés pour obtenir un résultat plus représentatif.

Influence du taux de drêches sur la croustillance

Le nombre de pics semble rester assez stable jusqu'à 10 % d'incorporation de drêches avec un nombre de pics allant de 33,7 pics à 0 % de drêches à 32,2 pics à 10 % de drêches et semble diminuer à partir de 15 % d'incorporation avant de se stabiliser à nouveau (figure 116). Néanmoins, les écarts-types étant très élevés, surtout pour le cracker sans drêche de brasserie, il est possible que la croustillance ne soit pas affectée par l'incorporation des drêches.

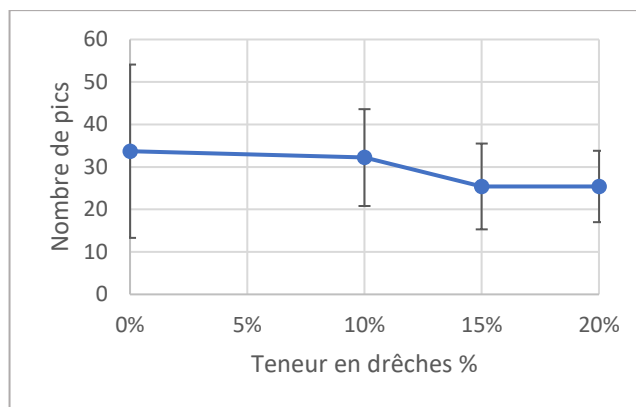


Figure 116 : Impact des différents taux d'incorporation de drêche de brasserie (0 %, 10 %, 15 % et 20 %), sur le nombre de pics (± 2 écarts-types).

Influence du taux de drêches sur la couleur

La figure 117 semble montrer que plus la teneur en drêche augmente, plus le cracker est foncé (L^* se rapproche de 0). Les crackers s'éloignent du jaune et deviennent davantage bleus avec l'ajout des drêches (b^* diminue). a^* semble augmenter légèrement avec l'ajout des drêches. Les crackers deviennent plus rouges et moins vert. Néanmoins, il n'est pas possible d'admettre que a^* augmente avec l'ajout de drêche, vu que les valeurs sont proches (figure 118).

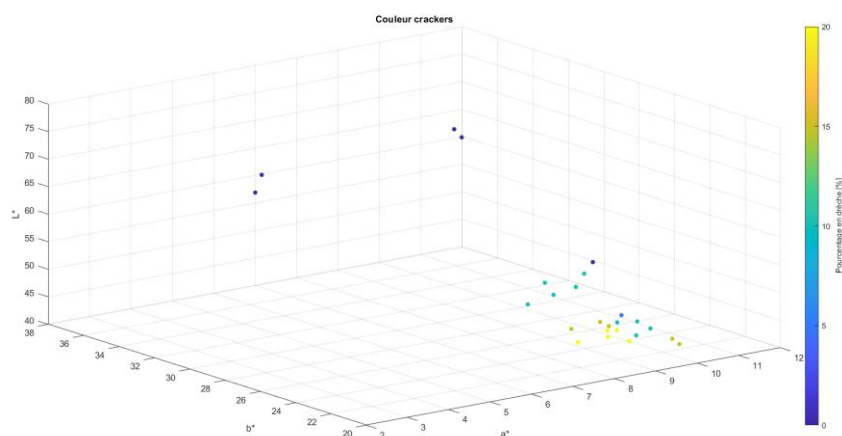


Figure 117 : La couleur des crackers par rapport au pourcentage de drêche.

Comme montre la figure 118 les crackers tendent plus vers le bleu avec un pourcentage croissant de drêches.

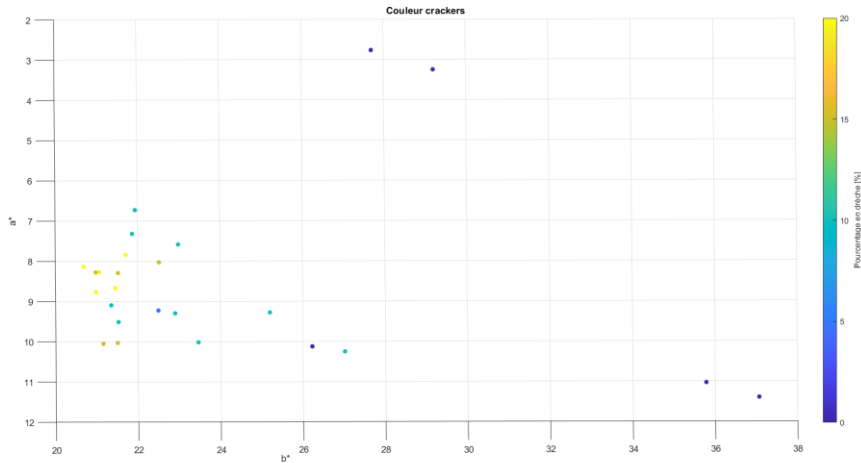


Figure 118 : La couleur des crackers par rapport au pourcentage de drêche.

Influence du taux de drêches sur l'épaisseur

Dans la figure 119 sont représentés les résultats de l'impact du taux de drêches sur l'épaisseur du cracker. L'épaisseur la plus élevée est celle du cracker sans drêche avec une valeur de 0,64 cm alors que la plus faible est celle des crackers à 20 % de drêches avec 0,31 cm.

Avec l'ajout de drêches de brasserie, l'épaisseur des crackers est diminuée. Ceci peut être expliqué par le fait qu'à des taux d'incorporation de 15 à 20 % de drêches, l'eau est absorbée davantage par la drêche (surtout par l'arabinoxylane) et n'est plus disponible pour former le réseau de gluten. Ceci a comme conséquence que ce réseau ne sait plus emprisonner des bulles d'air produites lors de la cuisson et par conséquent le volume du cracker diminue (Li et al., 2014). En outre, plus d'eau est incorporée pour contrebalancer la rétention d'eau élevée de la drêche et celle-ci doit être évaporée durant la cuisson (Kweon et al., 2013). L'épaisseur avant cuisson étant la même pour la formulation sans drêche et celle à 20 % de drêches, davantage d'eau doit être cependant évaporée pour la formulation avec la drêche. Cela pouvant expliquer l'épaisseur plus faible après cuisson.

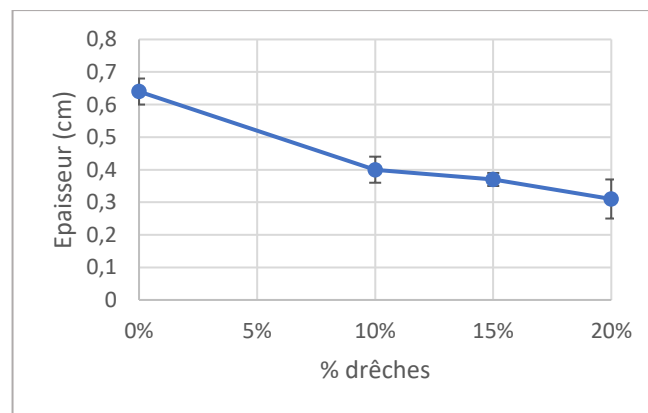


Figure 119 : L'épaisseur (± 2 écarts-types) des crackers à pourcentage d'incorporation de drêche croissante (0 %, 5 %, 10 % et 15 %).

Influence du taux de drêches sur la matière sèche et l'activité de l'eau

Les crackers sans drêches présentent la matière sèche la plus élevée (99,50 %) et les crackers à 20 % de drêches présentent le résultat le plus bas (98,81 %) (figure 120). Les résultats variant peu, une hypothèse possible est que l'eau ajoutée en plus grande quantité (calculée en fonction de la capacité de rétention d'eau) pour les crackers aux drêches est presque totalement évaporée.

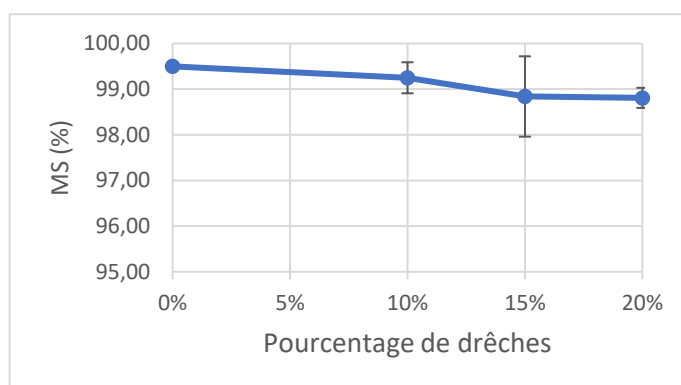


Figure 120 : Influence de la teneur en drêche de brasserie de 0 %, 10 %, 15 % et 20 % sur la teneur en matière sèche (± 2 écarts-types) avec le four à air pulsé.

Sur la figure 121, sont présentés les résultats de l'Aw en fonction du taux d'incorporation de drêches. La valeur la plus haute est obtenue pour le cracker à 15 % de drêches (0,097), et l'Aw la plus basse pour le cracker à 20 % d'incorporation de drêches (0,066).

L'activité de l'eau est très basse par rapport à l'objectif visé. Celui-ci était d'atteindre une activité de l'eau comprise entre 0,200 et 0,500 pour diminuer les risques microbiologiques et d'être le moins à risque d'oxydation (Castaigne, 1993). Dans ce cas-ci, les crackers se trouvent en dessous d'une Aw de 0,100, ce qui signifie que le risque d'oxydation est important. Les graines de lin sont protégées par leur enveloppe, mais l'huile de colza ne l'est pas. Pour essayer d'augmenter cette Aw, la diminution du temps de cuisson n'a pas été retenue, car dans ce cas, les crackers obtenus étaient encore partiellement mous au centre.

Dans la littérature, l'activité de l'eau joue un rôle dans la croustillance d'un produit. En dessous d'une activité d'eau de $0,500 \pm 0,200$, la croustillance est conservée (Hough et al., 2001 ; Arimi et al., 2010).

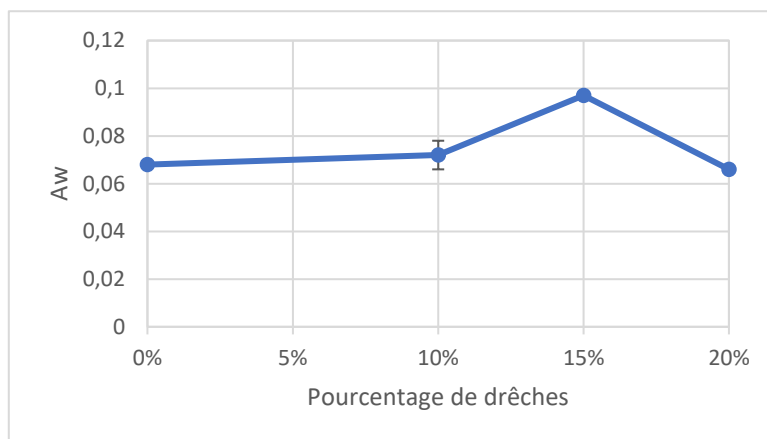


Figure 121 : Influence de la teneur en drêche de brasserie à 0 %, 10 %, 15 % et 20 % sur l'activité de l'eau (± 2 écarts-types).

Conclusion

En conclusion, l'incorporation de la drêche de brasserie diminuerait la dureté, l'épaisseur, la croustillance, la luminosité et la teneur en matière sèche du cracker. Cependant, l'incorporation de drêches de brasseries ne semble pas affecter l'activité de l'eau, celle-ci étant trop basse pour chaque formulation.

2. 4. 5 Étude de l'influence du type de four

Deux fours différents ont été utilisés, le four à pain Salva et le four à vapeur Air-o-steam (en mode air pulsé sans vapeur) afin de voir si les propriétés des crackers peuvent être améliorées sans l'ajout d'un additif. Les crackers cuits avec le four à vapeur Air-o-steam sont plus croustillants, ont une épaisseur plus élevée et une couleur plus foncée. Pour analyser l'homogénéité des fours, les températures dans ceux-ci ont été enregistrées avec un thermocouple (un au milieu et l'autre au bord).

Une différence de température de 6,7 °C entre le bord et le milieu du four a été observée dans le four à pain (durant 25 minutes). Pour pallier cet écart de température, les crackers ont été placés uniquement dans le centre du four et la température a été suivie à l'aide d'un thermocouple.

Les analyses suivantes ont été réalisées sur des crackers sans drêches dans deux fours différents et durant deux temps de cuisson différentes (20 et 25 minutes), car le temps de cuisson varie entre les deux fours. Pour obtenir des crackers de cuisson similaire, le temps de cuisson était de 25 minutes pour le four à pain et 20 minutes pour le four à vapeur Air-o-steam (en mode air pulsé sans vapeur).

Influence du four sur la croustillance

La figure 122 reprend les résultats du nombre de pics moyen par crackers en fonction du four utilisé. Cette valeur sur le four à air pulsé est plus importante que pour le four à pain que ce soit à 20 ou 25 minutes de cuisson. L'écart-type est également plus important, ce qui peut être expliqué par le fait que le four à air pulsé fait lever les crackers et les rend plus épais, mais pas forcément de façon uniforme.

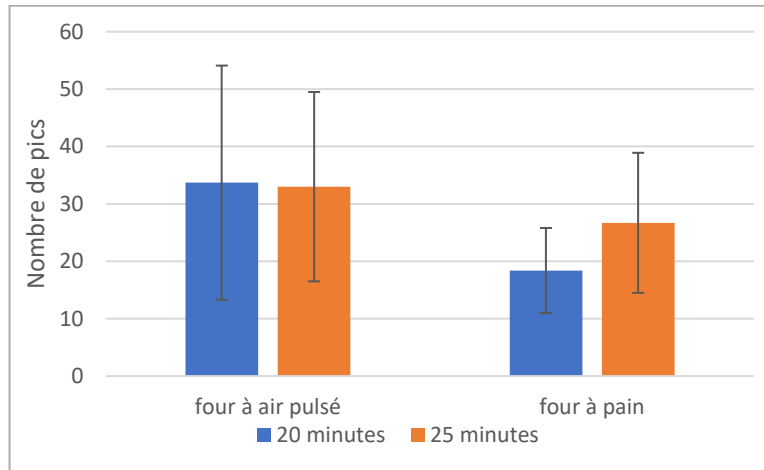


Figure 122 : Impact du four et du temps de cuisson sur le nombre de pics (± 2 écarts-types) sur la formulation de base du cracker.

Influence du four sur l'épaisseur

La figure 123 montre que l'épaisseur du cracker de référence sans drêche varie en fonction du four utilisé. Pour les crackers cuits au four à air pulsé, les deux valeurs sont similaires aux deux temps de cuisson avec une épaisseur de 0,64 cm. Cette valeur est supérieure à la valeur obtenue pour le cracker cuit au four à pain durant 25 minutes, qui a une épaisseur de 0,49 cm. Ici encore, le cracker passé au four à pain durant 20 minutes n'était pas cuit. L'eau n'ayant pas encore été totalement évaporée pourrait être la raison d'une épaisseur plus élevée qu'à 25 minutes de cuisson. Ces résultats ne sont donc pas comparables aux autres.

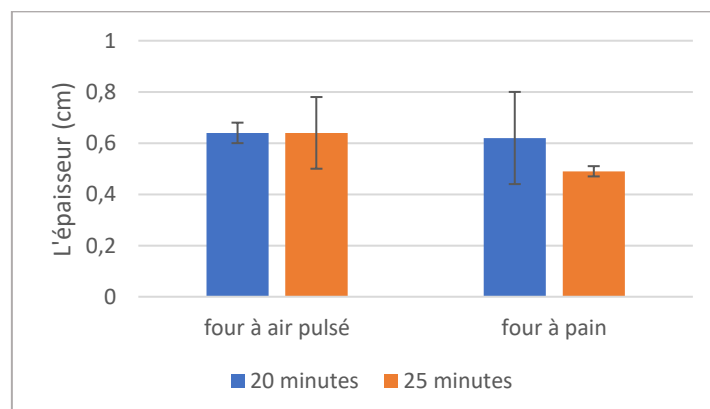


Figure 123 : Impact du four et du temps de cuisson sur l'épaisseur (± 2 écarts-types) de la formulation de base du cracker.

L'activité de l'eau

L'activité de l'eau obtenu avec le four à air pulsé est très basse, avec une activité de l'eau inférieure à 0,070. Celle obtenue par le four à pain, pour les crackers cuits à 25 minutes, est supérieure, avec une Aw de 0,164 (figure 124). Cette valeur se rapproche plus de l'objectif du cahier des charges qui prévoit une Aw de 0,200 à 0,500. Après 20 minutes de cuisson, pour le four à pain, les crackers n'étaient pas cuits de façon optimale et étaient encore mous à l'intérieur, ce qui explique que l'Aw soit plus élevée.

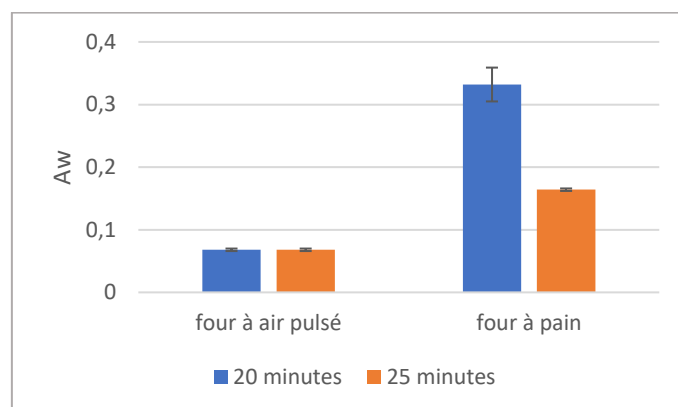


Figure 124 : Impact du four et du temps de cuisson sur l'activité de l'eau (± 2 écarts-types) sur la formulation de base du cracker.

Conclusion

Le choix du four pour la formulation finale s'est porté sur le four à air pulsé qui donne de meilleurs résultats au niveau de la croustillance et de l'épaisseur malgré une activité de l'eau trop basse.

2. 4. 6 Étude de l'influence de l'incorporation de bicarbonate

Une étude a démontré que l'ajout de bicarbonate permet la formation de bulles d'air lors de la cuisson en se décomposant en carbonate de sodium et dioxyde de carbone (Kweon et al., 2013). Ceci pourrait donc augmenter l'épaisseur des crackers et jouer sur leur texture. Les formulations de crackers utilisées ci-dessous ont été réalisées dans le four à air pulsé.

Influence du bicarbonate sur la texture

Les résultats entre la littérature et ceux observés concordent. Les figures 125 et 126 reprennent l'influence du bicarbonate sur la force nécessaire à couper le cracker et sur le nombre de pics. Il semblerait, d'après ces résultats, que l'ajout de bicarbonate augmenterait le nombre de pics pour le cracker à 20 % de drêches et diminuerait la dureté du snack en général. Néanmoins, les écarts-types sont très élevés.

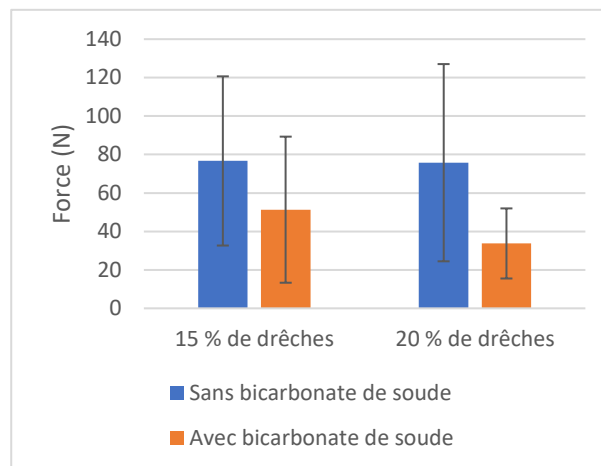


Figure 125 : Influence de l'ajout de bicarbonate de soude sur la force (N) (± 2 écarts-types) sur des crackers à 15 % et 20 % de drêches.

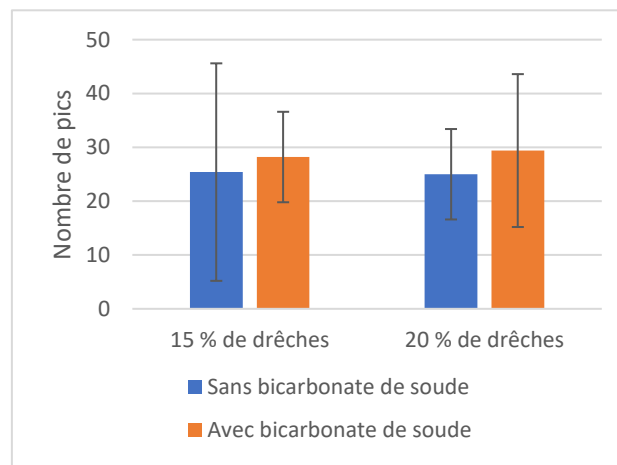


Figure 126 : Influence de l'ajout de bicarbonate de soude sur le nombre de pics (± 2 écarts-types) sur des crackers à 15 et 20 % de drêches.

Influence du bicarbonate sur l'épaisseur

Il est possible de remarquer sur la figure 127, que l'épaisseur des crackers augmente avec le bicarbonate de soude, mais que l'écart-type augmente également. Ceci pourrait être dû à la formation de bulles de gaz qui ont été emprisonnées, mais pas de manière homogène, vu que le réseau de gluten est affaibli par l'ajout des drêches de brasserie (Kweon et al., 2013).

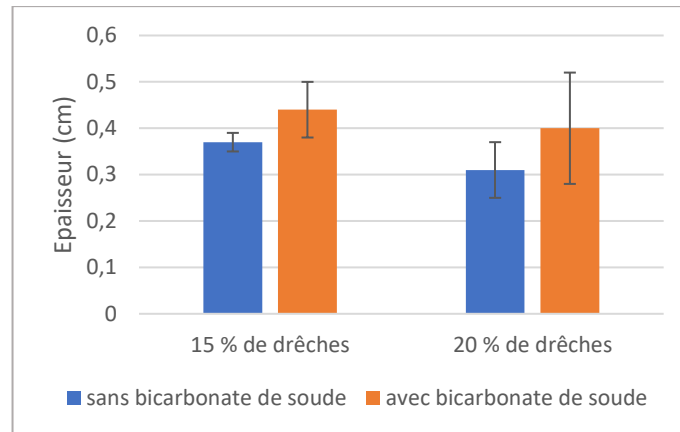


Figure 127 : Influence de l'ajout de bicarbonate de soude sur l'épaisseur (± 2 écarts-types) des crackers à 15 et 20 % de drêches.

Conclusion

Même si le bicarbonate de soude a un effet sur la texture et l'épaisseur du cracker, il n'a pas été retenu, car il a été décidé de ne pas utiliser d'additifs, comme souhaité dans le cahier des charges. En outre, l'influence du bicarbonate de soude n'a pas eu autant d'influence qu'espéré, ce qui peut s'expliquer par le fait qu'une partie des gaz produits par le bicarbonate de soude n'a probablement pas pu être retenue par le réseau de gluten affaibli à cause de l'ajout de drêches (Kweon et al., 2013). De plus, la différence au niveau gustatif entre le cracker avec et sans bicarbonate est faible et les écarts-types des résultats sont grands.

2. 4. 7 Conclusion de l'analyse des crackers

Les analyses ont permis d'étudier l'influence de l'ajout de drêches de brasserie sur les crackers. La teneur en drêches diminue la dureté, l'épaisseur et le nombre de pics.

De plus, le four à air pulsé a été retenu bien qu'il réduise davantage l'activité de l'eau que le four à pain, il permet d'augmenter la croustillance et l'épaisseur ainsi que de diminuer la dureté.

Pour finir, l'ajout de bicarbonate n'a pas été retenu, car son effet n'a pas donné les résultats escomptés et également pour éviter l'ajout d'additif.

2. 4. 8 Tableau résumé des crackers réalisés

Drêche substituée au maïs (g)	Type de farine de blé	Bicarbonate substitué au maïs (g)	Four	Temps (min)	Laminoir	Aw	Matière sèche (%)	Force (N)	Nombre de pics (threshold 0,3 N)
0	Complète	0	F. à pain	25	/	Pré-tests non caractérisés			
0	Complète	0	F. à pain	25	/				
0	Complète	0	F. à pain	25	0				
0	Complète	0	F. à pain	25	1				
0	Complète	0	F. à pain	25	2				
0	Complète	0	F. à pain	25	2	0,123 ± 0,023	99,11 ± 0,04	34,644 ± 30,868	
5	Complète	0	F. à pain	25	2	0,127 ± 0,034	98,20 ± 0,14	23,738 ± 15,158	14,3 ± 4,7
10	Complète	0	F. à pain	25	2	0,138 ± 0,001	97,79 ± 0,35	20,462 ± 8,35	10 ± 3,4
10	Complète	0	F. à pain	20	2	0,106 ± 0,007	99,40 ± 0,06	30,027 ± 7,378	13,9 ± 2,6
0	Blanche	0	F. à pain	25	2	0,164 ± 0,001	95,31 ± 0,31	78,912 ± 30,392	26,4 ± 9,3
0	Blanche	0	F. à air pulsé	25	2	0,068 ± 0,002	99,53 ± 0,14	99,211 ± 65,741	33,0 ± 16,5
0	Blanche	0	F. à air pulsé	20	2	0,068 ± 0,002	99,50 ± 0,07	74,937 ± 34,06	33,7 ± 20,4

0	Blanche	0	F. à pain	20	2	0,332 ± 0,027	93,44 ± 0,13	70,679 ± 66,714	18,4 ± 7,4
10	Blanche	0	F. à pain	25	2	0,064 ± 0,002	98,85 ± 0,01	23,649 ± 9,674	/
10	Blanche	0	F. à pain	25	2	0,176 ± 0,184	98,32 ± 0,52	67,81 ± 48,92	20,8 ± 8,7
10	Blanche	0	F. à pain	25	2	0,172 ± 0,198	97,75 ± 0,78	76,851 ± 45,516	24,2 ± 8,7
10	Blanche	0	F. à air pulsé	25	2	0,088 ± 0,024	99,15 ± 0,14	75,222 ± 43,042	29,9 ± 6,2
10	Blanche	0	F. à air pulsé	20	2	0,072 ± 0,012	99,25 ± 0,34	80,911 ± 39,962	32,2 ± 11,4
10	Blanche	0	F. à pain	20	2	0,286 ± 0,007	96,40 ± 0,66	62,321 ± 47,892	25,4 ± 8,4
15	Blanche	0	F. à pain	25	2	0,070 ± 0,004	98,95 ± 0,18	78,733 ± 23,126	21,5 ± 7,8
15	Blanche	0	F. à air pulsé	20	2	0,097 ± 0,002	98,84 ± 1,12	76,667 ± 43,998	25,4 ± 10,1
15	Blanche	1	F. à air pulsé	20	2	0,067 ± 0,002	98,86 ± 0,88	51,313 ± 37,988	28,2 ± 6,6
15	Blanche	0	F. à air pulsé	20	2	0,077 ± 0,000	99,35 ± 0,00	68,806 ± 62,496	26,1 ± 8,1
15	Blanche	0	F. à air pulsé	20	2	0,064 ± 0,000	99,05 ± 0,01	52,954 ± 31,232	27,3 ± 8,5
20	Blanche	0	F. à pain	25	2	0,072 ± 0,016	98,50 ± 0,48	93,136 ± 57,534	21,6 ± 5,9
20	Blanche	0	F. à pain	25	1	0,097 ± 0,047	98,29 ± 0,40	74,422 ± 14,09	20,7 ± 6,8

20	Blanche	0	F. à pain	25	0	0,200 ± 0,058	95,94 ± 0,85	107,243 ± 51,318	12,2 ± 4,7
20	Blanche	0	F. à air pulsé	20	2	0.066 ± 0,002	98.81 ± 0,47	75,754 ± 51,286	25,0 ± 4,2
20	Blanche	1	F. à air pulsé	20	2	0.066 ± 0002	98.48 ± 0,21	33,757 ± 18,226	29,4 ± 7,1

2. 4. 9 Analyses du cracker final

Tout d'abord, la composition du produit final a été analysée, ainsi que son Nutri-Score, puis comparée à la concurrence. Ensuite, des tests de conservation (vieillessement, oxydation et analyse microbiologiques) ont été réalisés.

Analyse de la composition

Voici ci-dessous le tableau 35 récapitulatif de la composition des snacks. Les fibres, les glucides et les kilocalories n'ont pas été mesurés en laboratoire, ils ont été calculés sur base des ingrédients utilisés.

Tableau 35 : L'analyse complète du cracker poivre et sel.

Cracker au poivre et sel à 21,2 % de drêche sur la matière sèche	
Kilocalories	466,3 kcal/100 g*
Matière sèche	97,37 ± 0,01 %
Protéines	14,57 %
Lipides	16,84 %
Glucides	64,11 %**
Fibres alimentaires	16,50 %
Cendres	1,85 ± 0,00 %

*Calculé sur base des protéines, lipides et glucides avec la formule : Protéines (g) x 4 (kcal/g) + (Glucides- Fibres alimentaires) (g) x 4 (kcal/g) + Lipides x 9 (kcal/g).

** Calculé par soustraction : 100 – (humidité + protéines + lipides + cendres)

Tous les pourcentages (sauf le pourcentage de MS) sont des pourcentages sur la MS

Les analyses de composition ainsi que celles de conservation abordées dans les points qui vont suivre ont été réalisées sur le cracker au poivre et sel avec la formulation à 15 % de drêches de brasserie. Quand le cracker est dit « à 15 % de drêches » dans les parties précédentes, cela signifie 15 % avant cuisson et donc avant évaporation d'une grande quantité d'eau. Le pourcentage final de drêches calculé sur la matière sèche du cracker est de 21,2 %.

La teneur en protéines est reprise dans le tableau 35 et montre que les crackers, avec un taux de 14,6 %, sont plus riches en protéines que les snacks extrudés qui avaient un taux de 9,7 %. Ce résultat peut s'expliquer par la présence d'un plus grand taux de drêches dans les crackers, ainsi que par une farine de froment qui est plus riche en protéines que le maïs.

Le taux de matière grasse est de 16,84 %. Cette matière grasse est principalement apportée par l'huile de colza et les graines de lin.

La teneur en oméga-3 n'a pas été analysée mais a été calculée (annexe 9). Les crackers contiennent en théorie 1,860 g d'ALA pour 100 g de crackers et 0,399 g par 100 kcal de

crackers. Ils peuvent porter l'appellation « source d'oméga-3 » mais pas « riche en oméga-3 » car il ne contient pas 0,6 g d'ALA par 100 kcal de snack (RÈGLEMENT (UE) No 432/2012).

Les crackers contiennent 1,69 % de cendres. Elles représentent la partie inorganique des aliments et sont surtout constituées de minéraux.⁴⁸ L'analyse des différents minéraux dans le cracker n'a pas été réalisée.

Nutri-Score

D'après le calcul du Nutri-Score, le cracker peut porter le Nutri-Score B. Ce résultat permet d'atteindre l'objectif du cahier des charges. En annexe 10, sont repris les tableaux de calcul utilisés pour le Nutri-Score et pour le taux d'AGS. Les valeurs des sucres et des acides gras saturés sont approximatives, car elles ont été calculées sur base des ingrédients utilisés et de la littérature, et n'ont pas été mesurées en laboratoire.

Le pourcentage d'AGS pour les drêches de brasserie n'a pas été analysé, la valeur de 31,79 % d'acide gras monoinsaturés a été trouvée dans la littérature (Lordan et al. 2019).

Comparaison avec une référence de crackers du commerce

La référence utilisée pour comparer les résultats obtenus avec un snack du commerce est la référence MAD LAB. Le tableau 36 suivant reprend les caractéristiques du produit comparé au produit final.

Tableau 36 : Résultats de la comparaison des crackers avec la référence MAD LAB.

Paramètres	MAD LAB	Cracker
Aw	0,420 ± 0,002	0,064 ± 0,000
MS (%)	95,08 ± 0,219	97,37 ± 0,008
Force (N)	71,018 ± 54,398	52,954 ± 31,232
Nombre de pics	16,5 ± 14,4	27,3 ± 16,8

On constate que les valeurs sont très différentes de la référence du commerce. Les crackers MAD LAB présentent une activité de l'eau supérieure et une teneur en matière sèche inférieure aux crackers réalisés dans ce travail. La teneur en drêches des crackers MAD LAB étant inconnue, il est difficile de comparer ces deux produits en fonction de leur teneur en drêches. De plus, les crackers MAD LAB n'ont pas été analysés le jour de leur production. Cependant, l'emballage étant censé empêcher la réhydratation du produit, cela n'expliquerait donc probablement pas cette différence importante entre les produits.

Au niveau de la force nécessaire à casser les crackers, les crackers de MAD LAB présenteraient une dureté plus importante, mais l'écart-type étant très élevé, ces résultats sont à prendre avec précaution. En revanche, le nombre de pics est plus petit pour les crackers MAD LAB ce qui montre qu'ils sont moins croustillants. Comme vu dans la littérature, plus l'activité de l'eau

⁴⁸ McClements, D. J. (s.d.). *ANALYSIS OF ASH AND MINERALS*. People.umass.edu. Consulté le 19 juillet 2022, <http://people.umass.edu/%7Emccllemen/581Ash&Minerals.html>

augmente, plus la croustillance diminue, surtout quand elle atteint $0,5 \pm 0,2$ (Hough et al., 2001 ; Arimi et al., 2010). L'activité de l'eau plus élevée du cracker MAD LAB pourrait donc expliquer sa croustillance plus faible.

Comme le montre le tableau 37, les crackers développés dans ce travail sont plus pauvres en calories que les crackers aux drêches de MAD LAB, mais similaires aux Tuc de Lu et aux crackers au romarin de YUMA. En regardant le pourcentage de lipide, il est possible de remarquer qu'ils sont moins riches en lipides que les Tuc et que les crackers au romarin, mais plus riche en lipides que les crackers aux drêches de MAD LAB. La comparaison du taux de fibres n'a pas pu être réalisée avec les crackers MAD LAB et YUMA, qui n'indiquent pas cette valeur sur l'étiquette. En revanche, les Tucs sont plus pauvres en fibres en comparaison aux crackers. Les crackers mises au point dans ce travail sont aussi plus riches en protéines que tous ceux du commerce analysés. Pour finir, ils possèdent un meilleur Nutri-Score que les Tucs de LU et que les crackers au romarin de YUMA. Le Nutri-Score des crackers de MAD LAB est inconnu.

Tableau 37 : Comparaison des crackers avec des marques de la concurrence.

Produit	Ingrédients	Composition nutritionnelle pour 100g
Cracker aux drêches de brasserie	Farine de blé, drêches de brasserie (21,2 %), huile de colza, graines de lin, sel, poivre.	Kcal : 466,3 kcal Lipides : 16,84 g Fibres : 16,50 g Protéines : 14,57 g Nutri-Score : B
Crackers aux drêches et thym MAD LAB	Farine moulue sur pierre*, huile de tournesol* ; drêche (orge)*, thym* 1%, sel, antioxydant : extrait de romarin* *ingrédients issus de l'agriculture biologique	Kcal : 564,12 kcal Lipides : 15,74 g Fibres : / Protéines : 11,70 g Nutri-Score : /
Tuc Original LU ⁴⁹	Farine de BLÉ, huile de tournesol 17%, extrait de malt d'ORGE, sirop de glucose, poudre à lever (carbonates d'ammonium, carbonates de sodium), sel, OEUFS, arôme, agent de traitement de la farine (DISULFITE de sodium). Peut contenir soja, lait et sésame.	Kcal : 479 kcal Lipides : 19 g Fibres : 2,4 g Protéines : 8,4 g Nutri-Score : D

⁴⁹ Consulté le 30 juin 2022. <https://www.delhaize.be/fr-be/shop/Epicerie-salee/Chips-et-snacks-aperitif/Biscuits-aperitif-et-toasts/Crackers-et-creppies/Crackers-Original-Mini/p/S2018060600066890000>

Crackers romarin YUMA ⁵⁰	Farine de blé, huile de tournesol, graines de lin (6%), graines de tournesol, graines de sésame, farine de grillons (3%), romarin (2%), sel marin	Kcal : 461 kcal Lipides : 24 g Fibres : / Protéines : 12 g Nutri-Score : C
--	---	--

Pour conclure, les crackers élaborés dans ce travail possèdent des caractéristiques de texture (croustillance et dureté) qui semblent être meilleures que celles des crackers de MAD LAB. En revanche, l'Aw des crackers de MAD LAB est plus favorable pour lutter contre le risque d'oxydation.

En regardant la composition nutritionnelle, celle de nos crackers semble meilleure, mais tout en restant proche de celle de MAD LAB sauf pour la qualité de l'huile et les kilocalories où on se situe à environ 100 kcal en moins.

En comparaison avec les autres crackers du commerce, nos crackers aux drêches ont une meilleure composition nutritionnelle (moins gras, plus riches en protéines et en fibres) mais en restant dans des valeurs proches de kilocalories.

Calcul du coût du cracker

Le coût des crackers a été calculé uniquement à partir des prix de la matière première, comme le montre le tableau 38. Le coût de la main-d'œuvre, de la location des locaux, ainsi que les charges, des appareils et de l'emballage étant compliqué à estimer, ils n'ont pas été pris en compte dans ce calcul. Le coût a été basé sur le prix des ingrédients utilisés durant ce travail, qui ont pour une majorité été achetés dans le magasin Colruyt.

Le coût des crackers pour 100 g est de 0,23 €, dont les ingrédients les plus chers sont la fleur de sel et le poivre aux 5 baies.

⁵⁰ Consulté le 30 juin 2022. <https://www.delhaize.be/fr-be/shop/Epicerie-salee/Chips-et-snacks-aperitif/Biscuits-aperitif-et-toasts/Crackers-et-creppies/Crackers-Romarin/p/S2022040700414890093>

Tableau 38 : calcul du prix de revient pour 100g de crackers.

Ingrédients	Prix au kilo (€)	Quantité pour 100g de crackers	Prix pour 100g de produit (€)
Farine blanche ⁵¹	1,5	58,8	0,09
Drêches	0	21,2	0,00
Graine de lin ⁵²	3,33	8,5	0,03
Sel de table ⁵³	0,28	0,7	0,00
Huile de colza ⁵⁴	6,58	9,7	0,06
Poivre ⁵⁵	54	0,4	0,02
Fleur de sel ⁵⁶	31,92	0,7	0,02
Total :			0,23

2. 4. 10 Analyse du vieillissement accéléré

Un vieillissement accéléré a été fait sur des crackers avec 15 % de drêches et épices. Un lot de crackers contient en plus de l'extrait de romarin, car l'oxydation peut affecter dans certains cas la couleur et la texture (Genot et al., 2004). Les échantillons ont été placés dans des sachets en aluminium, fermés hermétiquement, sans les avoir mis sous vide pour ne pas les écraser et sans ajout d'une atmosphère modifiée. Puis, ils ont été placés dans une armoire à 32 °C. Chaque semaine, la texture, la couleur, la matière sèche et l'activité de l'eau ont été contrôlées. Les résultats pour l'Aw, la MS, la force et le nombre de pics sont repris dans les tableaux 39 et 40 ci-dessous.

⁵¹ Farine blanche. (s.d.). moulinrenard. Consulté le 25 juillet 2022, https://www.moulinrenard.be/produitdetails.php?iNoPage=1&iIDGroupe=5&iIDCategorie=25&iIDProd=70&strOrderBy=cat_Order,%20rel.Order&LimitRecord=12

⁵² graines de lin brun 3kg. (s.d.). Greenweez. Consulté le 25 juillet 2022, <https://www.greenweez.com/markal-graines-de-lin-brun-3kg-p87167>

⁵³ Sel. (s.d.). Collectandgo. Consulté le 25 juillet 2022, https://www.collectandgo.be/colruyt/fr/assortiment/sel#pdp_3074457345616678341

⁵⁴ Huile de colza. (s.d.). Collectandgo. Consulté le 25 juillet 2022 https://www.collectandgo.be/colruyt/fr/recherche?searchTerm=huile+de+colza+#pdp_3074457345616720427

⁵⁵ Poivre 5 baies grains 35 g. (s.d.). drive carrefour. Consulté le 25 juillet 2022, <https://drive.carrefour.be/fr/Epicerie/Sauces%2C-condiments-%26-aides-culinaires/Sel-%26-%C3%A9pices/Poivre/Carrefour%7CPoivre-5-Baies-Grains-35-g/p/05983980>

⁵⁶ marseille fleur de sel pot 125g. (s.d.). Collectandgo. Consulté le 25 juillet 2022, <https://www.collectandgo.be/colruyt/fr/assortiment/marseille-fleur-de-sel-pot-125g-5145-p-2>

Tableau 39 : Tableau des résultats des analyses de vieillissement des crackers sans extrait de romarin.

Crackers sans extrait de romarin	Aw	MS (%)	Force (N)	Nombre de pics
Semaine 0 (T0)	0,077 ± 0,018	99,35 ± 0,21	68,806 ± 62,496	27,3 ± 8,4
Semaine 1 (T7)	0,076 ± 0,013	99,46 ± 0,35	61,249 ± 32,602	26,3 ± 5,7
Semaine 2 (T14)	0,071 ± 0,003	99,45 ± 0,01	74,197 ± 45,350	25,8 ± 4,9
Semaine 3 (T21)	0,087 ± 0,008	99,69 ± 0,15	58,551 ± 50,316	29,7 ± 9,5
Semaine 4 (T28)	0,067 ± 0,005	99,62 ± 0,01	55,205 ± 26,744	23,5 ± 6,8

Tableau 40 : Tableau des résultats des analyses de vieillissement des crackers avec extrait de romarin.

Crackers avec extrait de romarin	Aw	MS (%)	Force (N)	Nombre de pics
Semaine 0 (T0)	0,064 ± 0,000	99,06 ± 0,40	52,954 ± 31,232	26,1 ± 8,1
Semaine 1 (T7)	0,067 ± 0,000	99,32 ± 0,21	50,871 ± 43,490	27,6 ± 4,5
Semaine 2 (T14)	0,065 ± 0,004	99,34 ± 0,19	63,603 ± 42,718	32,3 ± 9,5
Semaine 3 (T21)	0,068 ± 0,001	99,46 ± 0,13	51,503 ± 38,818	31,1 ± 8,3
Semaine 4 (T28)	0,080 ± 0,011	99,38 ± 0,02	54,895 ± 29,687	25,3 ± 8,2

La texture

Les résultats de la variation de la dureté (pour couper le cracker en deux) ne paraissent pas linéaires pour aucune des deux formulations. La force pour couper le cracker en deux à la semaine 0 est plus basse pour les crackers avec extrait de romarin. Sur la figure 128 un parallélisme est observé entre les semaines 0 et 3, avec une force qui varie de manière similaire entre les deux crackers pour arriver à une valeur proche en semaine 4.

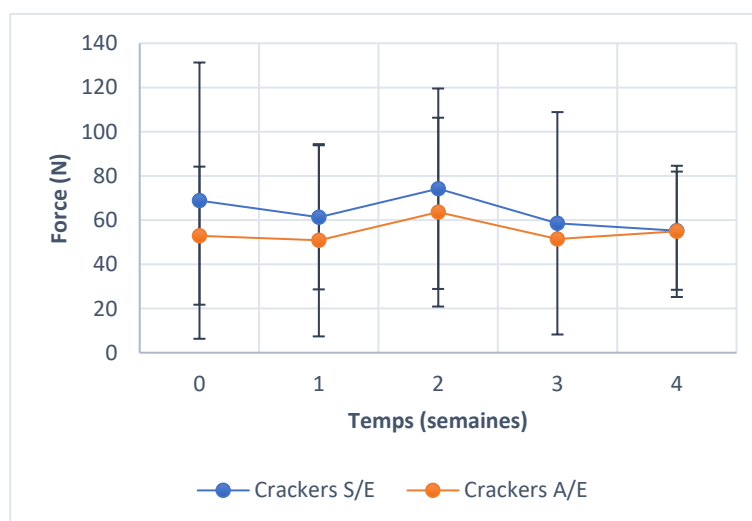


Figure 128 : Influence du temps (en jours) sur la force de nécessaire à couper le cracker (en Newton) sur des crackers avec et sans extrait de romarin.

Les résultats pour les pics ne semblent pas varier de manière linéaire non plus (figure 129). De plus, contrairement à la force, les deux courbes ne paraissent pas varier de la même manière, ce qui pourrait impliquer une certaine influence de l'extrait de romarin. Cependant, à la vue de la grandeur des écarts-types, il est difficile de dire s'il y a vraiment une différence entre les crackers avec et sans antioxydant d'autant plus que les valeurs en semaine 4 sont similaires.

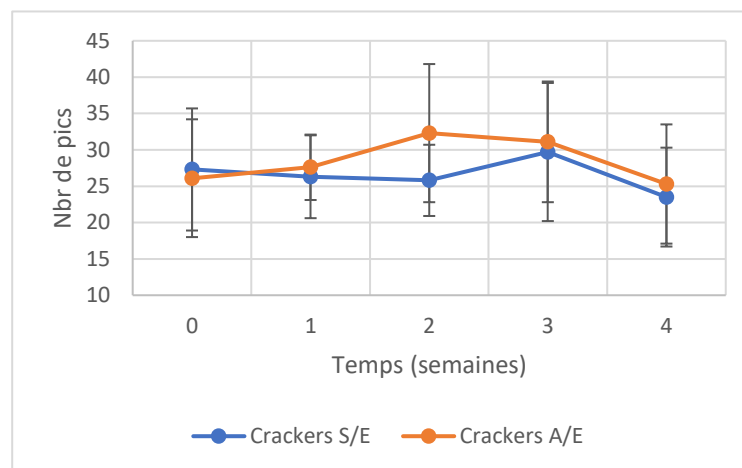


Figure 129 : Influence du temps (jours) sur le nombre de pics des crackers (avec ± 2 écarts-types) sur des crackers avec et sans extrait de romarin.

L'activité de l'eau

Sur la figure 130 sont illustrés les résultats du vieillissement concernant l'activité de l'eau. L'activité de l'eau est très basse au temps 0 et ne semble pas varier durant les quatre semaines, ce qui est conforme aux résultats attendus avec un emballage en aluminium imperméable à l'eau⁵⁷. Les crackers sans extrait de romarin semblent avoir une activité de l'eau plus élevée que les crackers avec extrait et les écarts-types pour les crackers sans extrait semblent également être plus importants.

⁵⁷ Alfed. (s.d.). *UK aluminium industry fact Sheet 15, Aluminium packaging*. Alfed. Consulté le 09 août 2022, <https://www.alfed.org.uk/files/Fact%20sheets/15-aluminium-packaging.pdf>

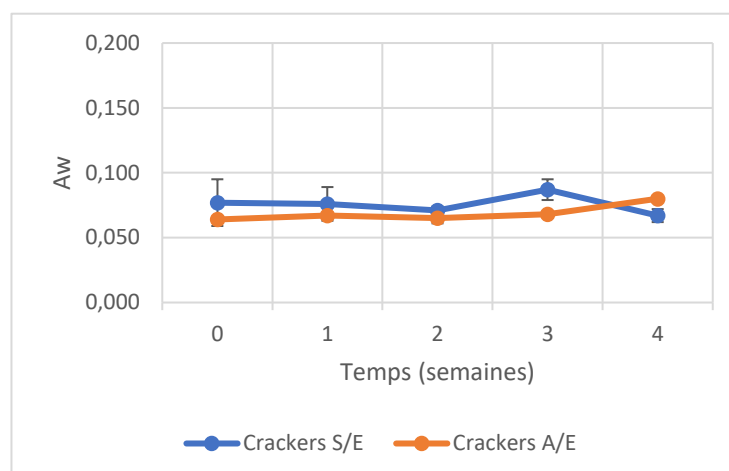


Figure 130 : Influence du temps (en semaines) sur l'activité de l'eau (avec ± 2 écarts-types) sur des crackers avec (A/E) et sans extrait de romarin (S/E).

La matière sèche

Il n'est pas possible d'affirmer que la matière sèche augmente au cours du temps de stockage, vu que l'écart-type de la semaine 0 est élevé (figure 131). De plus, l'allure de la courbe future est difficile à prédire et ainsi il est impossible de prédire l'évolution de la matière sèche.

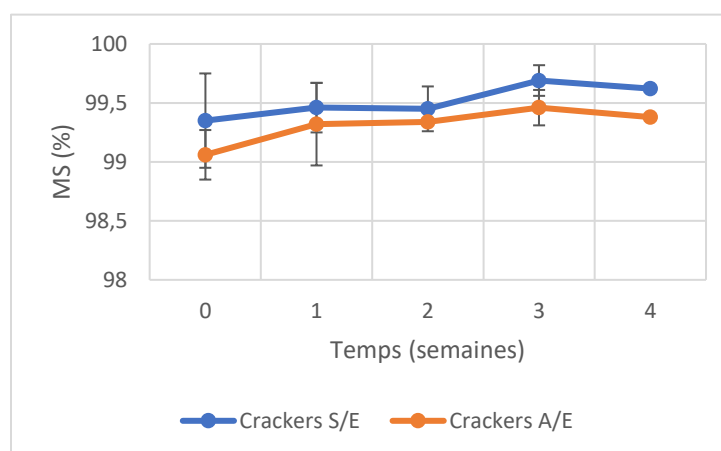


Figure 131 : Influence du temps (en jours) sur la matière sèche (en pourcent) (avec ± 2 écarts-types) des crackers sur des crackers avec (A/E) et sans extrait de romarin (S/E).

Conclusion

Les résultats du vieillissement ne semblent pas varier au bout de la quatrième semaine, sauf peut-être pour la matière sèche, mais les écarts-types étant importants, il est difficile de dire si la matière sèche varie vraiment. Un vieillissement sur un mois n'est pas suffisant pour dire si la date de durabilité minimale de 3 mois peut être atteinte. L'idéal serait de faire un vieillissement en temps réel qui couvre toute la durée de la DDM. En ce qui concerne l'extrait de romarin, il ne semble pas affecter les paramètres étudiés ici.

2. 4. 11 Analyse de l'oxydation sur les crackers

L'activité de l'eau des crackers est inférieure à 0,1, ce qui les rend plus à risque d'oxydation. Pour cette raison, un test d'oxydation à l'aide du Rancimat est réalisé afin de déterminer le temps d'induction des crackers concernant la stabilité oxydative des lipides avec une extrapolation des résultats à 20 °C. Ceci ne renseigne que sur le temps de conservation sans emballage de protection, car un flux d'air de dix litres par heure est appliqué sur les échantillons.

Deux échantillons de crackers ont été préparés, l'un sans extrait de romarin et l'autre avec extrait. L'extrait de romarin étant un antioxydant, le but était de voir si la durée de conservation pourrait être allongée par son utilisation (Yang et al., 2016 ; Règlement 1333/2008). Ils ont été analysés à 90 °C, 100 °C, 110 °C, 120 °C et 130 °C avec un flux d'air de 10 litres par heure. Le flux d'air a été choisi pour faire en sorte que les crackers, broyés avec un pilon, soient exposés aux mêmes conditions que l'huile d'enrobage des extrudés, vu que la littérature n'est pas claire sur le flux exact à utiliser pour des crackers. L'idéal aurait été d'extraire la matière grasse des crackers.

Les résultats de l'extrapolation montrent qu'à 20 °C, avec un flux d'air de dix litres par heure, la matière grasse du cracker a un temps d'induction à 0,13 année, ce qui correspond à 47,5 jours (figure 132).

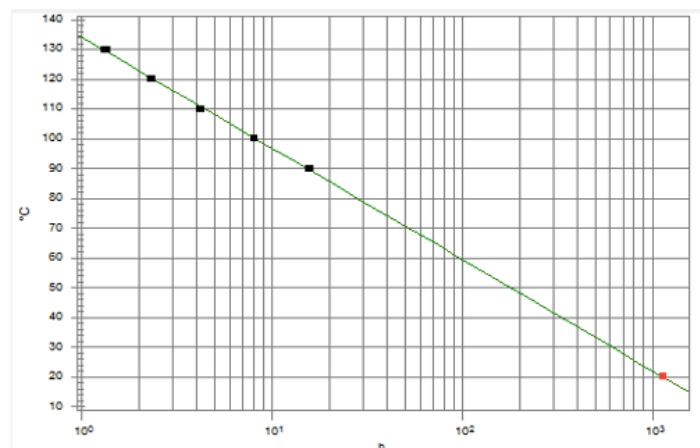


Figure 132 : Extrapolation du temps d'induction de l'oxydation à 20 °C des crackers sans antioxydant.

Des résultats inattendus sont apparus avec les crackers qui contiennent l'extrait de romarin. En effet, les temps d'induction à chacune des températures étaient plus courts que pour les crackers sans extrait de romarin. L'extrapolation à 20 °C montre un temps d'induction de 0,1 années, soit 36,5 jours, ce qui représente 11 jours de moins par rapport à l'échantillon sans extrait de romarin (figure 133). Or, l'extrait de romarin étant un antioxydant, le résultat attendu était une augmentation de ce temps d'induction.

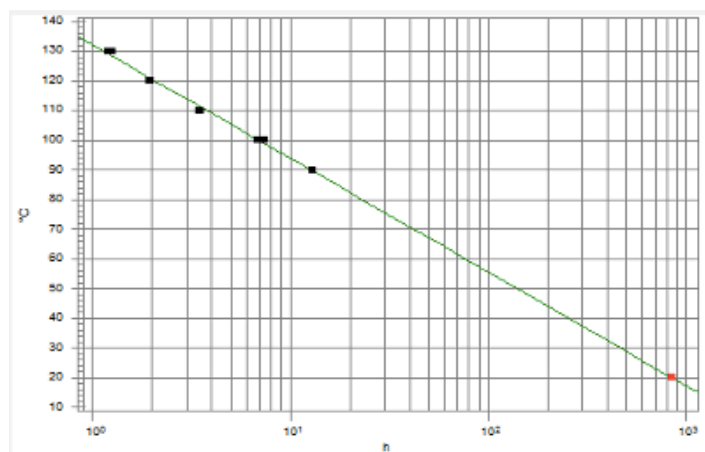


Figure 133 : Extrapolation du temps d'induction de l'oxydation à 20 °C des crackers avec extrait de romarin.

Les résultats du Rancimat montrent que les crackers sont très sensibles à l'oxydation si les résultats sont comparés à l'huile d'enrobage, alors que les crackers contiennent la même huile que celle utilisée pour l'huile d'enrobage, avec comme seule différence qu'elle a été chauffée durant la cuisson des crackers. La valeur d'Aw des crackers favorise l'oxydation des lipides. L'huile utilisée ici est une huile de colza extraite à froid, qui contient 28 g d'acide gras polyinsaturé de type oméga-3 pour 100 g d'huile, ce qui en fait une huile très à risque d'oxydation, d'autant plus avec une cuisson préalable (Genot et al., 2004). Selon l'étude de Saleem & Ahmad, l'huile de colza pressée à froid peut être utilisée pour la friture jusqu'à une température de 180°C (Saleem & Ahmad, 2018). Les crackers ont été cuits à cette température, ce qui n'aurait pas dû poser de problème, d'autant plus que l'huile n'est pas utilisée en friture, mais mélangée à d'autres ingrédients dans une pâte. Il est difficile de dire si la température de cuisson est trop élevée ou si c'est seulement l'activité de l'eau qui augmente le risque d'oxydation.

Afin de réduire le risque d'oxydation, plusieurs moyens sont envisagés. Premièrement, l'emballage est un facteur primordial pour la conservation du produit. Il doit être complètement hermétique à l'oxygène pour ralentir l'induction de l'oxydation. L'emballage peut aussi contenir une atmosphère modifiée pour ne pas avoir d'oxygène disponible. Une optimisation de l'activité de l'eau permettrait également d'augmenter la résistance à l'oxydation du produit.

Pour finir, une possibilité pour réduire l'oxydation potentiellement produite durant la cuisson serait d'utiliser une huile moins riche en acides gras polyinsaturés de type oméga-3, mais cela diminuerait le taux d'oméga-3 final dans le produit.

Les crackers avec extrait de romarin s'oxydent plus rapidement que ceux sans extrait, ce qui semble montrer qu'ici, contrairement à l'huile d'enrobage des snacks extrudés, l'extrait de romarin joue un rôle pro-oxydant. Dans la littérature, Genot et al. (2004), dit que les

antioxydants antiradicalaires, comme en fait partie l'extrait de romarin, ne devraient pas être ajoutés en trop grande quantité, sinon une augmentation de la vitesse de formation des composés d'hydroperoxyde peut se produire. C'est ce qui a peut-être été le cas ici en ajoutant la teneur maximale légale. Cela démontre que le choix de l'antioxydant, ou encore de plusieurs antioxydants qui agiraient en synergie est primordial et la quantité doit être choisie avec soin par le biais de tests qui déterminent quelle quantité est la meilleure pour chaque produit (Genot et al., 2004).

2. 4. 12 L'analyse microbiologique

Mesurer la charge microbiologique des crackers est important pour voir s'ils sont aptes à la consommation humaine.

Les bactéries lactiques ont été choisies pour caractériser la fermentation des drêches (tableau 41) et les bactéries totales (tableau 42) et les levures et moisissures (tableau 43) pour voir s'ils ont été produits dans des conditions hygiéniques.

Tableau 41 : Bactéries lactiques dans les crackers.

Bactéries lactiques (ufc)	
Dilutions	Crackers
10^{-1}	9
10^{-2}	0
10^{-3}	0
10^{-4}	0
10^{-5}	0
TOTAL par gramme d'échantillon	145,45 ufc/g

Tableau 42 : Bactéries totales dans les crackers.

Bactéries totales (mésophiles) (ufc)	
Dilutions	Crackers
10^{-1}	16
10^{-2}	0
10^{-3}	0
10^{-4}	0
10^{-5}	0
TOTAL par gramme d'échantillon	145,45 ufc/g

Tableau 43 : Levures et moisissures dans les crackers.

Levures (L) et moisissures (M) (ufc)	
Dilutions	Crackers
10⁻¹	L : incomptable pour cause de colonies envahissantes M : 0
10⁻²	L : 0 M : 0
10⁻³	L : 0 M : 0
10⁻⁴	L : 0 M : 0
10⁻⁵	L : 0 M : 0
TOTAL par gramme d'échantillon	L : 0 ufc/g M : 0 ufc/g

Intégrer des drêches de brasserie sèches dans un cracker qui subit une cuisson et dont l'Aw est faible diminue les risques microbiologiques.

Pour les levures et moisissures, il est difficile de tirer des conclusions car des colonies envahissantes étaient présentes. Ceci peut peut-être s'expliquer par le fait que leur température d'incubation est de 25 °C, mais la pièce, avec une température de 30 à 31 °C, a peut-être favorisé leur croissance.

Dans le produit fini, la limite maximale est de 10³ ufc/g de moisissures⁵⁸. Les crackers sont donc conformes à la législation. Pour les levures, l'AFSCA donne une limite de 1000 ufc/g (m) et de 10 000 ufc/g (M) pour les levures et moisissures ensemble. Les crackers sont également conformes à cette législation.⁵⁹ En ce qui concerne les bactéries lactiques dans les crackers, aucune norme n'a pu être trouvée, mais comme la charge globale pour est de 81,82 ufc/g, on admet que notre échantillon est conforme. Du côté des germes anaérobies mésophiles, on peut retrouver jusqu'à 10⁵ ufc/g (m) ou 10⁶ ufc/g (M)⁶⁰. Il faudrait théoriquement faire plusieurs répétitions pour voir où se situent nos crackers, mais comme il y en a 145,45 ufc/g, il a été décidé dans le cadre de ce travail d'admettre que l'échantillon est conforme.

⁵⁸ Gouvernement du grand-duché de Luxembourg, Ministère de la Santé. (2018). Critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires, Lignes directrices pour l'interprétation.

⁵⁹ Guide d'autocontrôle pour les boulangeries et pâtisseries. (18 juin 2013). AFSCA. Consulté le 20 juin 2022, https://www.favv-afsca.be/autocontrôle-fr/guides/distribution/g026/ documents/G-026_V2_FR_18-06-2013.pdf

⁶⁰ Gouvernement du Québec. (2019). Lignes directrices et normes pour l'interprétation des résultats analytiques en microbiologie alimentaire.

2. 4. 13 Conclusion de la conception des crackers

La mise au point des crackers à base de drêches de brasserie a été réalisée. Avec les informations retrouvées dans la littérature et les analyses effectuées sur la matière première, les formulations ont pu être calculées afin d'atteindre les objectifs présents dans le cahier des charges. Ces objectifs ont, cependant, été atteints partiellement.

Sécurité

L'activité de l'eau prévue dans le cahier des charges se situe entre 0,200 et 0,500. L'activité de l'eau des crackers étant nettement inférieure, avec une A_w de 0,077, cet objectif n'a pas été atteint. Une augmentation de l'activité d'eau serait intéressante, voire nécessaire, pour limiter l'oxydation des crackers.

Au niveau des risques microbiologiques, l' A_w est assez basse pour limiter les risques et les analyses microbiologiques ont montré que les crackers sont conformes au niveau des moisissures, levures, bactéries lactiques et germes anaérobies mésophiles.

Société

Les crackers ont été réalisés dans l'optique de garder l'aspect plaisir lors d'apéritif entre amis. L'incorporation des drêches de brasseries ajoutant des fibres, des protéines et peu de glucides, répond à la demande d'un snack plus sain que ce qui se retrouve dans le commerce.

Les crackers ont une composition plus saine que les crackers trouvés dans le commerce. Cette comparaison peut être retrouvée au point 2. 4. 9 de ce chapitre.

Comme pour les snacks extrudés, les crackers ne sont pas d'origine biologique, car l'étude de marché a montré que la population n'est pas particulièrement intéressée par des snacks apéritifs d'origine biologique.

Service

Le prix de vente a été établi par l'étude de marché et a été fixé à environ 2,90 € pour 100 g de produit. Ceci est inférieur au prix moyen des snacks apéritifs à base de drêches de brasserie vendu en Belgique, mais semble être le prix que la population juge comme étant un prix correct.

Santé

Le taux d'incorporation de drêche atteint est de 21,2 %, ce qui ne représente que la moitié du taux d'incorporation visé dans le cahier des charges qui était de 40 %. Une incorporation d'une plus grande quantité de drêche n'a pas été possible dans le cadre de ce travail, car les caractéristiques physico-chimiques du cracker étaient fortement affectées par la drêche de brasserie.

Néanmoins, cette quantité de drêche est suffisante pour porter les allégations nutritionnelles demandées dans le cahier des charges qui est « riche en fibres ». La quantité de graines de lin et d'huile de colza permet de porter l'allégation « source d'oméga-3 ».

L'objectif du Nutri-Score a été atteint. Le calcul du Nutri-Score obtenu est score B.

Satisfaction

Une analyse sensorielle pour les crackers et les snacks extrudés a été conceptualisée au point 2.5 de ce chapitre, mais elle n'a pas été réalisée en pratique, ainsi la cote de satisfaction n'a pas pu être évaluée.

L'activité de l'eau inférieure à 0,5 est idéale pour conserver la croustillance des crackers. En comparant le nombre de pics avec la référence MAD LAB, les crackers élaborés dans ce travail semblent plus croustillants.

De plus, aucun additif n'a été utilisé pour améliorer la croustillance. Le goût a été défini d'après la réalisation de l'étude de marché et aucun exhausteur de goût n'a été utilisé. L'antioxydant « E392 extrait de romarin » n'est pas retenu et dans le futur, plus de tests devraient être réalisés pour trouver un antioxydant qui conviendrait mieux au produit.

Les crackers sont ronds et ont un diamètre de 40 mm, ce qui est proche des 35 mm souhaités.

2. 5 Mise en place d'une analyse sensorielle

Voici ci-après la conception d'une analyse sensorielle développée pour le snack apéritif à base de drêche de brasserie. Ceci est l'élaboration d'un plan d'analyse théorique qui n'a pas été réalisée en pratique.

Les objectifs pour cette analyse sont de :

1. Voir si les produits proposés sont appréciés par le consommateur
2. Voir jusqu'à quel pourcentage d'incorporation de drêches de brasserie le produit reste acceptable pour le consommateur
3. Voir à partir de quel moment le produit change de caractéristiques organoleptiques et n'est plus acceptable (pour évaluer la DDM)

Pour ce faire, l'approche hédonique de type test quantitatif d'acceptation sensorielle, d'appréciation et de préférence sera utilisée, ainsi que des tests de type discriminatif. Un panel de consommateur d'au moins 50 participants faisant partie de la population cible sera interrogé. Le panel ne sera pas constitué d'expert, car l'entraînement d'un panel est un processus très long et n'est pas représentatif du consommateur. Les objectifs des tests ne seront pas révélés aux participants pour ne pas biaiser leurs réponses (Goffin, 2020-2021).

Les points abordés durant cette analyse seront la texture, l'apparence générale des produits, leur couleur, leur goût, ainsi que l'acceptation du produit en fonction du taux d'incorporation des drêches de brasserie (Goffin, 2020-2021).

Hypothèse de départ :

- Les produits sont appréciés par le public cible.
- La texture est croustillante et agréable en bouche.
- Crackers : L'aspect visuel est conforme à l'idée d'un cracker à base de drêches de brasserie. La couleur n'est pas un facteur de rejet.
- Snacks extrudés : L'aspect visuel est plaisant et semblable aux snacks extrudés du commerce.
- Crackers : Les produits avec un taux de drêche de 21,2 % sur MS sont acceptables.
- Snacks extrudés : Les produits avec un taux de drêche de 13,4 % sur MS sont acceptables.

Le recrutement sera établi à l'aide d'un questionnaire pour savoir si le participant fait partie de la cible. Le test sera réalisé dans un local d'analyse sensorielle. Les produits seront distribués de manière aléatoire entre les participants et sa présentation se fera en aveugle, avec un code de trois chiffres aléatoires (Goffin, 2020-2021).

Les tests qui seront proposés sont les suivants :

Phase 1 : tests discriminatifs :

- Test triangulaire : trois échantillons de deux crackers avec un taux d'incorporation de drêches différent seront présentés et les participants devront dire lequel est sensoriellement différent des autres. Les résultats sont interprétés avec la table de loi binomiale ($P = 1/3$), en comptant le nombre de réponses correctes par rapport au nombre de participants total, avec une hypothèse bilatérale ($H_0 =$ il n'y a pas de différence significative entre les deux produits) (Norme NF ISO 10399, 2010 ; Goffin, 2020-2021). Le même test sera réalisé avec des snacks extrudés à 12,5 % de drêches de brasserie.
- Test par paire : Deux échantillons de crackers à 15 % de drêche de brasserie, l'un frais et l'autre vieux de trois mois, sont présentés aux participantes, qui doivent dire si une différence au niveau sensorielle est perceptible ou non. Les résultats sont interprétés avec la table de loi binomiale ($P = 1/2$) avec l'hypothèse unilatérale ($H_0 =$ il n'y a pas de différence significative entre les deux produits) (Norme NF ISO 5495, 2007 ; Goffin, 2020-2021). Le même test sera réalisé avec des snacks extrudés à 12,5 % de drêches de brasserie.

Phase 2 : test hédonique :

Par évaluation (Goffin, 2020-2021) :

- Crackers à 10 %, 15 % et 20 % de drêches de brasserie, analysés avec une échelle descriptive de 1 à 10 avec 1 étant très déplaisant et 10 étant très plaisant, et ce pour la texture (croustillance), la couleur et le goût (poivre et sel). Le même test sera réalisé avec les snacks extrudés à 5 %, 10 % et 12,5 % de drêches de brasserie.

VI. L'emballage

Maintenant que la conception des snacks apéritifs a été réalisée, il est important de les conserver dans un emballage adéquat. L'emballage est primordial pour garantir une conservation des propriétés organoleptiques des produits finis ainsi que leur sécurité tant en matière de risques microbiologiques, chimiques que physiques. Pour ce faire, l'emballage doit répondre à certains critères qui sont repris dans le cahier des charges fonctionnel du packaging. Les matériaux d'emballage déjà existant, utilisé par la concurrence ou en cours de développement ont été analysés. Finalement, le choix des emballages a été comparé au cahier des charges afin de voir s'il correspondait aux exigences requises.

1. Le cahier des charges fonctionnel du packaging

Le cahier des charges est la première étape nécessaire dans le choix d'un emballage. Il faut non seulement connaître les caractéristiques du produit pour sa protection, mais aussi connaître les caractéristiques voulues pour l'emballage d'un point de vue marketing, logistique, écoconception, etc. afin de pouvoir trouver un emballage qui correspond au mieux. Le tableau 44 reprend le cahier des charges fonctionnel du packaging.

Tableau 44 : Le cahier des charges fonctionnel du packaging (Léonard, 2021).

Fonction	Ensemble des fonctions techniques et marketing								
	Marketing	Ensemble des fonctions de l'emballage facilitant la vente							
		Esthétique	Avoir une esthétique attirante	1					
		Informers le consommateur sur le gaspillage alimentaire, d'où viennent les matières premières et comment recycler l'emballage		1					
		Être déclinable à autres produits			2				
		Facing max.	Permettre un facing maximum comparé à la concurrence			3			
		Image	Être en cohérence avec l'univers produit, la marque et la cible visée				4		
		Transparence	Permettre de voir le cracker ou le chips					5	
	Protection	Assurer la protection du produit							
		Gaz	Protéger le produit de l'oxydation, de l'humidité, et de tous gaz nuisibles et aux rayons UV	1					
		Arômes	Protéger le produit de la prise, ou de la perte, d'arômes	1					
		DDM	Assurer une protection, avant ouverture, permettant d'atteindre la DDM sans perte organoleptique et garantir une bonne texture	1					
		Chocs	Pouvoir tomber d'une hauteur d'un mètre sans s'ouvrir		2				
		Compression	Contribuer, par sa résistance mécanique, à la résistance au gerbage : si le produit est emballé dans une boîte, la boîte devra déjà être capable de résister au gerbage et si le produit est emballé dans un sachet, c'est le carton qui est l'emballage secondaire et le prêt-à-vendre qui devra résister aux contraintes de gerbage			3			
	Logistique	Être compatible avec les contraintes logistiques							
		Palettisation	Faciliter une palettisation efficace						
			Espace	Optimiser la quantité de produits par palette			1		
			Emballage secondaire	Avoir une dimension afin de pouvoir rentrer dans des bacs réutilisables pour diminuer le suremballage				2	
		Mise en rayon	Faciliter les opérations de mise en rayon						

		Volume déchets	Minimiser les volumes de déchets après mise en rayon		2				
	Manutention	Être apte pour les machines utilisées classiquement				3			
Conditionnement	Faciliter les opérations de mise en forme et de remplissage de l'emballage								
	Standardisation	Faciliter les changements de format : Conditionnement individuel qui rentre dans un distributeur et format familial		1					
	Nomade	Être nomade pour pouvoir l'emporter facilement		1					
	Volume à vide	Occuper un minimum de volume avant mise en forme et remplissage			2				
	Emballage fini	Maximiser le volume occupé à l'intérieur de l'emballage				3			
Consommateur	Ensemble des fonctions facilitant l'usage pour le consommateur, ou le rendant attrayant								
	Ouverture et refermeture	Inviolabilité	Présenter une trace évidente en cas d'ouverture intempestive	1					
		Ouverture facile	Faciliter l'ouverture de l'emballage	1					
		Re-fermeture	Faciliter la re-fermeture de l'emballage	1					
	Législation	Reprendre les informations légales obligatoires nutritionnelles et les allégations nutritionnelles et de santé			2				
	Facilité d'emploi	Permettre une consommation aisée du produit dans toutes les circonstances de consommation				3			
Ecologie	Limiter les nuisances à l'environnement								
		Déchets	Minimiser les volumes de déchet solide après élimination	1					
	Éco-conception	Intégrer les critères environnementaux dans la conception de l'emballage, limiter les impacts, cradle 2 cradle							
		Vérifier la règle des 10 R							
		• Réflexion	Réfléchir aux impacts environnementaux et au gaspillage	1					
		• Rassurance	Rendre confiance en informant l'utilisateur		2				
		• Recyclabilité	Recycler les matériaux et/ou utiliser des matériaux recyclés		2				
		• Retrait	Retirer l'inutile quand c'est possible			3			
		• Réduction	Réduire et maximiser le contenu (<i>I^{aire}, II^{aire} et III^{aire}</i>)			3			
		• Récupération	Récupérer l'énergie potentielle et valoriser la fin de vie				4		

			• Reconsidérer	Reconsidérer les matériaux et/ou les énergies renouvelables				4	
			Comparaison	Être = ou < aux principaux concurrents en regard des poids et volumes d'emballage	1				

Remarques :

La fonction primaire de l'emballage sera de contenir les snacks extrudés et les crackers (deux emballages différents, mais des caractéristiques semblables sont recherchées).

Les 7 R qui nous semblaient les plus importants dans ce cahier des charges ont été sélectionnés. Les 3 autres R vont bien évidemment essayés d'être inclus au mieux durant la réflexion de la conception de l'emballage.

2. Les matériaux d'emballages

Avant de choisir un emballage, il est intéressant de connaître ce qui existe déjà sur le marché, afin de voir les avantages et les inconvénients de ces matériaux. Le développement d'emballages écoconçus est analysé également, car il est important de s'intéresser à ces nouveaux emballages innovants, dans le but de voir ce qu'il est possible de faire aujourd'hui et ce qu'il sera possible de faire dans le futur.





2. 1 Les matériaux d'emballage de la concurrence

Cette partie reprend les différents matériaux d'emballage et formes généralement retrouvées dans le commerce pour les chips et les crackers. Dans la partie marketing, les différents emballages de la concurrence ont déjà été brièvement abordés. Une étude plus poussée des différents matériaux est présente dans ce chapitre.

2. 1. 1 Emballages de chips et snacks extrudés

Pour les chips et snacks extrudés, plusieurs types d'emballages classiques ont été trouvés. Le tableau 45 reprend quelques exemples.

Tableau 45 : Emballages couramment retrouvés pour les chips.

Produits	Images	Compositions
Grills Lay's ⁶¹		Papier multicouche (plastique et aluminium)
Chips de pois chiches. Céréal ⁶²		Sachet plastique
Pringles original ⁶³		Boîte multicouche (métal et carton) + couvercle en plastique
Apero Balls Carrefour ⁶⁴		Sceau en plastique dur

⁶¹ Grills chips 125g. (s.d). Consulté le 17 octobre 2021, <https://drive.carrefour.be/nl/Chips-%26-aperitif/Chips/Specialiteiten/Lay%27s-Grills-Chips-125-gr/p/05659697>,

⁶² Chips de pois chiches. Cereal. (s.d). Consulté le 11 janvier 2022, <https://www.cereal.be/fr/produits/chips-de-pois-chiches>

⁶³ Pringles original. Collectandgo. (s.d). Consulté le 12 janvier 2022, https://www.collectandgo.be/colruyt/fr/recherche?searchTerm=Pringels#pdp_3074457345616719483



⁶⁴ Apéro Balls Goût Barbecue & Chili 200 g. (s.d). Carrefour. Consulté le 17 octobre 2021, <https://drive.carrefour.be/fr/Campaign/Fin-d%27ann%C3%A9e/Ap%C3%A9ro/Snacking-sal%C3%A9/Carrefour-Sensation-Apero-Balls-Go%C3%BBt-Barbecue-%26-Chili-200-g/p/06426417>

Différents matériaux comme le métal, le carton et le plastique sont utilisés pour l’emballage des chips. Ces matériaux sont souvent utilisés en multicouche pour garantir une efficacité haute barrière de ces produits riches en graisses. Cependant, ces types d’emballages empêchent généralement leur recyclage.⁶⁵ La nature exacte des matériaux n’est habituellement pas mentionnée sur l’emballage.

2. 1. 2 Crackers et biscuits salés

Une variété importante d’emballages est retrouvée pour les crackers et biscuits salés. Le tableau 46 ci-dessous reprend les emballages de crackers classiques.

Tableau 46 : Emballages couramment retrouvés pour les crackers et biscuits salés.

Produits	Images	Compositions
Crackers Resurrection ⁶⁶		Papier multicouche plastifié
Crackers RED QUEEN ⁶⁷		Sachet Stand-up ou Doypack avec une fenêtre
Tuc de Lu ⁶⁸		Plastique coloré
Belin Monaco ⁶⁹		Carton + sachet plastique

⁶⁵ Trier à la maison. (s.d). Fostplus. Consulté le 24 juillet 2022, <https://www.fostplus.be/fr/trier/trier-a-la-maison#trierpmc>

⁶⁶ crackers resurrection figue noix. (s.d). Mycommunitybeer-shop. Consulté le 12 janvier 2022, https://www.mycommunitybeer-shop.com/index.php?id_product=41&id_product_attribute=0&rewrite=crackers-resurrection-figue-noix&controller=product

⁶⁷ crackers. (s.d). Beerfood. Consulté le 17 octobre 2021, <https://fr.beerfood.be/crackers>

⁶⁸ biscuits apéritifs crackers original TUC. (s.d). Carrefour. Consulté le 11 janvier 2022, <https://www.carrefour.fr/p/biscuits-aperitifs-original-tuc-5410041001204>

⁶⁹ Berlin Monaco Emmental 100g. (s.d). Carrefour. Consulté le 11 janvier 2022, <https://drive.carrefour.be/fr/Chocolat/Belin-Monaco-Emmental-100-g/p/06428316>

Biscuits apéritifs assortiment Carrefour⁷⁰		Barquette thermoformée et operculée
Croq Salé Herbes de Provence : Biscuit apéritif artisanal⁷¹		Sachet en plastique
Galletas Saladas Spar⁷²		Boite en plastique
Petits sablés parmigiano, Michel et augustin⁷³		Sachet multicouche en aluminium et plastique
Crackers Emmental, Carrefour⁷⁴		Carton + barquette en plastique thermoformée + plastique pour emballer la barquette

Des matériaux variés sont employés comme le plastique sous forme de sachet, de boîte ou de barquette thermoformée. Du carton/papier est également retrouvé soit en multicouche avec du plastique comme pour les Crackers Resurrection, soit sous forme d'étui avec un sachet plastique à l'intérieur comme les Belin Monaco.

Pour ces emballages ayant toutes les formes imaginables, différentes machines ont probablement été utilisées : des ensacheuses pour des crackers Resurrection, des encartonneuses end-load pour les crackers emmenthal Carrefour, des form, fill and seal pour les Grill's de Lays, une flow pack pour les Tucs de Lu, une peseuse associative pour mettre les

⁷⁰ *Biscuits apéritifs assortiments carrefour.* (s.d). Carrefour. Consulté le 11 janvier 2022, <https://www.carrefour.fr/p/biscuits-aperitifs-assortiment-carrefour-3560071009908>

⁷¹ *Croq Salé Herbes de Provence : Biscuit apéritif artisanal.* (s.d). Alain Lecoque, Maître artisan biscuitier. Consulté le 11 janvier 2022, <http://maitre-artisan-biscuitier.com/produit/croq-sale-herbes-de-provence-biscuit-aperitif-artisanal/>

⁷² *Biscuits salés Spar 350g.* (s.d). Your spanish corner. Consulté le 11 janvier 2022, <https://yourspanishcorner.com/fr/pain-co/3468-biscuits-sales-350g-spar.html>

⁷³ *Michel et Augustin, biscuits, parmigiano 100g.* (s.d). Delhaize. Consulté le 10 décembre 2021, <https://www.delhaize.be/fr-be/shop/Epicerie-salee/Chips-et-snacks-aperitif/Biscuits-aperitif-et-toasts/Crackers-et-creppies/Biscuit-Parmigiano/p/S2021071500471650098>





⁷⁴ *Crackers Emmentaler 105g.* (s.d). Carrefour. Consulté le 12 janvier 2022, <https://drive.carrefour.be/nl/Chips-%26-aperitif/Aperitifkoekjes/Carrefour-Crackers-Emmentaler-105-g/p/06223800>

Galletas Saladas de Spar dans leur emballage thermoformé, une peseuse associative pour mettre les biscuits apéritifs assortiment Carrefour dans leur emballage thermoformé avant que l'emballage soit scellé ...

2. 2 Les matériaux d'emballage alternatifs et éco-conçus

Des emballages plus écoresponsables existent déjà sur le marché. Ceux-ci sont repris dans le tableau 47.

Tableau 47 : Emballages écoresponsables pour les chips et crackers.

Produits	Images	Compositions
Sun Chips Frito Lay ^{75,76}		PLA, 100 % compostable
Bourgondische Aardappel Chips Snecco ⁷⁷		Boite en plastique et manchon en papier, séparable et 100 % recyclable
SNAX Original ASDA ⁷⁸		Tube 100 % carton recyclable
Plastic Free Paper, Lactips ⁷⁹		Composé d'une matrice de cellulose et d'un biopolymère à base de caséine, compostable à domicile

⁷⁵ Mohan, A, M. (2010) *Frito Lay Canada is first with 100% compostable SunChips bag*. Automationworld. Consulté le 12 janvier 2022, <https://www.automationworld.com/home/article/13346351/frito-lay-canada-is-first-with-100-compostable-sunchips-bag>

⁷⁶ *Frito-Lay's SunChips Brand Changing the Future of Snack Food Packaging*. (2009) Fritolay. Consulté le 12 janvier 2022, <https://www.fritelay.com/news/frito-lay-s-sunchips-brand-changing-the-future-of-snack-food-packaging>.

⁷⁷ Prins, K, G. (2021). *Potato chips in a recyclable cup*. Greiner. Consulté le 12 janvier 2022, https://www.greiner-gpi.com/en/Magazine/Potato-chips-in-a-recyclable-cup_s_294653,

⁷⁸ *'Sustainable Snax' – Asda becomes first supermarket to launch a 100% recyclable crisp tube*. (s.d.). ASDA. Consulté le 12 janvier 2022, <https://corporate.asda.com/newsroom/2020/07/16/sustainable-snax-asda-becomes-first-supermarket-to-launch-a-100-recyclable-crisp-tube>

⁷⁹ *Lactips launches "Plastic Free Paper"*. (s.d.). Lactips. Consulté le 12 janvier 2022, <https://www.lactips.com/news/lactips-launches-plastic-free-paper/?lang=en>

<p>Artesanas Lays. PepsiCo et Danimer (Lingle, 2018)^{80,81}</p>		<p>Plastique biosourcé et compostable industriellement. Dans le futur : composé de PHA, 100 % biodégradable</p>
<p>Papier laminé compostable à domicile pour les emballages flexibles de BASF et BillerudKorsnäs 82,83</p>		<p>3 couches : papier, biopolymère biodégradable et colle à base d'eau</p>
<p>Eurobrillance, PAPERFLEX® Kraft⁸⁴</p>		<p>Papier hautes barrières composé à 85 % de cellulose et 15 % de plastique, 100 % recyclable</p>

Les emballages écoresponsables sont encore peu présents dans les supermarchés, car peu d'emballages éco-conçus présentant des propriétés hautes barrières (aux UV, à l'oxygène, aux graisses, ...) existent. Ils sont également plus chers, difficilement machinables, produits en faible quantité et parfois encore mal recyclés ou compostés en Belgique.

Des petites entreprises ont développé certaines innovations. Le papier de Lactips appelé Plastic Free Paper est fabriqué à partir d'une matrice de cellulose et de biopolymère. L'emballage est compostable au domicile.⁸⁵

On retrouve également le papier laminé compostable à domicile avec les emballages flexibles de BASF et BillerudKorsnäs fabriqués à partir de 3 couches (papier à base de fibres issues d'une forêt gérée durablement, un biopolymère biodégradable et une colle à base d'eau).^{86,87}

⁸⁰ plastictoday. (s.d.). Consulté le 12 janvier 2022, <https://www.plasticstoday.com/sites/plasticstoday.com/files/2018-09-Danimer%20PepsiCo.jpg>

⁸¹ plastictoday. (s.d.). Consulté le 12 janvier 2022, <https://www.plasticstoday.com/sites/plasticstoday.com/files/Frito-Lay-PHA-structure-PT.jpg>

⁸² *Strong and pure Kraft paper for bags.* (s.d.). BillerudKorsnäs. Consulté le 12 janvier 2022, <https://www.billerudkorsnas.com/packaging-materials/kraft-paper-bags>

⁸³ *basf billerudkorsnas conflex silk ecovio.* (s.d.). Packaround. Consulté le 12 janvier 2022, <https://www.packaround.fr/fr/emballages-cartons/materiaux-et-flux/basf-billerudkorsnas-conflex-silk-ecovio.html>

⁸⁴ *Valorisez vos emballages souples du papier barrière.* (2020). Eurobrillance. Consulté le 24 juillet 2022, <https://eurobrillance.com/fr/valorisez-vos-emballages-souples-avec-notre-nouveau-papier-barriere/>

⁸⁵ *Lactips launches "Plastic Free Paper".* (s.d.). Lactips. Consulté le 12 janvier 2022, <https://www.lactips.com/news/lactips-launches-plastic-free-paper/?lang=en>

⁸⁶ *basf billerudkorsnas conflex silk ecovio.* (s.d.). Packaround. Consulté le 12 janvier 2022, <https://www.packaround.fr/fr/emballages-cartons/materiaux-et-flux/basf-billerudkorsnas-conflex-silk-ecovio.html>

⁸⁷ *basf billerudkorsnas conflex silk ecovio.* (s.d.). Packaround. Consulté le 12 janvier 2022, <https://www.packaround.fr/fr/emballages-cartons/materiaux-et-flux/basf-billerudkorsnas-conflex-silk-ecovio.html>

En outre, la firme Eurobrillance a développé un papier hautes barrières 100 % recyclable. Il est composé à 85 % de papier certifié issu de forêts gérées durablement (FSC) et 15 % de plastique. Une colle biodégradable est utilisée afin de garantir le recyclage dans la filière papier. Le papier utilisé n'est cependant pas issu d'un processus de recyclage et le plastique n'est ni biosourcé ni biodégradable.⁸⁸

D'autres entreprises vont encore plus loin. PepsiCo et Danimer n'ont pas uniquement sorti une innovation d'emballage qui est industriellement compostable, mais annoncent déjà leur projet futur : un emballage à base de PHA entièrement compostable au domicile et dans le milieu marin (Lingle, 2018).

2. 3 Les matériaux d'emballages à base de drêches de brasserie

Par sa quantité importante en fibres, les drêches de brasserie pourraient être une bonne alternative à la fabrication de papier. Elles pourraient même être utilisées directement sous leur forme humide, évitant ainsi l'étape de séchage.

Des emballages 100 % biodégradables et compostables à base de drêches sont déjà sur le marché comme celui de Trebodur servant à sceller des canettes ensemble. L'entreprise propose également des assiettes biodégradables pouvant servir à celles en plastique jetables (figure 134).⁸⁹

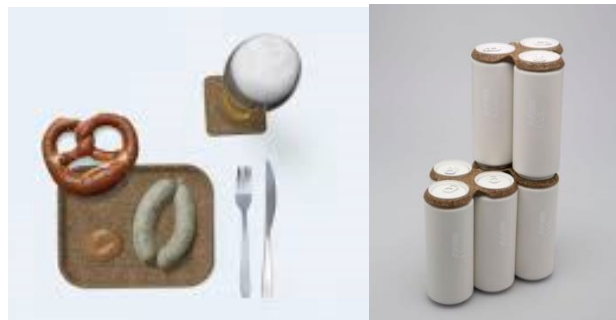


Figure 134 : Illustration de l'utilisation des drêches au niveau de l'emballage.⁹⁰

L'entreprise française Switch Eat a créé des bols et des barquettes comestibles et biodégradables à base de féculé de pomme de terre et de drêches de brasserie. La fonctionnalité de ce produit est d'être un contenant, pas un emballage alimentaire à proprement parler.⁹¹

Les drêches de brasserie peuvent être utilisées comme matière première à la fabrication de films biosourcés et biodégradables. Une étude a utilisé un composant de la drêche,

⁸⁸ Valorisez vos emballages souples du papier barrière. (2020). Eurobrillance. Consulté le 24 juillet 2022, <https://eurobrillance.com/fr/valorisez-vos-emballages-souples-avec-notre-nouveau-papier-barriere/>

⁸⁹ The mabeerial. Trebodur. (s.d.). Consulté le 10 juin 2022, <https://trebodur.de>

⁹⁰ The mabeerial. Trebodur. (s.d.). Consulté le 10 juin 2022, <https://trebodur.de>

⁹¹ Bols comestibles neutres. (s.d.). Switch Eat. Consulté le 9 juin 2022, <https://www.switch-eat.com/bols-comestibles-neutres/>

l'arabinoxylane, une hémicellulose, en association avec des nanofibrilles de cellulose pour la fabrication d'un film alimentaire. Cette association permet d'obtenir un emballage performant aux niveaux mécaniques et thermiques, mais également un emballage dit actif. Les composés naturels bioactifs présents dans les drêches permettent d'obtenir des matériaux ayant des propriétés antimicrobiennes et antioxydantes. Ces emballages actifs permettent une amélioration de la sécurité, de la qualité et du temps de conservation des aliments. Ces emballages ne sont pas encore présents sur le marché actuellement (figure 135) (Vilela et al., 2018 ; Moreirinha et al., 2020).

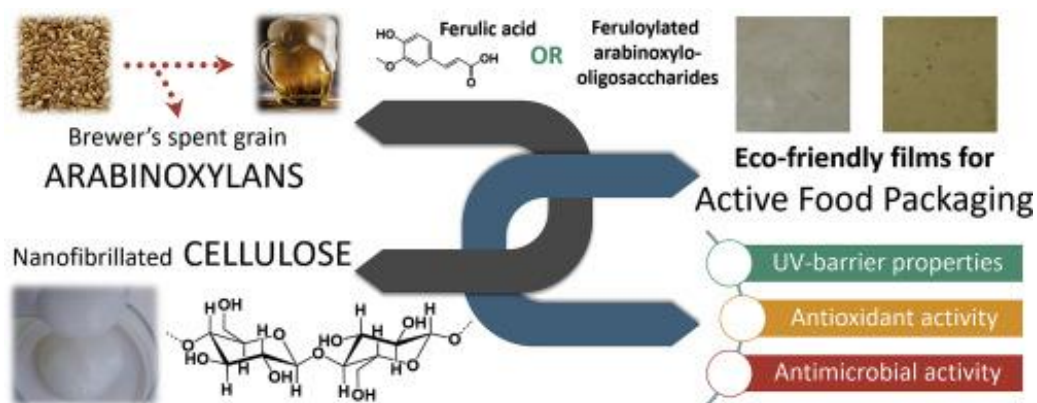


Figure 135 : Fabrication d'un film biosourcé et biodégradable à base de drêche de brasserie (Moreirinha et al., 2020).

Les drêches peuvent être broyées très finement et purifiées pour en faire de la pâte à papier. L'entreprise Gmund en Allemagne vend du papier à base de drêche, mais aucune information sur la fiche technique de ce produit n'a pu être trouvée. Ce papier est utilisé pour la fabrication d'invitations, d'étiquettes, ... mais ne sert pas d'emballage alimentaire. Ce papier est certifié FSC avec une possibilité d'impression.⁹²

Actuellement, aucun emballage à base de drêche de brasserie pouvant contenir et conserver de la nourriture n'est présent sur le marché. Des perspectives de création d'emballages papier ou de films alimentaires actifs sont à envisager dans le futur.

3. Choix de l'emballage

Cette partie décrit les différents emballages envisagés pour les deux produits de la gamme des snacks apéritifs à base de drêches de brasserie, ainsi qu'un troisième emballage qui contient les deux produits et qui serait utilisé pour une action promotion/découverte lors du lancement sur le marché. Pour ces trois emballages, les emballages primaires, secondaires et tertiaires sont développés, ainsi que les machines nécessaires au conditionnement des produits.

⁹² (s.d). Gmund Bier Papier. Gmund paper. Consulté le 9 juin 2022, <https://world-en.gmund.com/collections/gmund-bier-papier/>

3. 1 L'emballage des snacks extrudés

3. 1. 1 L'emballage primaire

L'option imaginée pour l'emballage des snacks extrudés est un sachet de papier hautes barrières composé de fibres de drêches de brasserie, de fibres de cellulose issue de forêts durables (FSC ou PEFC) et d'un film de polyéthylène monocouche biosourcé sur la face interne de l'emballage. Ainsi, la revalorisation de la drêche de brasserie se ferait également par l'emballage. Idéalement, celui-ci posséderait un zip refermable, mais le coût de l'emballage étant certainement déjà très important, cette option n'est peut-être pas réaliste. Si le zip refermable n'entre pas dans le budget, le sachet peut avoir un autocollant qui permet de refermer le sachet en repliant le sommet.

Cependant, ce papier n'existe pas à l'heure actuelle, mais pourrait un jour le faire, car le développement d'emballage écoresponsable est en constante évolution. Toutefois, même si l'emballage imaginé n'existe pas encore, il se base sur le papier « PAPERFLEX3R® Kraft XTREM HS Silver » de la marque Eurobrillance qui est composé de 85 % de fibres de cellulose et de 15 % de polyéthylène non biosourcé.⁹³ Le film est collé au papier avec une colle biodégradable. Ce papier permet de remplacer les feuilles d'aluminium qu'on retrouve notamment à l'intérieur de la plupart des paquets de chips et qui rend le recyclage des emballages impossible. Ce film « haute barrière » remplace les multicouches (tri-couches ou quadri-couches) par un bi-couches permettant un accès à la recyclabilité. Cette solution permet une diminution de plus de 70 % de plastique (E. Macaire, communication personnelle, 11 décembre 2021).

Pour ces raisons, ce papier a été choisi pour l'emballage des produits extrudés. Il possède les avantages suivants : la cellulose est issue de forêts certifiés FSC et PEFC et selon l'entreprise qui le fabrique, le papier est entièrement recyclable dans la filière papier.⁹⁴ La couche de polyéthylène monocouche du « PAPERFLEX3R® Kraft XTREM HS Silver » permet la résistance à l'humidité, aux gaz tels que l'oxygène⁹⁵, aux UV, aux huiles minérales et est résistants à la graisse, ce qui permettrait de garantir une conservation optimale du produit et d'empêcher son oxydation (*PROCESS ALIMENTAIRE*, 2021). Le papier est également imprimable et thermoscellable. Cependant, ce papier présente aussi des inconvénients, notamment que le plastique n'est ni recyclé, ni biosourcé.⁹⁶ La fiche technique du PAPERFLEX® Kraft se trouve en annexe 13. Cet emballage coûterait légèrement plus cher que les emballages classiques

⁹³ Valorisez vos emballages souples du papier barrière. (2020). Eurobrillance. Consulté le 24 juillet 2022, <https://eurobrillance.com/fr/valorisez-vos-emballages-souples-avec-notre-nouveau-papier-barriere/>

⁹⁴ La rédaction. (2021, 1 juin). *CFIA 2021 : 10 solutions à découvrir en Emballages et conditionnements*. Agro Media. Consulté le 30 juillet 2022, <https://www.agro-media.fr/dossier/cfia-2021-10-solutions-a-decouvrir-en-emballages-et-conditionnements-48967.html>

⁹⁵ Valorisez vos emballages souples du papier barrière. (2020). Eurobrillance. Consulté le 24 juillet 2022, <https://eurobrillance.com/fr/valorisez-vos-emballages-souples-avec-notre-nouveau-papier-barriere/>

⁹⁶ Valorisez vos emballages souples du papier barrière. (2020). Eurobrillance. Consulté le 24 juillet 2020, <https://eurobrillance.com/fr/valorisez-vos-emballages-souples-avec-notre-nouveau-papier-barriere/>

du marché. L'annexe 14 reprend une estimation des prix, celui-ci dépend de la quantité commandée. Si 3 000 m² sont achetés, le coût d'un sachet de snack revient à environ 0,07 €.

La forme de l'emballage choisie est celle des emballages pour chips classiques thermoscellée en bas et en haut. Le papier Eurobrillance peut être utilisé sur les différentes machines de conditionnement sans modification des procédés. Le sachet fera 30 cm de long, 16 cm de large et contiendra 110 g de snacks extrudés. Ces snacks seront ajoutés dans l'emballage par un dosage pondéral.

Le prix d'une machine d'emballage représentant un coup très important, les snacks peuvent être pesés et emballés manuellement si le volume de fabrication n'est pas trop important. Toutefois, pour augmenter la cadence de production, investir dans des machines peut être intéressant. Dans ce cas-ci, le produit serait pesé avec une balance pondérale multi-têtes avant d'être mis en sachet avec une machine form, fill and seal verticale de petit gabarit comme illustré sur la figure 136. Une atmosphère protectrice est ajoutée avant le thermoscellage des sachets.^{97,98}



Figure 136 : Machine form, fill and seal verticale avec une balance pondérale multi-têtes.^{99,100}

Pour les trois emballages, les informations et les dessins sur l'emballage sont réalisés avec une encre à base végétale (surement à base de colza ou maïs) à faible migration, qui a pour avantage d'être plus recyclable, de ne pas contenir d'huile minérale et d'éviter la migration des constituants de l'encre dans les aliments. Cependant, les pigments et les siccatifs (accélérateur de séchage) ne sont pas d'origine végétale¹⁰¹ (Digraf, 2021).

⁹⁷ Machines d'Emballage Form Fill Seal Verticales | VTOPS-VFFS. (s.d.). Vtops. Consulté le 28 mai 2022, <https://www.vtops.com/fr/vertical-form-fill-sealing-machines-vffs/>

⁹⁸ Peseuses multi-tête. (s.d.). Vtops. Consulté le 28 mai 2022, <https://www.vtops.com/fr/multihead-weighers/>

⁹⁹ Machines d'Emballage Form Fill Seal Verticales | VTOPS-VFFS. (s.d.). Vtops. Consulté le 28 mai 2022, <https://www.vtops.com/fr/vertical-form-fill-sealing-machines-vffs/>

¹⁰⁰ Peseuses multi-tête. (s.d.). Vtops. Consulté le 28 mai 2022, <https://www.vtops.com/fr/multihead-weighers/>

¹⁰¹ Stratus. (s.d). *Les encres et le contact alimentaire*. Consulté le 28 mai 2022, <https://www.stratuspackaging.com/blog/encres-et-contact-alimentaire/>

Il serait également intéressant de rendre l’emballage actif en ajoutant dans la composition du papier un antioxydant tel que l’extrait de romarin, ce qui permettrait de ne pas devoir en ajouter dans le produit et donc de ne pas devoir le consommer, tout en luttant contre l’oxydation des lipides. Il a été démontré, que d’ajouter de l’extrait de romarin dans un emballage à base de polyéthylène de basse densité (LDPE) améliore les propriétés antioxydantes, les barrières contre l’oxygène (Giannakas, 2019) et présente des propriétés antibactériennes et antivirales (Ordon et al., 2021).

3. 1. 2 L’emballage secondaire et tertiaire

Les sachets des snacks extrudés sont placés dans un carton ondulé qui est utilisé en tant que prêt-à-vendre. Les dimensions de ce carton sont de 80 cm de long, 60 cm de large et 36 cm de haut (figure 137). De cette manière, le carton pourra contenir 60 sachets de chips, tout en évitant le plus de vide possible. La livraison des produits se fera sur des palettes universelles qui mesurent 120 cm x 80 cm. Sur cette palette sont disposés les cartons (deux par étage) qui sont retenus avec des sangles réutilisables (figure 138). La modélisation de ce carton ainsi que la disposition des emballages secondaires sur la palette se font avec le logiciel Picador 3D version 10.1.12.0.

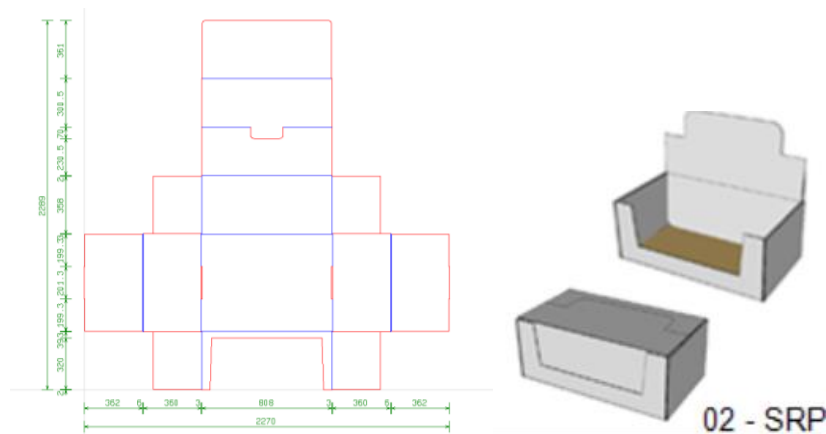


Figure 137 : Plan du carton qui est l'emballage secondaire et le prêt à vendre (Self ready packaging with foldable cover) (Picador).

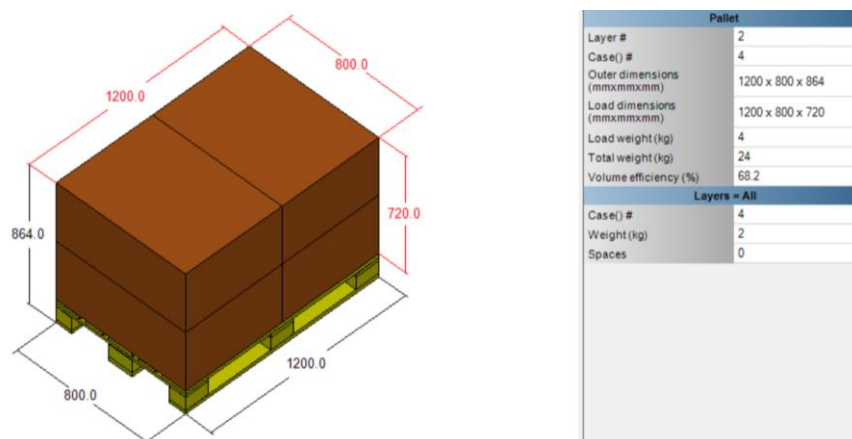


Figure 138 : L'emplacement des cartons sur la palette.

3. 2 L’emballage des crackers

3. 2. 1 L’emballage primaire

L’emballage choisi pour les crackers est une barquette en carton composé de fibre de drêches de brasserie et de fibres de cellulose portant le label PEFC ou FSC. À l’intérieur de la barquette une couche de revêtement en biopolymère est retrouvée. Celle-ci est fabriquée à base de fibres de cellulose. Le biopolymère est fabriqué en défibrillant la cellulose, ce qui permet d’obtenir des microfibrilles qui forment un gel. Ce gel peut être utilisé pour réaliser un film transparent qui ne perturberait pas la recyclabilité du carton (Thomassin, 2022). Le sommet de la boîte est thermoscellé avec une couche de plastique biosourcé. Un morceau de carton se glisse par au-dessus comme un couvercle pour protéger le cracker de la lumière et permet également de refermer l’emballage, mais pas de façon hermétique. En outre, ce morceau de carton peut reprendre les informations importantes du produit ainsi que le logo. Sur la figure 139 se trouve le schéma d’emballage imaginé pour les crackers.

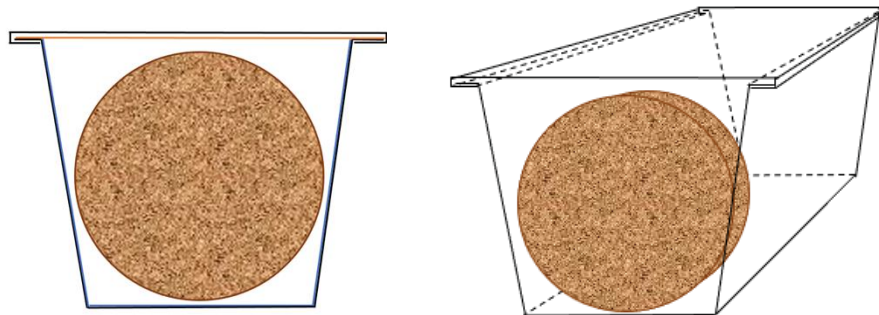


Figure 139 : Schéma de l’emballage imaginé pour les crackers aux drêches de brasserie de face à droite et de profile à gauche.

Malheureusement, à l’heure actuelle, la technologie du film transparent en biopolymère est encore en développement. Cependant, il existe aujourd’hui des emballages doubles couches carton/film plastique laminé qui permettent de séparer facilement la couche de plastique de la couche de carton en tirant sur le plastique. Une indication comment séparer et recycler toutes les parties de l’emballage est également reprise sur la barquette. Une languette d’arrachage avec perforations permet de séparer facilement le film laminé.¹⁰²

Les informations sur le produit et sur les drêches de brasserie sont reprises sur le couvercle et les parois extérieures de l’emballage.

Les barquettes en carton arrivent déjà formées avec la couche de plastique à l’intérieur. Leur dimension est de 14,08 cm de longueur, 4 cm de largeur en moyenne (un peu moins à la base

¹⁰² (s.d.). *Design 4 recycling*. Fostplus. Consulté le 05 juin 2022, <https://www.fostplus.be/fr/media/370/download>

et un peu plus en haut, vu que c'est un trapèze) et de 4 cm de haut. La pesée se fait en nombre d'unité de 38 crackers par barquette pour un poids net de 114 g. C'est donc la méthode de comptage qui est utilisée, pour ajouter les crackers dans l'emballage. Ensuite, les barquettes sont fermées avec une thermoscelleuse et le carton sera glissé par au-dessus de l'emballage. Une atmosphère protectrice est ajoutée durant le thermoscellage des barquettes pour protéger le produit contre l'oxydation.

3. 2. 2 L'emballage secondaire et tertiaire

Les étuis des crackers sont placés dans un bac en plastique repliable, empilable et réutilisable (figure 141). En tout 72 barquettes de crackers rentrent dans un de ces bacs, 4 dans la longueur, 9 dans la largeur et 2 dans la hauteur. La livraison des produits se fera sur des palettes universelles. Sur cette palette sont disposés les bacs en plastique dont les mesures exactes peuvent être retrouvées sur la figure 140 et qui sont retenus avec des sangles comme pour l'emballage des snacks extrudés. Sur la base de la palette pourront être mis 4 bacs, qui pourront être empilés en hauteur (figure 142). La modélisation des emballages secondaire sur la palette se font avec le logiciel Picador 3D version 10.1.12.0.



Specifications

DIMENSIONS

External Dimensions	600 x 400 x 105 mm.
Internal Dimensions	572 x 372 x 96 mm.
Folded Dimensions	600 x 400 x 35 mm.

LOADING & STACKING

Max Capacity	8 kg
Volume	20 litre
Weight	1.3 kg
Folded Stacking Height	29

Figure 140 : 6408 Active Lock de toska avec en haut à droite la boîte ouverte, à gauche la boîte repliée et en bas ces mesures exactes.¹⁰³

¹⁰³ Tosca. (s.d.). *Active Lock Crates Archives*. Tosca | RPCs, Reusable Plastic Containers, Perishable Shipping Solutions | Reduce Shrink. Drive Supply Chain Efficiency. Consulté le 29 juillet 2022, https://www.tosca ltd.com/product_family/active-lock-crates-en-gb/?lang=en-gb

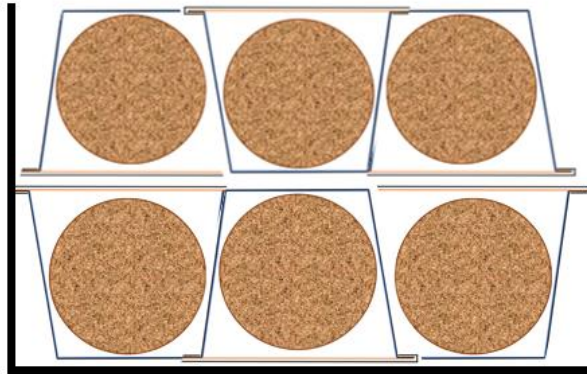


Figure 141 : Idée d'empilage des boîtes à cracker dans l'emballage secondaire pour utiliser le moins d'espace.

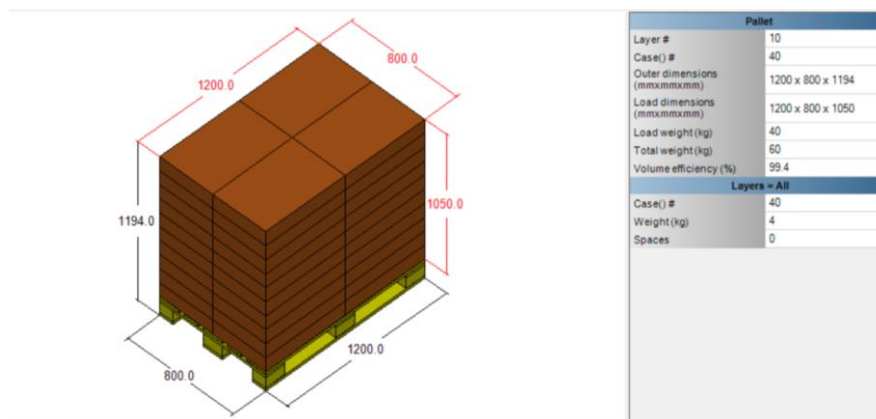


Figure 142 : L'emplacement des bacs pliables remplis sur la palette.

3. 3 L'emballage « action promotionnelle »

3. 3. 1 L'emballage primaire

Le but de cet emballage est de faire découvrir les produits lors du lancement pendant une courte durée. L'emballage imaginé est une boîte qui se transformerait en bol et qui puisse être posé au centre de la table pour un moment de partage. La boîte serait fabriquée en papier composé de fibre de drêche de brasserie et de fibre de cellulose en partie issue du recyclage et de forêt durable (FSC ou PEFC). Sur toutes ces surfaces, à l'intérieur comme à l'extérieur, seraient reprises toutes les informations obligatoires concernant le produit ainsi que des explications sur le processus de fabrication, des informations sur la drêche de brasserie et les avantages des produits au niveau nutritionnel. Cet emballage sera sous forme de cube avec 9,3 cm de long, 9,3 cm de large et 9,3 cm de hauteur (figure 143).

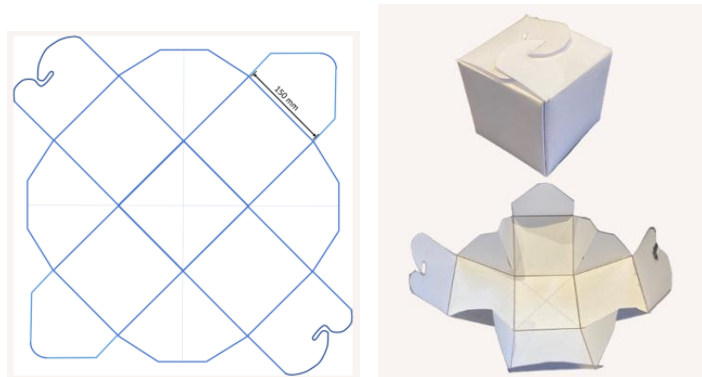


Figure 143 : Conception du design de l'emballage promotionnel, avec le schéma de pliage (à gauche) et un prototype avec l'ouverture de la boîte (à droite).

Cependant, après discussion avec différents exposants lors du salon Empack à Namur, cette option ne serait peut-être pas très réaliste dans le cadre d'un lancement en petite production. En effet, le prix de fabrication de la boîte serait trop élevé avec un coût de minimum 1000 € pour le moule de découpe du carton. Plusieurs types de couteaux (couteaux pour découpage et pliage) sont nécessaires. De plus, les cartons seraient livrés à plat rendant le temps de pliage important. Une option plus réaliste et surtout plus abordable serait de changer la forme de la boîte pour prendre une déjà existante comme une boîte à burger. Cet emballage, en plus d'arriver préformé, réduirait le coût à l'unité, tout en gardant l'esprit d'utiliser celui-ci comme bol et de transmettre des informations pour le consommateur. Cela permettrait, en ouvrant le couvercle, d'avoir deux compartiments distincts, un pour les snacks extrudés et un pour les crackers. Le seul inconvénient serait la forme moins originale et une diminution des surfaces imprimables disponibles pour transmettre des informations.

Dans la boîte, afin de garantir la sécurité de l'aliment, les produits seront contenus dans un sachet en plastique biosourcé. Le consommateur n'aura plus qu'à verser les crackers et les chips extrudés dans le bol lors de la consommation.

La mise en sachet des crackers et des snacks extrudés peut se faire à l'aide d'une machine form, fill and seal verticale.

3. 3. 2 L'emballage secondaire et tertiaire

Comme pour les crackers, ces cubes sont placés dans le même bac en plastique repliable, empilable et réutilisable. En tout, 24 cubes rentrent dans un bac, 6 en longueur, 4 en largeur et un en hauteur (figure 144). La livraison des produits se fera sur des palettes universelles. Sur cette palette sont disposés les bacs en plastiques dont les mesures exactes peuvent être retrouvées sur la figure 140 et qui sont retenus avec des sangles comme pour l'emballage des snacks extrudés. Sur la base de la palette pourront être mis quatre bacs, qui pourront être empilés en hauteur.



Figure 144 : l'emplacement que les cubes auraient dans le bac en plastique afin d'optimiser l'espace de manière optimale.

4. Design et informations de l'emballage

Un point également important du cahier des charges est celui du marketing et de la communication visuelle qui se trouve sur l'emballage. L'emballage permet de transmettre des informations importantes aux consommateurs sur le produit, son origine, sa méthode de fabrication, sur le recyclage de l'emballage, ...

4. 1 Le logo

La figure 145 reprend le logo qui a été imaginé pour les produits. Celui-ci fait référence à une gamme de produits apéritifs et peut convenir autant pour les crackers que pour les snacks extrudés.



Figure 145 : Conception du logo « Beer Snack ».

4. 2 L'emballage promotionnel

Le design de l'emballage a été réalisé sur le programme de graphisme « Canva ». Les mêmes informations ainsi que le design de base sont reprises sur les emballages spécifiques (évoqués aux points 3.1 et 3.2 de ce chapitre) des crackers et snacks extrudés.

L'emballage permet d'apporter diverses informations, sur son recyclage, sa composition nutritionnelle, mais aussi concernant la drêche de brasserie ou encore sur l'origine du carton. La présence du logo « FSC » permet d'assurer les consommateurs que le carton est issu de forêts gérées durablement. Sur l'emballage promotionnel se trouve un coupon de réduction pour le prochain achat qui permet de promouvoir le lancement de la marque.

De plus, un QR code se trouve sur une des faces de l’emballage et mènera vers le site internet de la marque où il est possible de retrouver une vidéo qui présente le concept du produit, mais aussi des informations sur la production des snacks apéritifs.

L’emballage promotionnel a pour but d’informer au mieux le consommateur et de leur donner envie d’acheter le produit.

Les figures 146 et 147 reprennent le design visuel de l’emballage. Les illustrations proviennent d’une librairie d’images libres de droits. Celle du brassage de la bière est basée sur une illustration provenant de la marque « Les rescapés ».¹⁰⁴



Figure 146 : Design de l’emballage promotionnel à gauche et de l’emballage des snacks extrudés à droite.

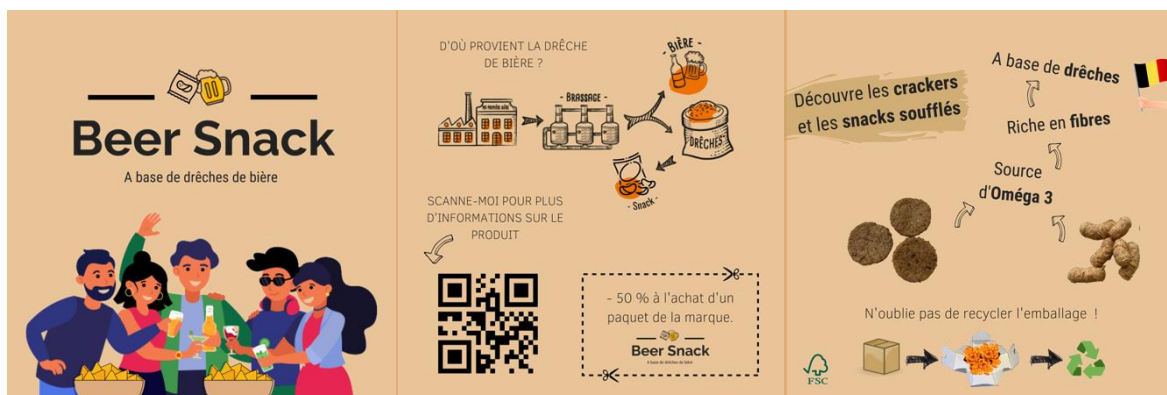


Figure 147 : Design de trois faces (avant et deux cotés) de l’emballage promotionnel (images : « Les rescapés »).

¹⁰⁴ Image. (S.d). Consulté le 6 août 2022. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRAbua8_9MEgOh6XP3clhTxdx0n1ZD1y7bbCC-b2D4amrgGBKI7opJBA-M0xKC1O23sJA&usqp=CAU

4.3 L'étiquette

Les étiquettes des snacks extrudés (figure 148) et des crackers (figure 149) reprennent les informations suivantes : la dénomination du produit, la liste des ingrédients, les allergènes en gras, le lieu de production, la quantité nette, l'origine des drêches, les valeurs nutritionnelles, les conditions des stockages, la date de durabilité minimale et le numéro de lot (Règlement UE 1169/2011).

<p>Snacks extrudés soufflés, de maïs et drêches de brasserie goût paprika Ingrédients: farine de maïs (68,9%), drêches de bières (11,4%) (orge malté), graines de lin, huile de colza, poudre de paprika, poudre d'oignon, Sel, Pectine, poudre d'ail, Product van maïs en bierbostel, met knoflook-en paprikasmaak Ingrediënten: maïsbloem (68,9%), bierbostel (11,4%) (gerstemout), lijnzaad, raapzaadolie, paprikapoeder, uienpoeder, zout, pectine, knoflookpoeder Drêches de bières d'origine de Belgique/ Bierbostel van Belgische oorsprong</p> <p>Bearsnack, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux</p> <p>Quantité nette/ Netto hoeveelheid : 90g</p> <p>Conditionné sous atmosphère protectrice / verpakt in een beschermende atmosfeer</p>	<p>Valeur nutritionnelles moyennes/ Gemiddelde voedingswaarden</p> <p>Pour/ Per 100 g</p> <p>Par portion / Per portie 30 g</p>		
	Energie (kJ/kcal)	1870 kJ / 445,2 kcal	561 kJ / 133,6 kcal
	Matière grasse / Vetten (g) dont acides gras saturés / Waarvan verzadigde vetzuren (g)	12,9 g 1,22 g	3,87 g < 0,5 g
	Glucides / Koolhydraten (g) dont sucres / Waarvan suikers (g)	43,0 g < 0,5 g	12,9 g < 0,5 g
	Sel / Zout (g)	1 g	< 0,5 g
	Fibres alimentaires / Vezels (g)	22,84 g	6,9 g
	Protéines / Eiwitten (g)	9,7 g	2,9 g
	<p>Conservar à température ambiante, au sec et à l'abri de la lumière. Après ouverture consommer dans les 3 jours / Bewaren bij kamertemperatuur en in het donker en droog bewaren. Te consumeren binnen 3 dagen na opening</p>	<p>A consommer de préférence avant le / Ten minste houdbaar tot xx/xx/xxxx xx:xx et n° de lot</p>	

Figure 148 : Étiquette des snacks extrudés aux drêches de brasserie.

<p>Crackers aux drêches de brasseries, goût poivre et sel. Ingrédients: farine de blé (60,4%), drêches de bières (21,8%) (orge malté), huile de colza, graines de lin, sel de cuisine, fleur de sel, poivre, Product op basis van bierbostel, met zout en pepersmaak Ingrediënten: Tarwebloem (60,4%), bierbostel (21,8%) (gerstemout), lijnzaad, raapzaadolie, zout, peper</p> <p>Drêches de bières d'origine de Belgique/ Bierbostel van Belgische oorsprong</p> <p>Bearsnack, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux</p> <p>Quantité nette/ Netto hoeveelheid : 90g</p> <p>Conditionné sous atmosphère protectrice / verpakt in een beschermende atmosfeer</p>	<p>Valeur nutritionnelles moyennes/ Gemiddelde voedingswaarden</p> <p>Pour/ Per 100 g</p> <p>Par portion / Per portie 30 g</p>		
	Energie (kJ/kcal)	1958 kJ / 466,3 kcal	587 kJ / 139,9 kcal
	Matière grasse / Vetten (g) dont acides gras saturés / Waarvan verzadigde vetzuren (g)	16,8 g 1,48 g	5,0 g < 0,5 g
	Glucides / Koolhydraten (g) dont sucres / Waarvan suikers (g)	47,6 g < 0,5 g	14,3 g < 0,5 g
	Sel / Zout (g)	1 g	< 0,5 g
	Fibres alimentaires / Vezels (g)	16,5 g	5,0 g
	Protéines / Eiwitten (g)	14,6 g	4,4 g
	<p>Conservar à température ambiante, au sec et à l'abri de la lumière. Après ouverture consommer dans les 3 jours / Bewaren bij kamertemperatuur en in het donker en droog bewaren. Te consumeren binnen 3 dagen na opening</p>	<p>A consommer de préférence avant le / Ten minste houdbaar tot xx/xx/xxxx xx:xx et n° de lot</p>	

Figure 149 : Étiquette des crackers aux drêches de brasseries.

5. Respect du cahier des charges fonctionnel de l'emballage

Le choix des emballages a été réalisé en fonction du cahier des charges fonctionnel de l'emballage en regardant l'ordre des priorités des fonctions recherchées. Dans le tableau 48, chaque point du cahier des charges fonctionnel a été repris et comparé aux trois propositions détaillées ci-dessus.

Le cahier des charges est bien respecté pour la plupart des points. Seulement quelques points ne le sont pas. Le facing de la boîte imaginée pour les crackers n'est pas celui qui sera le plus visible sur la gondole en comparaison à la concurrence qui a souvent des sachets stand-up ou des boîtes avec un facing important.

La partie sur la récupération de l'énergie potentielle lors de la fabrication des différents emballages n'a pas été abordée dans le cadre de ce travail, mais pourrait être très intéressant à développer dans le futur.

Pour l'emballage promotionnel, l'objectif étant la publicité, la surface du carton est plus importante que la quantité strictement nécessaire pour protéger le produit. Cependant, cet emballage ne serait utilisé que pendant une courte durée. De plus, l'emballage a dans ce cas précis une fonction d'informer le consommateur et faire connaître le produit, c'est-à-dire des fonctions marketing très importantes.

Tableau 48 : Vérification du respect des points du cahier des charges fonctionnel du packaging en fonction des trois emballages proposés.

Points du cahier des charges fonctionnel (priorité)	Option snack extrudé	Option crackers	Option promotion
Marketing			
Avoir une esthétique attirante (1)	Oui	Oui	Oui
Informé le consommateur sur le gaspillage alimentaire, d'où viennent les matières premières et comment recycler l'emballage (1)	Oui	Oui	Oui
Être déclinable à autres produits (2)	Oui	Oui	Oui
Permettre un facing maximum comparé à la concurrence (3)	Oui	Non	/
Être en cohérence avec l'univers produit, la marque et la cible visée (4)	Oui	Oui	Oui
Permettre de voir le cracker ou le chips (5)	Non	Oui	Non
Protection			
Protéger le produit de l'oxydation, de l'humidité, et de tous gaz nuisibles et aux rayons UV (1)	Oui	Oui	Oui
Protéger le produit de la prise, ou de la perte, d'arômes (1)	Oui	Oui	Oui
Assurer une protection, avant ouverture, permettant d'atteindre la DDM sans perte organoleptique et garantir une bonne texture (1)	Oui	Oui	Oui
Pouvoir tomber d'une hauteur d'un mètre sans s'ouvrir (2)	Oui	Oui	Oui
Contribuer, par sa résistance mécanique, à la résistance au gerbage : si le produit est emballé dans une boîte, la boîte devra déjà être capable de résister au gerbage et si le produit est emballé dans un sachet, c'est le carton qui est l'emballage secondaire et le prêt-à-vendre qui devra résister aux contraintes de gerbage (3)	Oui	Oui	Oui
Logistique			

Optimiser la quantité de produits par palette (1)	Oui	Oui	Oui
Avoir une dimension afin de pouvoir rentrer dans des bacs réutilisables pour diminuer le suremballage (2)	Oui	Oui	Oui
Minimiser les volumes de déchets après mise en rayon (2)	Oui	Oui	Oui
Être apte pour les machines utilisées classiquement (3)	Oui	Oui	Oui
Conditionnement			
Présenter une trace évidente en cas d'ouverture intempestive (1)	Oui	Oui	Oui
Faciliter l'ouverture de l'emballage (1)	Non	Oui	Oui
Faciliter la re-fermeture de l'emballage (1)	Oui	Oui	Oui
Reprendre les informations légales obligatoires nutritionnelles et les allégations nutritionnelles et de santé (2)	Oui	Oui	Oui
Permettre une consommation aisée du produit dans toutes les circonstances de consommation (3)	Oui	Oui	Non
Écologie			
Minimiser les volumes de déchet solide après élimination (1)	Oui	Oui	Oui
Être = ou < aux principaux concurrents en regard des poids et volumes d'emballage (1)	Oui	Oui	/
Réfléchir aux impacts environnementaux et au gaspillage (1)	Oui	Oui	Oui
Rendre confiance en informant l'utilisateur (2)	Oui	Oui	Oui
Recycler les matériaux et/ou utiliser des matériaux recyclés (2)	Oui	Oui	Oui
Retirer l'inutile quand c'est possible (3)	Oui	Oui	Non
Réduire et maximiser le contenu (<i>I^{aire}</i> , <i>II^{aire}</i> et <i>III^{aire}</i>) (3)	Oui	Oui	Oui
Récupérer l'énergie potentielle et valoriser la fin de vie (4)	Non et Oui	Non et Oui	Non et Oui
Reconsidérer les matériaux et/ou les énergies renouvelables (4)	Oui	Oui	Oui

6. Conclusion de l’emballage

Pour répondre au point « Service » du cahier des charges, différentes options d’emballage éco-conçues ont été présentées, mais elles n’existent pas encore à l’heure actuelle. Pour le moment, les coûts liés à leur production seraient trop importants (peu de rendement, prix élevé des matières premières, processus non optimisés, ...) et forcent le choix de l’emballage sur une des options déjà existantes.

Afin de garantir que l’emballage correspond aux critères de hautes barrières nécessaires à la conservation de nos snacks, des tests de vieillissement dans ces emballages seront nécessaires.

VII. Conclusion

La valorisation de la drêche de brasserie dans l'alimentation humaine sous la forme de snacks extrudés et expansés et de crackers permet de profiter de leurs caractéristiques intéressantes. En effet, les snacks à base de drêches sont plus riches en fibres et en protéines que la plupart des produits du commerce. Cependant, étant très périssables, la stabilisation des drêches est primordiale. La meilleure option est un pressage suivi d'un séchage en étuve.

Les drêches, en raison de leur teneur élevée en fibres qui absorbent notamment plus d'eau, diminuent l'expansion des snacks, augmentent leur dureté et les rendent moins croustillants. Des solutions ont été trouvées comme se baser sur la capacité de rétention d'eau pour formuler la pâte des crackers ou ajouter de la pectine pour augmenter l'expansion des snacks extrudés. Le choix de cette pectine est primordial, elle doit avoir un haut pouvoir de méthylation. Bien que l'objectif était d'incorporer le plus de drêches possible, il était également important que celles-ci n'impactent pas trop les caractéristiques organoleptiques des snacks. Le taux d'incorporation maximal des drêches qui a pu être atteint est de 13,4 % pour les snacks extrudés et 21,2 % pour les crackers. Microniser la drêche, pourrait permettre de diminuer ses effets négatifs et ainsi arriver à augmenter son taux d'incorporation.

L'étude de marché a permis de montrer que la population cible est demandeuse d'un snack plus pauvre en calories et ayant un bon Nutri-Score et une bonne composition nutritionnelle. Ces objectifs sont atteints en ajoutant des graines de lin et de l'huile de colza qui apportent des oméga-3, mais ces ingrédients sont sensibles à l'oxydation. Pour les snacks extrudés, d'après la littérature, l'oxydation des acides gras polyinsaturés ne semble pas être un problème majeur durant l'extrusion. De plus, le risque a été maîtrisé par une activité de l'eau optimale. Cependant, pour les crackers, l'activité de l'eau, trop basse, peut favoriser l'oxydation, l'augmenter pourrait être nécessaire. Mesurer leur indice de peroxyde afin de quantifier l'oxydation aurait été intéressant. L'utilisation d'un antioxydant reste une option pour lutter contre le stress oxydatif, toutefois, celui-ci doit être choisi avec soin, avec des analyses adaptées, afin de trouver le plus efficace et le bon dosage. Dans le futur, caractériser les composés phénoliques des drêches de brasserie serait intéressant pour analyser leurs propriétés antioxydantes. Ces composés pourraient diminuer les risques d'oxydation des snacks. De plus, utiliser un emballage éco-conçu résistant à la lumière, à l'humidité et à l'oxygène est important pour garantir la conservation et la croustillance du produit.

Un point qui semble devoir être optimisé est celui de l'enrobage des snacks extrudés. Cela permettrait qu'ils soient plus homogènes, réduirait la quantité d'huile ajoutée et donc la valeur énergétique du produit, tout en assurant un goût agréable pour le consommateur.

Pour conclure, ce travail a permis de faire face à la complexité de la conception d'un nouveau produit, de montrer l'importance de la littérature afin de trouver des solutions aux problèmes rencontrés et d'acquérir de l'expérience sur des techniques utilisées en laboratoire.

VIII. Bibliographie

1. Livres

American Association of Cereal Chemists. Approved Methods Committee. (1999). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists (AACC International Method 56–30.01 Water Hydration Capacity of Protein Materials ed.). AACC.

Barbosa-Canovas, G.V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., & Yan, H. (2005). *Size enlargement*. In: *Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality (Food Engineering Series) (First Edition)*, (pp. 175-198). New York: Springer.

Beranek, L., & Mellow, T. (2012). *Acoustics: Sound Fields and transducers*. Amsterdam: Academic Press.

Bouvier, J., & Campanella, O.H. (2014). *Extrusion Processing Technology (1ère éd.)*. Wiley.
Briggs, D.E., Hough, J.S., Stevens, R., & Young, T.W. (1981). *Malting and Brewing Science: Malt and Sweet Wort*. Springer Publishing.

Brasseurs Belges, C.B.B. (2007). Guide d'autocontrôle pour le secteur brassicole. GCBB-0-FR - version 1 - 25062007.doc.

Boyer, C.D. & Shannon, J.C. (1987). *Carbohydrates of the kernel*. Watson & P.E. Ramstad, éd. Corn: chemistry and technology, p. 253-272. St Paul, Minn., Etats-Unis, Am. Assoc. Cereal Chem.

Castaigne, F. (1993). *Les actes du 1er colloque agro-alimentaire de la francophonie « Conservation, technologie et emballage des aliments »*. Canada: Agriculture Canada.
Consulté le 26 décembre 2021, <http://www.nzdl.org/cgi-bin/library?e=d-00000-00---off-0unesco--00-0----0-10-0---0---0direct-10---4-----0-0l--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0--4--0-0-11-10-0utfZz-8-00&cl=CL2.1&d=HASH0132195746ce7445e86bc38a.1>=2>

FAO. (1993). *Le maïs dans la nutrition humaine*. FAO.

Graille, J. (2003). *Lipides et corps gras alimentaires*. Tec & Doc.

Huige, N.J. (2006). *Brewery by-products and effluents* In: *Handbook of Brewing, Second Edition*. Stewart, G. G., & Priest, F. G. Amsterdam University Press, 670-726.
<https://doi.org/10.1201/9781420015171>

Jamroz, D., Barszcz, M., Pwn., W.N., Borowiec, F., Wydawnictwo Naukowe PWN., Brzóška, F., Cieślak, A., Dymnicka, M., Grela, E., Klocek, B., & Korol, W. (2013). *Zywnienie zwierząt i paszoznawstwo Tom 3 Paszoznawstwo*. Wydawnictwo Naukowe PWN.

Jeanet, R., Croguennec, T., Schuck, P., & Brulé., G. (2006) *Science des aliments*. ED. tec & Doc, Lavoisier. Paris.

Kunze, W. (1996). *Technology Brewing and Malting, First International Edition*. VLB, 80.

Lebacqz, T. Les lipides. Dans : Bel S, Tafforeau J (éd.). Enquête de consommation alimentaire 2014-2015. Rapport 4. WIV-ISP, Bruxelles, 2016. https://fcs.wiv-isp.be/nl/Gedeelde%20%20documenten/FRANS/Rapport%204/3_fat_FR_finaal.pdf

Lineback, D. R. & Rasper, V. F. (1988). *Wheat: Chemistry and Technology, Vol. 1* (3rd ed by Pomeranz, Y). Amer Assn of Cereal Chemists.

Mussatto, S.I. (2009). *Biotechnological potential of brewing industry by-products, in Biotechnology for Agro-industrial Residues Utilisation (Vol. 1)*, ed. by Nigam PS and Pandey A, (pp. 313-326). Dordrecht : Springer.

Nubel (Bruxelles). (2017). *Table belge de composition des aliments* (6ème ed., Vol. 2017). Nubel.

Palmer, J.J., & Kaminski, C. (2013). *Water: A Comprehensive Guide for Brewers (Brewing Elements)* (Illustrated ed.). Brewers Publications.

Slade, L. & Levine, H. (1994). Structure-function relationships of cookie and cracker ingredients. In: *The Science of Cookie and Cracker Production*, pp. 23–141. Faridi, H., Ed., Chapman & Hall, New York

Vanhouwaert, E. (2012). *De actieve voedingsdriehoek* (1ste editie). Acco.

WP Woodhead Publishing. (2011). Laminating. In : *Biscuit manufacture, Manley's Technology of Biscuits, Crackers and Cookies* (4th ed.). Cambridge : Woodhead Publishing Limited

WP Woodhead Publishing. (2011). Sheeting, gauging and cutting. In : *Biscuit manufacture, Manley's Technology of Biscuits, Crackers and cookies* (4th ed.). Cambridge : Woodhead Publishing Limited

2. Bibliographie

Ačkar, U., Jozinović, A., Babić, J., Miličević, B., Panak Balentić, J., & ŠUbarić, D. (2018). Resolving the problem of poor expansion in corn extrudates enriched with food industry by-products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47, 517–524.

<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.05.004>

Ainsworth, P., İBanoğlu, E., Plunkett, A., İBanoğlu, E., & Stojceska, V. (2007). Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*, 81(4), 702–709.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004>

Akermann, A., Weiermüller, J., Christmann, J., Guirande, L., Glaser, G., Knaus, A., & Ulber, R. (2020). Brewers' spent grain liquor as a feedstock for lactate production with *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis*. *Engineering in Life Sciences*, 20(5–6), 168–180.

<https://doi.org/10.1002/elsc.201900143>

Aliyu, S., & Bala, M. (2011). Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. *African Journal of Biotechnology*, 10, 3, 324–331. DOI: 10.5897/AJBx10.006

Alvarez-Martinez, L., Kondury, K., & Harper, J. (1988). A General Model for Expansion of Extruded Products. *Journal of Food Science*, 53(2), 609–615.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb07768.x>

Amore, A., Parameswaran, B., Kumar, R., Birolo, L., Vinciguerra, R., Marcolongo, L., Ionata, E., La Cara, F., Pandey, A., & Faraco, V. (2015). Application of a new xylanase activity from *Bacillus amyloliquefaciens* XR44A in brewer's spent grain saccharification. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 90, 573-581.

Amorim, C., Silvério, S.C., & Rodrigues, L.R. (2019). One-step process for producing prebiotic arabino-xylooligosaccharides from brewer's spent grain employing *Trichoderma* species.

Food Chemistry, 270, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.080>

Anderson, J.W., Baird, P., Davis, R.H. Jr., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Waters, V., & Williams, CL. (2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutr Rev*, 67(4), 188-205.

<https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x>

Anton, A. A., & Luciano, F. B. (2007). INSTRUMENTAL TEXTURE EVALUATION OF EXTRUDED SNACK FOODS: A REVIEW EVALUACIÓN INSTRUMENTAL DE TEXTURA EN ALIMENTOS EXTRUIDOS: UNA REVISIÓN. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(4), 245–251.

<https://doi.org/10.1080/11358120709487697>

- Arimi, J. M., Duggan, E., O'Sullivan, M., Lyng, J. G., & O'Riordan, E. D. (2010). Effect of water activity on the crispiness of a biscuit (Crackerbread): Mechanical and acoustic evaluation. *Food research International*, 43, 1650–1655. doi:10.1016/j.foodres.2010.05.004
- Auffret, A., Ralet, M. C., Guillon, F., Barry, J. L., & Thibault, J. F. (1994). Effect of Grinding and Experimental Conditions on the Measurement of Hydration Properties of Dietary Fibres. *LWT - Food Science and Technology*, 27(2), 166–172. <https://doi.org/10.1006/fstl.1994.1033>
- Baik, B. K., Powers, J., & Nguyen, L. T. (2004). Extrusion of Regular and Waxy Barley Flours for Production of Expanded Cereals. *Cereal Chemistry Journal*, 81(1), 94–99. <https://doi.org/10.1094/cchem.2004.81.1.94>
- Baldet, P., & Colas, F. (2012). Utiliser la mesure de l'activité de l'eau pour mieux conserver les semences forestières : une coopération fructueuse entre Irstea et la Direction de la recherche forestière au Québec. *Sciences Eaux & Territoires, Cahier spécial(II)*, 20–25. <https://doi.org/10.3917/set.hs03.020>
- Barbosa-Pereira, L., Angulo, I., Paseiro-Losada, P., & Cruz, J.M. (2013). Phenolic profile and antioxidant properties of a crude extract obtained from a brewery waste stream. *Food Research International*, 51(2), 663–669. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.042>
- Barbu, M.C., Montecuccoli, Z., Förg, J., Barbeck, U., Klímek, P., Petutschnigg, A., & Tudor, EM. (2021). Potential of Brewer's Spent Grain as a Potential Replacement of Wood in pMDI, UF or MUF Bonded Particleboard. *Polymers (Basel)*, 13(3), 319. doi: 10.3390/polym13030319. PMID: 33498257; PMCID: PMC7863943. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33498257/>
- Bartolome, B., & Gomez-Cordoves, C. (1999). Barley spent grain: release of hydroxycinnamic acids (ferulic and p-coumaric acids) by commercial enzyme preparations. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 79(3), 435–9. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0010\(19990301\)79:3%3C435::aid-jsfa272%3E3.0.co;2-s](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0010(19990301)79:3%3C435::aid-jsfa272%3E3.0.co;2-s)
- Bartolome, B., Santos, M., Jimenez, J.J., del Nozal, M.J., & Gomez-Cordoves, C. (2002). Pentoses and hydroxycinnamic acids in brewer's spent grain. *Journal of Cereal Science*, 36(1), 51–8. <https://doi.org/10.1006/jcres.2002.0442>
- Bastos, R., Coelho, E., & Coimbra, M. A. (2018). Arabinoxylans from cereal by-products: Insights into structural features, recovery, and applications. In *Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products* (pp. 227–251). Elsevier.

Baudry, J., Pointereau, P., Seconda, L., Vidal, R., Taupier-Letage B., Langevin, B., Allès, B., Galan, P., Hercberg, S., Amiot, M.J., Boizot-Szantai, C., Hamza, O., Cravedi, J.P., Debrauwer, L., Soler, L.G., Lairon, D., & Kesse-Guyot, E. (2019). Improvement of diet sustainability with increased level of organic food in the diet: findings from the BioNutriNet cohort. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 109(4),1173–1188.

<https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy361>

Bean, M. M. & Yamazaki, W. T. (1978). Wheat starch gelatinization in sugar solutions. I. Sucrose: Microscopy and viscosity effects. *Cereal Chem*, 55, 936–944

Beig Mohammadi, Z., Maghsoudlou, Y., Safafar, H., & Mahoonak, A. R. S. (2012).

Physicochemical Properties and Stability of Oil Extracted from Three Canola Varieties Grown in Golestan Province of Iran. *J. Agr. Sci. Tech*, 14, 577-586.

Bianco, A., Fancello, F., Garau, M., Deroma, M., Atzori, A. S., Castaldi, P., Zara, G., & Budroni, M. (2022). Microbial and chemical dynamics of brewers' spent grain during a low-input pre-vermicomposting treatment. *Science of The Total Environment*, 802, 149792.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149792>

Blake, O.A. (2006). Effect of molecular and supramolecular characteristics of select dietary fibers on extrusion expansion.

Blecker, C. (2020). *Opérations unitaires et procédés dans les industries agro-alimentaires* [PowerPoint].

Bonifacio-Lopes, T., Teixeira, J.A., & Pintado, M. (2020). Current extraction techniques towards bioactive compounds from brewer's spent grain: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 60, 2730-2741.

Braesco, V. (2017). Mindful Snacking. Scientific evidence supporting the application of Mindful Eating for sensible snacking practices. *NutrInsight* 6, 15-19.

Braude, L., & Stevenson, R.J. (2014). Watching television while eating increases energy intake. Examining the mechanisms in female participants. *Appetite*, 769-16.

Bravi, E., Francesco, G., Sileoni, V., Perretti, G., Galgano, F., & Marconi, O (2021) Brewing By-Product Upcycling Potential: Nutritionally Valuable Compounds and Antioxidant Activity Evaluation. *Antioxidants (Basel)*, 10(2), 165. <https://doi.org/10.3390/antiox10020165>

Brenna, J.T., Salem, N., Sinclair, A.J., & Cunnane, S.C. (2009). α -Linolenic acid supplementation and conversion to n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in humans.

Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 80(2-3), 85-91.

<https://doi.org/10.1016/j.plefa.2009.01.004>

Brodal, G., Hofgaard, I.S., Eriksen, G.S., Bernhoft, A., & Sundheim, L. (2016). Mycotoxins in organically versus conventionally produced cereal grains and some other crops in temperate regions. *World Mycotox J* 9(5), 755–770. <https://doi.org/10.3920/WMJ2016.2040>

Bucci, P.L., Santos, M.V., Montanari, J., & Zaritzky, N. (2020). Nanoferulic: From a by-product of the beer industry toward the regeneration of the skin. *J Cosmet Dermatol*, 19(11), 2958-2964. doi: 10.1111/jocd.13407. Epub 2020 Apr 19. PMID: 32307833.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32307833/>

Celus, I., Brijs, K., & Delcour, JA. (2006). The effects of malting and mashing on barley protein extractability. *Journal of Cereal Science*, 44, 203-211.

<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.003>

Chavan, R. S., Sandeep, K., Basu, S. & Bhatt, S. (2016) Biscuits, Cookies, and Crackers: Chemistry and Manufacture. *Encyclopedia of Food and Health*, 437-444.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00076-3>

Chen, Z., Li, S., Fu, Y., Li, C., Chen, D., & Chen, H. (2019). Arabinoxylan structural characteristics, interaction with gut microbiota and potential health functions. *Journal of Functional Foods*, 54, 536–551. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.02.007>

Chevallier, S., Colonna, P., Della Valle, G., & Lourdin, D. (2000). Contribution of Major Ingredients during Baking of Biscuit Dough Systems. *Journal of Cereal Science*, 31(3), 241-252, ISSN 0733-5210, <https://doi.org/10.1006/jcrs.2000.0308>.

Chong, H., Mohammed, B., Allen, R. & Charalambide, M. (2017). Mechanical and microstructural changes of cheese cracker dough during baking. *LWT*.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.035>

Combe, N. (2003). Stabilité des Omega-3 selon les modes de chauffage et de conservation. *Méd Nutri*, 39(1), 9–14.

Connolly, A., Piggott, C.O., & FitzGerald, R.J. (2013). Characterisation of protein-rich isolates and antioxidative phenolic extracts from pale and black brewers' spent grain. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(8), 1670–1681. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12137>

Cooray, S.T., Lee, J.J.L., & Chen, W.N. (2017). Evaluation of brewers' spent grain as a novel media for yeast growth. *AMB Express*, 7(1), 117. doi: 10.1186/s13568-017-0414-1. Epub

2017 Jun 5. PMID: 28587441; PMCID: PMC5459775.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28587441/>

Crofton, E. C., & Scannell, A. G. (2020). Snack foods from brewing waste: consumer-led approach to developing sustainable snack options. *British Food Journal*, 122(12), 3899–3916.

<https://doi.org/10.1108/bfj-08-2018-0527>

Courtois, M. & Houge, N. (2019). *Conception de crackers au fromage à base d'invendus et de chutes de production alimentaire (TFE)*. Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT).

Cuvelier, M.E., & Maillard, M.N. (2012). Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 19(2), 125–132.

<https://doi.org/10.1051/ocl.2012.0440>

Dacremont, C. (2003). Croustillant : aspects méthodologiques de la mesure sensorielle d'une caractéristique de texture complexe. *Anthropology of food*, 1.

<https://doi.org/10.4000/aof.1227>

Damen, B., Verspreet, J., Pollet, A., Broekaert, W.F., Delcour, J.A., & Courtin, C.M. (2011). Prebiotic effects and intestinal fermentation of cereal arabinoxylans and arabinoxylan oligosaccharides in rats depend strongly on their structural properties and joint presence. *Molecular Nutrition & Food Research*, 55(12), 1862–1874.

<https://doi.org/10.1002/mnfr.201100377>

Dauber, C., Carreras, T., González, L., Gámbaro, A., Valdés, A., Ibañez, E., & Vieitez, I. (2022). Characterization and incorporation of extracts from olive leaves obtained through maceration and supercritical extraction in Canola oil: Oxidative stability

evaluation. *LWT*, 160, 113274. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113274>

Dereuder, A. (2019, janvier). Les subtilités de la reformulation pour le Nutri-Score. *PROCESS ALIMENTAIRE*, n°1365, 53-56.

Dereuder, A. (2019, mai). Les subtilités de la reformulation pour le Nutri-Score. *PROCESS ALIMENTAIRE*, n°1369, 51.

Dereuder, A. (2021). Economie circulaire : valorisez vos coproduits ! *PROCESS ALIMENTAIRE*, 1387, 39–41.

Dhanalakshmi, K., Ghosal, S., & Bhattacharya, S. (2011). Agglomeration of Food Powder and Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(5), 432–441.

<https://doi.org/10.1080/10408391003646270>

Dias-Faceto, L.S., Salvador, A., & Conti-Silva, A.C. (2020). Acoustic settings combination as a sensory crispness indicator of dry crispy food. *Journal of Texture Studies*, 51(2), 232–241. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12485>

Djukić-Vuković, A., Mladenović, D., Radosavljević, M., Kocić-Tanackov, S., Pejin, J., & Mojović L. (2016). Wastes from bioethanol and beer productions as substrates for l(+) lactic acid production - A comparative study. *Waste Manag*, 48, 478-482. doi: 10.1016/j.wasman.2015.11.031. Epub 2015 Nov 28. PMID: 26639411. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26639411/>

Dridi, W. (2016). Influence de la formulation sur l'oxydation des huiles végétales en émulsion eau- dans-huile. Chimie-Physique [physics.chem-ph]. Université de Bordeaux. NNT: 2016BORD0102 . tel-01376766

Du, L., Arauzo, P.J., Meza Zavala, M.F., Cao, Z., Olszewski, M.P., & Kruse A. (2020). Towards the properties of different biomass-derived proteins via various extraction methods. *Molecules*, 25, 488. doi: 10.3390/molecules25030488.

Duizer, L. M., Campanella, O. H., & Barnes, G. R. G. (1998). Sensory, instrumental, and acoustic characteristics of extruded snack food products. *Journal of Texture Studies*, 29(4), 397–411.

Elliston, K.G., Ferguson, S.G., Schuz, N., & Schuz, B. (2017). Situational cues and momentary food environment predict everyday eating behaviour in adults with overweight and obesity. *Health Psychol.*, 36(4), 337-345.

El-Shafey, E.I., Gameiro, M.L.F., Correia, P.F.M., & de Carvalho, J.M.R. (2004). Dewatering of brewer's spent grain using a membrane filter press: a pilot plant study. *Separation Science and Technology*, 39(14), 3237–61. <https://doi.org/10.1081/SS-200028775>

Faraj, A., Vasanthan, T., & Hoover, R. (2004). The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours. *Food Research International*, 37(5), 517–525. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.09.015>

Fărcaș, A.C., Socaci, S.A., Mudura, E., Dulf, F. V., Vodnar, D.C., Tofană, M., & Salanță, L.C. (2017). Exploitation of Brewing Industry Wastes to Produce Functional Ingredients. *Brewing Technology*. Published. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69231>

Farhoosh, R. (2007). The Effect of Operational Parameters of the Rancimat Method on the Determination of the Oxidative Stability Measures and Shelf-Life Prediction of Soybean Oil.

Journal of the American Oil Chemists' Society, 84(3), 205–209.

<https://doi.org/10.1007/s11746-006-1030-4>

Lordan, R., O'Keeffe, E., Tsoupras, A., & Zabetakis, I. (2019). Total, Neutral, and Polar Lipids of Brewing Ingredients, By-Products and Beer: Evaluation of Antithrombotic Activities. *Foods*, 8(5), 171. <https://doi.org/10.3390/foods8050171>

Faulds, C.B., Sancho, A.I., & Bartolome, B. (2002). Mono- and dimeric ferulic acid release from brewer's spent grain by fungal feruloyl esterases. *Appl Microbiol Biot*, 60(4), 489–93.

Felli, R., Yang, T. A., Wan Abdullah, W. N., & Zzaman, W. (2018). Effects of Incorporation of Jackfruit Rind Powder on Chemical and Functional Properties of Bread. *Tropical Life Sciences Research*, 29(1), 113–126. <https://doi.org/10.21315/tlsr2018.29.1.8>

Ferreira, A.M., Martins, J, Carvalho, L.H., & Magalhães, F.D. (2019). Biosourced Disposable Trays Made of Brewer's Spent Grain and Potato Starch. *Polymers (Basel)*, 11(5), 923. doi: 10.3390/polym11050923. PMID: 31130700; PMCID: PMC6572608. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31130700/>

Fine, F., Brochet, C., Gaud, M., Carre, P., Simon, N., Ramli, F., & Joffre, F. (2015). Micronutrients in vegetable oils: The impact of crushing and refining processes on vitamins and antioxidants in sunflower, rapeseed, and soybean oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117, 18. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400400>

Forssell, P., Kontkanen, H., Schols, HA., Hinz, S., Eijsink, V.G.H., Treimo, J., Robertson, J.A., Waldron, K.W., Faulds, C.B. & Buchert, J. (2008). Hydrolysis of brewers' spent grain by carbohydrate degrading enzymes. *Journal of the Institute of Brewing*, 114(4),306–14. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2008.tb00774.x>

Fox, G.P. (2009). Beer and arabinoxylan. *Beer in health and disease prevention* (pp. 309–316). Elsevier.

Genot, C., Eymard, S., & Viau, M. (2004). Comment protéger les acides gras polyinsaturés à longues chaînes oméga 3 (AGPI -- LC ω 3) vis-à-vis de l'oxydation ? *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 11(2), 133-141. <https://doi.org/10.1051/ocl.2004.0133>

Giacobbe, S., Piscitelli, A., Raganati, F., Lettera, V., Sannia, G., Marzocchella, A., & Pezzella, C. (2019). Butanol production from laccase-pretreated brewer's spent grain. *Biotechnology for Biofuels*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1383-1>

Gomez, M. H., & Aguilera, J. M. (1984). A Physicochemical Model for Extrusion of Corn Starch. *Journal of Food Science*, 49(1), 40–43. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb13664.x>

Giannakas, A., Salmas, C., Leontiou, A., Tsimogiannis, D., Oreopoulou, A., & Braouhli, J. (2019). Novel LDPE/Chitosan Rosemary and Melissa Extract Nanostructured Active Packaging Films. *Nanomaterials*, 9(8), 1105. <https://doi.org/10.3390/nano9081105>

Goffin, D. (2020-2021). Cours Analyse sensorielle : *Comportement alimentaires et évaluation sensorielle des aliments 4* [PowerPoint]. Master MICA 2019. Laboratoire sciences gastronomiques.

Goffin, D. (2020-2021). Cours Analyse sensorielle : *Comportement alimentaires et évaluation sensorielle des aliments 3* [PowerPoint]. Master MICA 2019. Laboratoire sciences gastronomiques.

Gonzalez, Pereyra, ML., Rosa, CA., Dalcerro, AM., Cavaglieri, LR. (2011) Mycobiota and mycotoxins in malted barley and brewer's spent grain from Argentinean breweries. *Letters in Applied Microbiology*, 53(6), 649-55. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765x.2011.03157.x>

Grasso, S. (2020). Extruded snacks from industrial by-products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.012>

Guy, R., & Horne, A. (1988). EXTRUSION AND CO-EXTRUSION OF CEREALS. *Food Structure*, 331–349. <https://doi.org/10.1016/b978-0-408-02950-6.50023-6>

Hanet, N., Brazeilles, R., & Vaudaine, S. (2016). Analyse des consommations inter-repas dans INCA2. Développement d'un outil pour comparer la qualité nutritionnelle de ces collations par portion (SAIN) et aux 100 g (score 5C-FSA). *Journée Francophones de Nutrition - communication affichée*. (Montpellier, Nov-Dec 2016)

Hejna, A., Barczewski, M., Skórczewska, K., Szulc, J., Chmielnicki, B., Korol, J., & Formela, K. (2021). Sustainable upcycling of brewers' spent grain by thermo-mechanical treatment in twin-screw extruder. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124839. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124839>

Heredia-Sandoval, N. G., Granados-Nevárez, M. d. C., Calderón de la Barca, A. M., Vásquez-Lara, F., Malunga, L. N., Apea-Bah, F. B., Beta, T., & Islas-Rubio, A. R. (2020). Phenolic acids, antioxidant capacity, and estimated glycemic index of cookies added with brewer's spent grain. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75(1), 41–47. <https://doi.org/10.1007/s11130-019-00783-1>

- Hough, G., Buera, M. D., Chirife, J., & Moro, O. (2001). Sensory texture of commercial biscuits as a function of water activity. *Journal of Texture Studies*, 32(1), 57–74.
- Ikram, S., Huang, L., Zhang, H., Wang, J., & Yin, M. (2017). Composition and Nutrient Value Proposition of Brewers Spent Grain. *J Food Sci*, 82(10), 2232-2242. doi: 10.1111/1750-3841.13794. Epub 2017 Aug 23. PMID: 28833108.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28833108/>
- Imran, M., Anjum, F. M., & Arshad, M. U. (2013). Influence of Extrusion Processing on Fatty acids Retention in Full-fat Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) Meal. *Journal of Food Processing & Technology*, 04(09). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000268>
- Inoue, T., Nagatomi, Y., Uyama, A., & Mochizuki, N. (2013). Fate of mycotoxins during beer brewing and fermentation. *Biosci Biotechnol Biochem*, 77(7), 1410-5. doi: 10.1271/bbb.130027. Epub 2013 Jul 7. PMID: 23832360.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23832360/>
- Ivanova, K., Denkova, R., Kostov, G., Petrova, T., Bakalov, I., Ruscova, M., & Penov, N. (2017). Extrusion of brewers' spent grains and application in the production of functional food. Characteristics of spent grains and optimization of extrusion. *Journal of the Institute of Brewing*, 123(4), 544–552. <https://doi.org/10.1002/jib.448>
- Izydorczyk, M.S. (2009). Arabinoxylans. *Handbook of hydrocolloids* (pp. 653–692). Elsevier.
- Izydorczyk, M.S., Dexter, J.E. (2008). Barley β -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products—a Review. *Food Research International*, 41, 850-868. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.04.001>
- Jackowski, M., Niedźwiecki, Ł., Jagiełło, K., Uchańska, O., Trusek, A. (2020). Brewer's Spent Grains-Valuable Beer Industry By-Product. *Biomolecules*, 10(12), 1669. doi: 10.3390/biom10121669. PMID: 33322175; PMCID: PMC7764043.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33322175/>
- Jaeger, A., Zannini, E., Sahin, A.W., & Arendt, E.K. (2021). Barley Protein Properties, Extraction and Applications, with a Focus on Brewers' Spent Grain Protein. *Foods*, 10(6):1389. <https://doi.org/10.3390/foods10061389>
- Joy, C., Vernaza Leoro, M.G., Schmiele, M., Eduardo, R., & Kil, Y. (2012). Thermoplastic Extrusion in Food Processing. *Thermoplastic Elastomers*. Published.
<https://doi.org/10.5772/36874>

Julia C, Hercberg S. (2017). NutriScore: evidence of the effectiveness of the French front-of-pack nutrition label. *Ernaehrungs Umschau*, 64(12), 181–187.

Kaur, K.D., Jha, A., Sabikhi, L., & Singh, A.K. (2014). Significance of coarse cereals in health and nutrition: a review. *Journal of food science and technology*, 51(8), 1429–1441.
<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0612-9>

Kasprzak, M., Rzedzicki, Z., Wirkijowska, A., Zarzycki, P., Sobota, A., Sykut-Domańska, E., & Błaszczak, W. (2013). Effect of fibre–protein additions and process parameters on microstructure of corn extrudates. *Journal of Cereal Science*, 58(3), 488–494.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.09.002>

Katz, E.E., & Labuza, T. P. (1981). Effect of Water Activity on the Sensory Crispness and Mechanical Deformation of Snack Food Products. *Journal of Food Science*, 46(2), 403–409.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1981.tb04871.x>

Kelly, A., Brown, E., & Coates, P. (2006). The effect of screw geometry on melt temperature profile in single screw extrusion. *Polymer Engineering & Science*, 46(12), 1706–1714.
<https://doi.org/10.1002/pen.20657>

Kim, J., Tanhehco, E., & Ng, P. (2006). Effect of extrusion conditions on resistant starch formation from pastry wheat flour. *Food Chemistry*, 99(4), 718–723.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.054>

Kirjoranta, S., Tenkanen, M., & Jouppila, K. (2015). Effects of process parameters on the properties of barley containing snacks enriched with brewer's spent grain. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 775–783. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2079-6>

Koirala, P., Maina, N.H., Nihtilä, H., Katina, K., & Coda, R. (2021). Brewers' spent grain as substrate for dextran biosynthesis by *Leuconostoc pseudomesenteroides* DSM20193 and *Weissella confusa* A16. *Microb Cell Fact*, 20(1):23. doi: 10.1186/s12934-021-01515-4. PMID: 33482833; PMCID: PMC7821685. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33482833/>

Korkerd, S., Wanlapa, S., Puttanlek, C., Uttapap, D., & Rungsardthong, V. (2015). Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 561–570.
<https://doi.org/10.1007/s13197-015-2039-1>

Kothari, D., Das, D., Patel, S., & Goyal, A. (2015). Dextran and food application. *Polysaccharides Bioactivity Biotechnol*, 735–52.

Ktenioudaki, A., Crofton, E., Scannell, A. G. M., Hannon, J. A., Kilcawley, K. N., & Gallagher, E. (2013). Sensory properties and aromatic composition of baked snacks containing brewer's spent grain. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 384–390. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.01.009>

Ktenioudaki, A., O'Shea, N., & Gallagher, E. (2013). Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer's spent grain and apple pomace. *Journal of Food Engineering*, 116(2), 362–368. <https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2012.12.005>

Kweon, M., Slade, L., Levine, H., & Gannon, D. (2013). Cookie- Versus Cracker-Baking— What's the Difference? Flour Functionality Requirements Explored by SRC and Alveography. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(1), 115–138. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.578469>

Labuza, T.P., & Dugan, L.R. (1971). Kinetics of lipid oxidation in foods. *C R C Critical Reviews in Food Technology*, 2(3), 355–405. <https://doi.org/10.1080/10408397109527127>

Labuza, T. P., McNally, L., Gallagher, D., Hawkes, J., & Hurtado, F. (1972). STABILITY OF INTERMEDIATE MOISTURE FOODS. 1. Lipid Oxidation. *Journal of Food Science*, 37(1), 154–159. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1972.tb03408.x>

Laca, A., Mousia, Z., Díaz, M., Webb, C., & Pandiella, S. S. (2006). Distribution of microbial contamination within cereal grains. *Journal of Food Engineering*, 72(4), 332–338. <https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2004.12.012>

Lao, E.J., Dimoso, N., Raymond, J., & Mbega, E.R. (2020). The prebiotic potential of brewers' spent grain on livestock's health: a review. *Tropical Animal Health Production*, 52(2):461-472. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02120-9>

Larsson, M., Sandberg, A.S. (1992). Phytate reduction in oats during malting. *J Food Sci.*, 57, 994–997.

Lavelli, V., Proserpio, C., Gallotti, F., Laureati, M., & Pagliarini, E. (2018). Circular reuse of bio-resources: the role of *Pleurotus* spp. in the development of functional foods. *Food Funct*, 9(3), 1353-1372. doi: 10.1039/c7fo01747b. Epub 2018 Feb 26. PMID: 29480298. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29480298/>

Léonard, P. (2021). *CdCF-Modèle-Pascal-Léonard-2021* [Document Word].

- Li, J., Hou, G. G., Chen, Z., Chung, A. L., & Gehring, K. (2014). Studying the effects of whole-wheat flour on the rheological properties and the quality attributes of whole-wheat saltine cracker using SRC, alveograph, rheometer, and NMR technique. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.07.022>
- Liu, Y., Cao, M. & Liu, G. (2019) Texture analyzers for food quality evaluation. *Evaluation Technologies for Food Quality*. p. 442-463 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814217-2.00017-2>
- Lopez-Diaz, T.M., & Flammigan, B., (1997) Production of patulin and cytochalasin E by *Aspergillus clavatus* during malting of barley and wheat. *International Journal of Food Microbiology*, 35, 129–136 [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(96\)01211-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(96)01211-1)
- Lordan, R., O'Keeffe, E., Tsoupras, A., & Zabetakis, I. (2019). Total, Neutral, and Polar Lipids of Brewing Ingredients, By-Products and Beer: Evaluation of Antithrombotic Activities. *Foods*, 8(5), 171. <https://doi.org/10.3390/foods8050171>
- Lue, S., Hsieh, F., & Huff, H.E. (1991). Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber: Effects on expansion properties, starch gelatinization and dietary fiber content. *Cereal Chemistry*, 68, 227–234.
- Lynch, K.M., Steffen, E.J., & Arendt, E.K. (2016). Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. *Journal of the Institute of Brewing*, 122(4), 553–568. <https://doi.org/10.1002/jib.363>
- Maga, J. A., & Fapojuwo, O. O. (2007). The effect of various hydrocolloids on some physical properties of extruded corn grits. *International Journal of Food Science & Technology*, 23(1), 49–56. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb00549.x>
- Maillard, L.C. (1912). Action des acides aminés sur les sucres; formation de melanoidines par voie méthodique. *Compt. Rend.*, 154, 66-68.
- Makowska, A., Mildner-Szkudlarz, S., & Obuchowski, W. (2013). Effect of Brewer's Spent Grain Addition on Properties of Corn Extrudates with an Increased Dietary Fibre Content. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 63(1), 19–24. <https://doi.org/10.2478/v10222-012-0061-9>
- Malakhova, D.V., Egorova, M.A., Prokudina, L.I., Netrusov, A.I., & Tsavkelova, E.A. (2015). The biotransformation of brewer's spent grain into biogas by anaerobic microbial communities. *World J Microbiol Biotechnol*, 31(12), 2015-23. doi: 10.1007/s11274-015-1951-x. Epub 2015 Sep 23. PMID: 26399858. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26399858/>

Malumba, Paul, Janas, Sébastien, Deroanne, Claude, Masimango, Thaddée & Béra, François. (2011). Structure de l'amidon de maïs et principaux phénomènes impliqués dans sa modification thermique. *BASE* [En ligne], 2(15), 315-326 URL :

<https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=7567>

Mandalari, G., Faulds, C.B., Sanch, A.I., Saija, A., Bisignano, G., LoCurto, R & Waldron, K.W. (2005). Fractionation and characterization of arabinoxylans from brewers' spent grain and wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 42(2), 205–12.

<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.03.001>

Marcus, A., & Fox, G. (2021). Fungal Biovalorization of a Brewing Industry Byproduct, Brewer's Spent Grain: A Review. *Foods*, 10(9), 2159. doi: 10.3390/foods10092159. PMID: 34574269; PMCID: PMC8465358. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34574269/>

Mazumder, P., Roopa, B. S. & Bhattacharya, S. (2006). Textural attributes of a model snack food at different moisture contents. *Journal of Food Engineering* 79 511-516.

doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.02.011

McCarthy, A.L., O'Callaghan, Y.C., Connolly, A., Piggott, C.O., FitzGerald, R.J., & O'Brien, N.M. (2013). In vitro antioxidant and anti-inflammatory effects of brewers' spent grain protein rich isolate and its associated hydrolysates. *Food Res Int*, 50(1), 205–12.

McCarthy, A.L., O'Callaghan, Y.C., Piggott, C.O., FitzGerald, R.J., & O'Brien N.M. (2013). Brewers' spent grain; Bioactivity of phenolic component, its role in animal nutrition and potential for incorporation in functional foods: A review. *Proc. Nutr. Soc*, 72, 117–125. doi: 10.1017/S0029665112002820

McCarthy, A.L., O'Callaghan, Y.C., Connolly, A., Piggott, C.O., FitzGerald, R.J., & O'Brien, N. M. (2012). Phenolic extracts of brewers' spent grain (BSG) as functional ingredients — Assessment of their DNA protective effect against oxidant-induced DNA single strand breaks in U937 cells. *Food Chemistry*, 134(2), 641–646.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.133>

McCarthy, A.L., O'Callaghan, Y.C., Connolly, A., Piggott, C.O., FitzGerald, R.J., & O'Brien, N.M. Phenolic-enriched fractions from brewers' spent grain possess cellular antioxidant and immunomodulatory effects in cell culture model systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(7), 1373-9. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6421>

Mendonça, S., Grossmann, M., & Verhé, R. (2000). Corn Bran as a Fibre Source in Expanded Snacks. *LWT - Food Science and Technology*, 33(1), 2–8.

<https://doi.org/10.1006/fstl.1999.0601>

Miskelly, D. (2017). Optimisation of End-Product Quality for the Consumer. *Cereal Grains*, 653–688. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100719-8.00024-3>

Merayo, Y.A., Gonzalez, R.J., Drago, S.R., Torres, R.L. & De Greef, D.M. (2011). Extrusion conditions and Zea mays endosperm hardness affecting gluten-free spaghetti quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 2321–2328.

Möller, J. (2014). Comparing methods for fibre determination in food and feed. *FOSS*, 2014(1).

Moraru, C., & Kokini, J. (2003). Nucleation and Expansion During Extrusion and Microwave Heating of Cereal Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 147–165. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00020.x>

Moreirinha, C., Vilela, C., Silva, N. H., Pinto, R. J., Almeida, A., Rocha, M. A. M., Coelho, E., Coimbra, M. A., Silvestre, A. J., & Freire, C. S. (2020). Antioxidant and antimicrobial films based on brewers spent grain arabinoxylans, nanocellulose and feruloylated compounds for active packaging. *Food Hydrocolloids*, 108, 105836.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105836>

Mussatto, S., Dragone, G., & Roberto, I. (2006). Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 1–14.

<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.001>

Mussatto, S.I. (2014). Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications. *J Sci Food Agric*, 94(7), 1264-75. doi: 10.1002/jsfa.6486. Epub 2014 Jan 24. PMID: 24254316.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24254316/>

Mussatto, S.I., & Roberto, I.C. (2005). Acid hydrolysis and fermentation of brewer's spent grain to produce xylitol. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(14), 2453–2460.

<https://doi.org/10.1002/jsfa.2276>

Mussatto, S.I., & Roberto, I.C. (2006). Chemical characterization and liberation of pentose sugars from brewer's spent grain. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 81(3), 268–74.

<https://doi.org/10.1002/jctb.1374>

Naibaho, J. & Korzeniowska, M. (2021). The variability of physico-chemical properties spent grain from 8 different breweries. *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06583>

Ndeh, D., & Gilbert, H.J. (2018). Biochemistry of complex glycan depolymerisation by the human gut microbiota. *FEMS Microbiology Reviews*, 42(2), 146–164. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuy002>

Nicklas, T.A., O’Neil, C.E., & Fulgoni III, V.L. (2014). Snacking patterns, diet quality, and cardiovascular risk factors in adults. *BMC Public Health*, 14388.

Nocente, F., Taddei, F., Galassi, E., & Gazza, L. (2019). Upcycling of brewers’ spent grain by production of dry pasta with higher nutritional potential. *LWT Food Sci. Technol*, 114, 108421. doi: 10.1016/j.lwt.2019.108421.

Noort, M. W., Van Haaster, D., Hemery, Y., Schols, H. A., & Hamer, R. J. (2010). The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality – Evidence for fibre–protein interactions. *Journal of Cereal Science*, 52(1), 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.03.003>

Odeseye, A. A., Awonorin, S. O., Abdussalaam, R. O., Sanni, L. O., & Olayanju, T. M. A. (2020). The effect of processing variables on the biscuit-making potential of cocoyam-brewer’s spent grain flour blends. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 12(1), 56– 66. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2020.12.1.08>

Olšovská, J., Vrzal, T., Štěřba, K., Slabý, M., Kubizniaková, P., & Čejka, P. (2019). The chemical profiling of fatty acids during the brewing process. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 99, 1772–1779. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9369>

Olsson, J., Börjesson, T., Lundstedt, T., & Schnürer, J. (2002). Detection and quantification of ochratoxin A and deoxynivalenol in barley grains by GC-MS and electronic nose. *International Journal of Food Microbiology*, 72(3), 203-14. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(01\)00685-7](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(01)00685-7)

Ordon, M., Zdanowicz, M., Nawrotek, P., Stachurska, X., & Mizielińska, M. (2021). Polyethylene Films Containing Plant Extracts in the Polymer Matrix as Antibacterial and Antiviral Materials. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(24), 13438. <https://doi.org/10.3390/ijms222413438>

Oreopoulou, V., & Tzia, C. (2007). Utilization of Plant By-Products for the Recovery of Proteins, Dietary Fibers, Antioxidants, and Colorants. *Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry*, 209–232. https://doi.org/10.1007/978-0-387-35766-9_11

O'Shea, N., Ktenioudaki, A., Smyth, T., McLoughlin, P., Doran, L., Auty, M., Arendt, E., & Gallagher, E. (2015). Physicochemical assessment of two fruit by-products as functional ingredients: Apple and orange pomace. *Journal of Food Engineering*, *153*, 89–95.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.12.014>

Osman, AM., Coverdale, SM., Cole, N., Hamilton, SE., & de Jersey, J. (2002). Characterisation and Assessment of the Role of Barley Malt Endoproteases During Malting and Mashing.

Journal of the Institute of Brewing, *108*, 62–67. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2002.tb00125.x>

Papageorgiou, M., & Skendi, A. (2018). Introduction to cereal processing and by-products. *Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products* (pp. 1–25). Elsevier.

Parada, J., Aguilera, J. M., & Brennan, C. (2011). Effect of guar gum content on some physical and nutritional properties of extruded products. *Journal of Food Engineering*, *103*(3), 324–332.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.11.001>

Park, J.W., Kim, E.K., Shon, D.H., & Kim, Y.B. (2002). Natural co-occurrence of aflatoxin B1, fumonisin B1 and ochratoxin A in barley and corn foods from Korea. *Food Additives & Contaminants*, *19*, 1073–1080.

<https://doi.org/10.1080/02652030210151840>

Pastoriza, S., & Rufián-Henares, J.A. (2014). Contribution of melanoidins to the antioxidant capacity of the Spanish diet. *Food Chemistry*, *164*, 438–445.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.118>

Petrovic, J., Pajin, B., Tanackov-Kocic, S., Pejin, J., Fistes, A., Bojanic, N., & Loncarevic, I. (2017). Quality properties of cookies supplemented with fresh brewer's spent grain. *Food Feed Res*, *44*, 57–63. doi: 10.5937/FFR1701057P

Pietsch, W. (1999). Readily engineer agglomerates with special properties from micro- and nanosized particles. *Chem Eng Progress*, *8*, 67–81.

Pippen, E., Schultz, T., & Owens, H. (1953). Effect of degree of esterification on viscosity and gelation behavior of pectin. *Journal of Colloid Science*, *8*(1), 97–104.

[https://doi.org/10.1016/0095-8522\(53\)90010-5](https://doi.org/10.1016/0095-8522(53)90010-5)

Pleadin, J., Staver, M. M., Markov, K., Frece, J., Zadravec, M., Jaki, V., Krupić, I., & Vahčić, N. (2017). Mycotoxins in organic and conventional cereals and cereal products grown and marketed in Croatia. *Mycotoxin Research*, *33*(3), 219–227.

<https://doi.org/10.1007/s12550-017-0280-3>

Plomptoux, A. (2021). *Étude de l'impact des paramètres d'extrusion sur les propriétés physicochimiques et de texture des snacks (TFE)*. Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT).

Prasad, K. (2009). Flaxseed and Cardiovascular Health. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, 54(5), 369-377. <https://doi.org/10.1097/fjc.0b013e3181af04e5>

Puligundla, P., & Mok, C. (2021). Recent advances in biotechnological valorization of brewers' spent grain. *Food Sci Biotechnol*, 30(3), 341-353. doi: 10.1007/s10068-021-00900-4. PMID: 33868745; PMCID: PMC8017037. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33868745/>

Pussemier, L., Larondelle, Y., Van Peteghem, C., & Huyghebaert, A. (2006). Chemical safety of conventionally and organically produced foodstuffs: A tentative comparison under Belgian conditions. *Food Control*, 17(1), 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.08.003>

Quiles, J. L., Ramírez-Tortosa, M., Gómez, J., Huertas, J. R., & Mataix, J. (2002). Role of vitamin E and phenolic compounds in the antioxidant capacity, measured by ESR, of virgin olive, olive and sunflower oils after frying. *Food Chemistry*, 76(4), 461–468. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(01\)00307-7](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(01)00307-7)

Rachwał, K., Waśko, A., Gustaw, K., & Polak-Berecka, M. (2020). Utilization of brewery wastes in food industry. *PeerJ*, 14(8), e9427. doi: 10.7717/peerj.9427. PMID: 32742775; PMCID: PMC7367049. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32742775/>

Rahmani, M. (2007). MÉTHODE D'ÉVALUATION DE LA STABILITÉ OXYDATIVE DES LIPIDES. *Les technologies de laboratoire*, N°2 janvier-Février, 18-21.

Régis, J., Joffre, F., & Fine, F. (2016). Impact de la trituration et du raffinage sur la teneur en micronutriments des huiles végétales de colza, soja et tournesol. *OCL*, 23(3). <https://doi.org/10.1051/ocl/2016010>

Reis, S., Gullón, B., Gullón, P., Ferreira, S., Maia, C., Alonso, J., Domingues, FC., & Abu-Ghannam, N. (2014). Evaluation of the prebiotic potential of arabinoxylans from brewer's spent grain. *Applied Microbiology & Biotechnology*, 98(22), 9365–9373. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6009-8>

Rękas, A., Ścibisz, I., Siger, A., & Wroniak, M. (2017). The effect of microwave pretreatment of seeds on the stability and degradation kinetics of phenolic compounds in rapeseed oil during long-term storage. *Food Chemistry*, 222, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.003>

Rękas, A., Siger, A., Wroniak, M., ŚCibisz, I., Derewiaka, D., & Anders, A. (2017). Influence of de-hulled rapeseed roasting on the physicochemical composition and oxidative state of oil. *Grasas y Aceites*, 68(1), 176. <https://doi.org/10.3989/gya.0806162>

Riaz, M. (2015). Snack Foods: Processing. *Encyclopedia of Food Grains: Second edition*, 414–422. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394437-5.00160-1>

Rivero-Pérez, M., Pérez-Magariño, S., & González-San José, M. (2002). Role of melanoidins in sweet wines. *Analytica Chimica Acta*, 458(1), 169–175. [https://doi.org/10.1016/s0003-2670\(01\)01591-4](https://doi.org/10.1016/s0003-2670(01)01591-4)

Robertson, J.A., l'Anson, K.J.A., Treimo, J., Faulds, C.B., Brocklehurst, T.F., Eijsink, V.G.H., & Waldron, K.W. (2010) Profiling brewers' spent grain for composition and microbial ecology at the site of production. *LWT-Food Sci. Technol.* 43(6), 890–896.

Robin, F., Schuchmann, H.P., & Palzer, S. (2012). Dietary fiber in extruded cereals: Limitations and opportunities. *Trends in Food Science & Technology*, 28(1), 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.008>

Rol, F., Karakashov, B., Nechyporchuk, O., Terrien, M., Meyer, V., Dufresne, A., Belgacem, M.N., & Bras, J. (2017). Pilot-Scale Twin Screw Extrusion and Chemical Pretreatment as an Energy-Efficient Method for the Production of Nanofibrillated Cellulose at High Solid Content. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(8), 6524–6531. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b00630>

Rufián-Henares, J.A., & Morales, F.J. (2007). Functional properties of melanoidins: In vitro antioxidant, antimicrobial and antihypertensive activities. *Food Research International*, 40(8), 995–1002. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.05.002>

Saleem, M., & Ahmad, N. (2018). Characterization of canola oil extracted by different methods using fluorescence spectroscopy. *PLOS ONE*, 13(12), e0208640. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208640>

Sangnark, A., & Noomhorm, A. (2003). Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse. *Food Chemistry*, 80(2), 221–229. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(02\)00257-1](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(02)00257-1)

Santos, M., Jiménez, J., Bartolomé, B., Gómez-Cordovés, C., & Del Nozal, M. (2003). Variability of brewer's spent grain within a brewery. *Food Chemistry*, 80(1), 17–21. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(02\)00229-7](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(02)00229-7)

Scher, J., & Hardy, J. (2002). A new approach of sensorial evaluation of cooked cereal foods: fractal analysis of rheological data. *The European Physical Journal Applied Physics*, 20(2), 159–163. <https://doi.org/10.1051/epjap:2002087>

Sebei, K., Boukhchina, S., & Kallel, H. (2007). Évolution des tocophérols en relation avec les acides gras insaturés au cours de la maturation des graines de colza de printemps (*Brassica napus* L.). *Comptes Rendus Biologies*, 330(1), 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.crvl.2005.12.005>

Shih, Y.T., Wang, W., Hasenbeck, A., Stone, D., & Zhao, Y. (2020). Investigation of physicochemical, nutritional, and sensory qualities of muffins incorporated with dried brewer's spent grain flours as a source of dietary fiber and protein. *J Food Sci*, 85(11), 3943-3953. doi: 10.1111/1750-3841.15483. Epub 2020 Oct 10. PMID: 33037629. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33037629/>

Shim, Y.Y., Gui, B., Arnison, P. G., Wang, Y., & Reaney, M. J. (2014). Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature : A review. *Trends in Food Science & Technology*, 38(1), 5-20. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.03.011>

Siger, A., & Józefiak, M. (2016). The effects of roasting and seed moisture on the phenolic compound levels in cold-pressed and hot-pressed rapeseed oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118(12), 1952–1958. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201500249>

Si Hassen, W., Castetbon, K., Tichit, C., Lampuré A., Hercberg, S., & Méjean, C. (2016). Fréquence et contenu nutritionnel des prises alimentaires hors repas chez les adultes français (étude NutriNet - Santé). *Journée Francophones de Nutrition - communication affichée*. (Monpellier, Nov-Dec 2016)

Silbir, S., & Goksungur, Y. (2019). Natural red pigment production by *Monascus Purpureus* in submerged fermentation systems using a food industry waste: Brewer's spent grain. *Foods*, 8(5), 161. <https://doi.org/10.3390/foods8050161>

Skoczyńska, A.H., Gluza, E., Wojakowska, A., Turczyn, B., & Skoczyńska, M. (2018). Linseed oil increases HDL3 cholesterol and decreases blood pressure in patients diagnosed with mild hypercholesterolaemia. *Kardiologia Polska*, 76(8), 1242-1250. <https://doi.org/10.5603/kp.a2018.0093>

Slade, L., Levine, H., Kweon, M. & Gannon, D. (2006). Cookie vs. cracker baking—what's the difference? Flour functionality requirements explored by SRC and alveography. Paper presentation at the 53rd Annual Research Review Conference, 21 March USDA-ARS Soft Wheat Quality Laboratory, Wooster, OH.

- Slavin, J. (2013). Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients*, 5(4), 1417–1435. <https://doi.org/10.3390/nu5041417>
- Sosulski, F.W. (1962). The centrifuge method for determining flour absorption in hard red spring wheats. *Cereal Chemistry*, 39, 344–350.
- Sperandio, G., Amoriello, T., Carbone, K., Fedrizzi, M., Monteleone, A., Tarangioli, S., & Pagano, M. (2017). Increasing the value of spent grain from craft microbreweries for energy purposes. *Chem. Eng. Trans*, 58, 487–492.
- Steinmacher, N.C., Honna, F.A., Gasparetto, A.V., Anibal, D., & Grossmann, M.V.E. (2012). Bioconversion of brewer's spent grains by reactive extrusion and their application in bread-making. *LWT Food Sci. Technol*, 46, 542–547. doi: 10.1016/j.lwt.2011.11.011.
- Stojceska, V., & Ainsworth, P. (2008). The effect of different enzymes on the quality of high-fibre enriched brewer's spent grain breads. *Food Chem*, 110, 865–872. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.02.074.
- Stojceska, V., & Ainsworth, P. (2009). Transforming food – Processing waste into added-value products. *Food Science and Technology*, 23(4), 20-22.
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İBanoğlu, S. (2008). The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*, 47(3), 469–479. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.05.016>
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İBanoğlu, E. (2009). The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chemistry*, 114(1), 226–232. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.043>
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İBanoğlu, E. (2010). The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products. *Food Chemistry*, 121(1), 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.024>
- Sykes, G.B., & Davidson, I. (2020). Crackers. *Biscuit, Cookie and Cracker Process and Recipes*, 1–31. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820598-3.00001-9>
- Szterk, A., Rogalski, M., & Szyborski, T. (2015). The Impact of Linseed Oil Lipids on the Physical Properties of Corn Crisps and the Possibility of Obtaining Crisps Enriched with n-3

Fatty Acids. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(8), 1195–1203.

<https://doi.org/10.1007/s11746-015-2672-x>

Szwajgier, D., Wasko, A., Targonski, Z., Niedzwiadek, M., & Bancarzewska, M. (2010). The use of a novel ferulic acid esterase from *Lactobacillus acidophilus* K1 for the release of phenolic acids from brewer's spent grain. *J I Brewing*, 116(3), 293–303.

Tan, Y.X., Mok, W.K., & Chen, W.N. (2020). Potential novel nutritional beverage using submerged fermentation with *Bacillus subtilis* WX-17 on brewers' spent grains. *Heliyon*, 6(6), e04155. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04155. PMID: 32551388; PMCID: PMC7287253.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32551388/>

Taniwaki, M., & Kohyama, K. (2012). Mechanical and acoustic evaluation of potato chip crispness using a versatile texture analyzer. *Journal of Food Engineering*, 112(4), 268–273.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.05.015>

Tang, Z., Cenkowski, S., & Muir, W.E. (2004). Modelling the superheated-steam drying of a fixed bed of brewers' spent grain. *Biosystem Engineering*, 87(1), 67–77.

<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.09.008>

Tesch, R., Normand, M. D., & Peleg, M. (1996). Comparison of the acoustic and mechanical signatures of two cellular crunchy cereal foods at various water activity levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 70(3), 347–354.

Thachil, M. T., Chouksey, M. K., & Gudipati, V. (2013). Amylose-lipid complex formation during extrusion cooking: effect of added lipid type and amylose level on corn-based puffed snacks. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(2), 309–316.

<https://doi.org/10.1111/ijfs.12333>

Thammakiti, S., Suphantharika, M., Phaesuwan, T., & Verduyn, C. (2004). Preparation of spent brewer's yeast beta-glucans for potential applications in the food industry.

International Journal of Food Science and Technology, 39(1), 21–29.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00742.x>

Thiago, R.D S.M., Pedro, P.M.D.M., & Eliana, F.C.S. (2014). Solid wastes in brewing process: A review. *Journal of Brewing and Distilling*, 5(1), 1–9. <https://doi.org/10.5897/jbd2014.0043>

Thomassin, J. M. (2022, 19 mai). Celabor - Développement d'emballages barrières actifs à base de fibres naturelles. [Conférence]. Salon Empack, Namur.

Treimo, J., Aspomo, S.I., Eijsink, V.G., & Horn, S.J. (2008). Enzymatic solubilization of proteins in brewer's spent grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(13), 5359–5365. <https://doi.org/10.1021/jf073317s>

Tunick, M. H., Onwulata, C. I., Thomas, A. E., Phillips, J. G., Mukhopadhyay, S., Sheen, S., Liu, C. K., Latona, N., Pimentel, M. R., & Cooke, P. H. (2013). Critical Evaluation of Crispy and Crunchy Textures: A Review. *International Journal of Food Properties*, 16(5), 949–963. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.573116>

Un papier haute barrières pour tous types de sachets. (2021, mai). *PROCESS ALIMENTAIRE*, n°1391, 88.

Varela, P., Chen, J., Fiszman, S., & Povey, M. J. W. (2006). Crispness assessment of roasted almonds by an integrated approach to texture description: texture, acoustics, sensory and structure. *Journal of Chemometrics*, 20(6–7), 311–320. <https://doi.org/10.1002/cem.1029>

Vilela, C., Kurek, M., Hayouka, Z., Röcker, B., Yildirim, S., Antunes, M. D. C., Nilsen-Nygaard, J., Pettersen, M. K., & Freire, C. S. (2018). A concise guide to active agents for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.006>

Vincent, J. F. V. (1998). The quantification of crispness. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 78(2), 162–168.

Wang, Y. (2009). Prebiotics: Present and future in food science and technology. *Food Research International*, 42(1), 8–12. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.09.001>

Waters, D.M., Jacob, F., Titze, J., Arendt, E. K., & Zannini, E. (2012). Fibre, protein and mineral fortification of wheat bread through milled and fermented brewer's spent grain enrichment. *European Food Research and Technology*, 235(5), 767–778. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1805-9>

Wen, C., Zhang, J., Duan, Y., Zhang, H., & Ma, H.A. (2019). Mini-Review on Brewer's Spent Grain Protein: Isolation, Physicochemical Properties, Application of Protein, and Functional Properties of Hydrolysates. *Journal of Food Science*, 84(12), 3330–3340. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14906>

Xie, F., Gu, B. J., Saunders, S. R., & Ganjyal, G. M. (2021). High methoxyl pectin enhances the expansion characteristics of the cornstarch relative to the low methoxyl pectin. *Food Hydrocolloids*, 110, 106131. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106131>

- Xiros, C., & Christakopoulos, P. (2012). Biotechnological Potential of Brewers Spent Grain and its Recent Applications. *Waste Biomass Valor* 3, 213-232. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-012-9108-8>
- Yang, Q., Hui, X. G., Qiang, Y., & Hua, L. X. (2016). Improvement in corn flour applicability using lactic acid fermentation: A mechanistic study. *Starch - Stärke*, 69(5–6), 1600219. <https://doi.org/10.1002/star.201600219>
- Yang, Y., Song, X., Sui, X., Qi, B., Wang, Z., Li, Y., & Jiang, L. (2016). Rosemary extract can be used as a synthetic antioxidant to improve vegetable oil oxidative stability. *Industrial Crops and Products*, 80, 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.044>
- Yang, Z., Zhou, Y., Xing, J.J., Guo, X.N., & Zhu, K.X. (2022). Effect of superheated steam treatment and extrusion on lipid stability of black soybean noodles during storage. *Food Control*, 132, 108388. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108388>
- Yanniotis, S., Petraki, A., & Soumpasi, E. (2007). Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 594–599. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.018>
- Yoshimoto, J., Kato, Y., Ban, M., Kishi, M., Horie, H., Yamada, C., & Nishizaki, Y. (2020). Palatable Noodles as a Functional Staple Food Made Exclusively from Yellow Peas Suppressed Rapid Postprandial Glucose Increase. *Nutrients*, 12(6), 1839. <https://doi.org/10.3390/nu12061839>
- Yu, J. K., & Moon, Y. S. (2021). Corn Starch: Quality and Quantity Improvement for Industrial Uses. *Plants*, 11(1), 92. <https://doi.org/10.3390/plants11010092>
- Zelanski, T., Ekielski, A., Siwek, A., & Durczak, K. (2018). By-products from brewery industry as the attractive additives to the extruded cereals food. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 10(5), 83-97.
- Zenk, S.N., Horoi, I., McDonald, A., Corte, C., Riley, B., & Odoms-Young, A.M. (2014). Ecological momentary assessment of environmental and personal factors and snack food intake in African American women. *Appetite*, 83333-341.
- Zheng, H., Wang, H., Yang, H., Wu, J., Shi, B., Cai, R., Xu, Y., Wu, A., & Luo, L. (2013). Genetic Diversity and Molecular Evolution of Chinese Waxy Maize Germplasm. *PLoS ONE*, 8(6), e66606. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066606>

3. Webographie

Alfed. (s.d.). *UK aluminium industry fact Sheet 15, Aluminum packaging*. Alfed. Consulté le 9 août 2022, <https://www.alfed.org.uk/files/Fact%20sheets/15-aluminium-packaging.pdf>

antioxydant - Définitions, synonymes, conjugaison, exemples | Dico en ligne Le Robert. (s.d.). Le Robert. Consulté le 30 décembre 2021, <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/antioxydant>

Arrêté royal n°1992025029 concernant l'étiquetage nutritionnel des denrées alimentaires. (1992, 8 janvier). Consulté le 18 octobre 2021, <http://www.ejustice.just.fgov.be/eli/arrete/1992/01/08/1992025029/justel>

Arrêté Royal du 01/03/2019 relatif à l'utilisation du logo "Nutri-Score". (2019, 1 avril). Etaamb. Consulté le 26 octobre 2021, https://www.etaamb.be/fr/arrete-royal-du-01-mars-2019_n2019040711.html

ASBL Brasseurs Belges. Rapport annuel 2020. Bruxelles. Consulté le 19 octobre 2021, <http://www.belgianbrewers.be/fr/economie/article/rapport-annuel>

ANSES. (2017, 18 juillet). Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 3 (INCA3) 2014-2015. Consulté le 18 octobre 2021, <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2014SA0234Ra.pdf>

Beudelot, A., & Gallez, A. (2021, 4 juin). Chiffres du Bio. Biowallonie. Consulté le 22 novembre 2021, <https://www.apaqw.be/sites/default/files/uploads/Actualites%20presse/2021/sb21chiffresbio20.pdf>

Beer consumption by country(Year) | Market data and Sales (former Data book and Sales Reports) | Kirin Holdings. (s.d.). Kirin Holdings Company, Limited. Consulté le 13 décembre 2021, https://www.kirinholdings.com/en/investors/library/databook/beer_country/

Bols comestibles neutres. (s.d.). SWITCH EAT. Consulté le 9 juin 2022, <https://www.switch-eat.com/bols-comestibles-neutres/>

Businesscoot. (2021, 27 octobre). *Le marché des biscuits apéritifs - France | Businesscoot*. Consulté le 7 novembre 2021, <https://www.businesscoot.com/fr/etude/le-marche-des-biscuits-aperitifs-france>

Celabor. (s.d.). *Vieillessement Accéléré*. Celabor.be. Consulté le 30 mai 2022, https://www.celabor.be/site/5_vieillessement-accelere/index.html

CHAPTER 2: METHODS OF FOOD ANALYSIS. (s.d.). FAO. Consulté le 15 juillet 2022, <https://www.fao.org/3/y5022e/y5022e03.htm>

Charte graphique Nutri-Score. (2021, 16 mars). SPF Santé publique. Consulté le 25 octobre 2021, <https://www.health.belgium.be/fr/charte-graphique-pour-le-nutri-score>

Chauvel, A. (2021, 26 décembre). *Les chips mises en appétit par leur popularité*. Isa-conso.fr. Consulté le 20 octobre 2021, <https://www.isa-conso.fr/les-chips-mises-en-appetit-par-leur-popularite,377908>

Cheetos | Chipito | Chips | Chipito | Fromage | 125 gr | Delhaize. (s.d.). Delhaize. Consulté le 27 juin 2022, <https://www.delhaize.be/fr-be/shop/Epicerie-salee/Chips-et-snacks-aperitif/Chips/Chips-forme-speciale/Chips-Chipito-Fromage/p/S2021061100030200000#productInfo>

Ciqual Table de composition nutritionnelle des aliments - farine d'orge. (2020). Ciqual. Consulté le 15 novembre 2021, <https://ciqual.anses.fr/#/aliments/9550/farine-d'orge>

Ciqual Table de composition nutritionnelle des aliments - lin, graine. (2020). Ciqual. Consulté le 15 novembre 2021, <https://ciqual.anses.fr/#/aliments/15034/lin-graine>

Codex Alimentarius. (2019). *CODEX ALIMENTARIUS - NORME GÉNÉRALE POUR LES ADDITIFS ALIMENTAIRES*. Consulté le 20 décembre 2021, https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B192-1995%252FCXS_192f.pdf

Conseil Supérieur de la Santé (2016). *Recommandations nutritionnelles pour la Belgique - 2016*. Bruxelles : CSS. Avis n° 9285. Consulté le 18 octobre 2021, https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth_theme_file/9285_avis_rec_nutr_corr_170105_0.pdf

Consommation d'aliments issus de l'agriculture biologique en Belgique et en Wallonie. Document non publié. Fourniture de données pour le compte du SPW Environnement - DEMNA. (2020). Gfk. Consulté le 18 octobre 2021, <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/MEN%206.html>

Consommation d'alcool. (2021, 21 septembre). Vers une Belgique en bonne santé. Consulté le 20 décembre 2021, <https://www.belgiqueenbonnesante.be/fr/etat-de-sante/determinants-de-sante/consommation-d-alcool#references>

Consommer des collations saines, éviter le grignotage. Éducation Santé. (2007, avril). Consulté le 22 novembre 2021, <https://educationsante.be/consommer-des-collations-saines-eviter-le-grignotage/>

Contrôle et certification (2019, 16 mai). Wallonie Agriculture SPW. Consulté le 10 novembre 2021, <https://agriculture.wallonie.be/certification>

Crackers – MAD LAB. (s.d.). MAD LAB. Consulté le 10 décembre 2021, <https://www.madlab.brussels/cracker>

Critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires Lignes directrices pour l'interprétation. (2018, août). Professionnels - Sécurité alimentaire - Luxembourg. Consulté le 10 novembre 2021, https://securite-alimentaire.public.lu/content/dam/securite_alimentaire/fr/professionnel/Denrees-alimentaires/Qualite-microbiologique/recueil_criteres_microbiologiques/F-054-05.pdf

CSS. (2019, juin). *RECOMMANDATIONS ALIMENTAIRES POUR LA POPULATION BELGE ADULTE - 2019.* Conseil Supérieur de la Santé. Consulté le 20 décembre 2021, https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth_theme_file/20190902_css-9284_fbdg_vweb_0.pdf

Dangers physiques dans les aliments. (2014). Anses. Consulté le 8 novembre 2021, <https://www.anses.fr/fr/system/files/GBPH2013sa0170.pdf>

Delefosse, M. (2020, 7 décembre). *Un multicouche signé BASF et BillerudKorsnäs.* Pack & Label Around. Consulté le 12 janvier 2022, <https://www.packaround.fr/fr/emballages-cartons/materiaux-et-flux/basf-billerudkorsnas-conflex-silk-ecovio.html>

Dereuder, A. (2015, 3 août). *Texturants : les caractéristiques des sources d'amidons.* PROCESS. Consulté le 13 janvier 2022, https://www.processalimentaire.com/ingredients/texturants-les-caracteristiques-des-sources-d-amidons-26816?fbclid=IwAR3zGK9ctGumC0k4IIAU_smFDc6isPpnZzlQNr8kBN1vqYZukGJli3C2RTO

De Ridder, K. La consommation alimentaire. Dans : De Ridder K, Tafforeau J (éd.). Enquête de consommation alimentaire 2014-2015. Rapport 4. WIV-ISP, Bruxelles, 2016. Consulté le 7

novembre 2021, https://fcs.wiv-isp.be/nl/Gedeelde%20%20documenten/FRANS/Rapport%204/Chapter1_FR_finaal.pdf

De Ridder, K., Bel, S., Brocatus, L., Lebacqz, T., Ost, C., & Teppers, E. Résumé des résultats 2014-2015. Dans : Tafforeau J (éd.) Enquête de consommation alimentaire. WIV-ISP, Bruxelles, 2016. Consulté le 7 novembre 2021, https://fcs.wiv-isp.be/nl/Gedeelde%20%20documenten/FRANS/Resume_FR_finaal_web.pdf

Dhulster, P., & Karoui, R. (2015, juin). *Le Séchage - Isotherme d'adsorption et de désorption de l'eau*. GÉNIE INDUSTRIEL ALIMENTAIRE EN LIGNE. Consulté le 26 décembre 2021, https://tech-alim.univ-lille.fr/sechage/co/Chapitre1_2.html

Digraf. (2021, 7 janvier). *Encres écologiques et à faible migration en impression : caractéristiques et atouts*. Graficas Digraf. Consulté le 28 mai, <https://www.graficasdigraf.com/fr/encres-ecologiques-faible-migration-impression-caracteristiques-atouts/>

DIRECTIVE 2008/98/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives TEXTE consolidé : 32008L0098 — FR — 05.07.2018. (2018, 5 juillet). EUR-Lex. Consulté le 22 décembre 2021, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:02008L0098-20180705&from=EN>

Economie circulaire | Belgium.be. (2021, 26 octobre). belgium.be. Consulté le 22 novembre 2021, https://www.belgium.be/fr/economie/developpement_durable/economie_durable/economie_circulaire

El Atyqy, M. (2018, 22 octobre). *Eau dans les aliments | SCIENTECAL.COM*. Sciences et Techniques des Aliments. Consulté le 21 juillet 2022, <https://scientecal.com/eau-dans-les-aliments>

ENILBIO. (2014). *MAITRISE DU RISQUE MICROBIOLOGIQUE EN BRASSERIE*. Consulté le 6 décembre 2021, <https://www.enil.fr/docs/r&d/GUIDE-METHODOLOGIQUE-Maitrise-du-risque-microbiologique.pdf>

Eurobrillance. (2020, 21 mai). *Valorisez vos emballages souples du papier barrière*. Eurobrillance. Consulté le 8 juin 2022, <https://eurobrillance.com/fr/valorisez-vos-emballages-souples-avec-notre-nouveau-papier-barriere/>

Evaluation scientifique du "Guide d'autocontrôle pour le secteur brassicole" (dossier Sci Com 2005/76). (2006, 10 février). AFSCA. Consulté le 17 novembre 2021, https://www.favv-afsca.be/comitescientifique/avis/2006/ documents/AVIS_07-2006.pdf

Flemish Food Supply Chain Platform for Food Loss. (2017). *FOOD WASTE AND FOOD LOSSES: PREVENTION AND VALORISATION*. Voedselverlies.be. Consulté le 20 décembre 2021, https://www.voedselverlies.be/sites/default/files/atoms/files/Monitor_EN_final.pdf

Fost plus. (s.d.). *Design 4 recycling*. Consulté le 05 juin 2022, <https://www.fostplus.be/fr/media/370/download>

GfK. (2020). Consommation de produits issus de l'agriculture biologique en Belgique et en Wallonie. Document non publié. Fourniture de données pour le compte du SPW Environnement - DEMNA. Consulté le 18 octobre 2021, <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/MEN%206.html>

Gisle, L. (2008). *La consommation d'alcool*. ISP WIV. Enquête de santé par interview, Belgique 2008, 383-461. https://his.wiv-isp.be/fr/documents%20partages/al_fr_2008.pdf

Gmund Bier Papier. (s.d.). Büttenpapierfabrik Gmund. Consulté le 9 juin 2022, <https://world-en.gmund.com/collections/gmund-bier-papier/>

Guggenbühl, N. (s. d.). *Le grignotage, une habitude bien ancrée*. Food in action. Consulté le 19 octobre 2021, <https://www.foodinaction.com/le-grignotage-une-habitude-bien-ancree/>

Guide d'autocontrôle pour les boulangeries et pâtisseries. (18 juin 2013). AFSCA. Consulté le 20 juin 2022, https://www.favv-afsca.be/autocontrole-fr/guides/distribution/g026/ documents/G-026_V2_FR_18-06-2013.pdf

Heuzé, V. & Tran, G. (2017). *Coproduit de brasserie : Drêches de brasseries. Comité national des coproduits*. Consulté le 24 mars 2022, https://idele.fr/?eID=cmis_download&oID=workspace://SpacesStore/66f891b4-b730-4c6a-beaa-be84ff834bdd

Intérêt des Bactéries Lactiques en Alimentation. (s.d.). Caducee.net. Consulté le 27 juillet 2022, <https://www.caducee.net/Fiches-techniques/eufic/bacteries-lactiques.asp#:~:text=Les%20bact%3%A9ries%20lactiques%20appartiennent%20%C3%A0,syst%3%A8me%20digestif%20de%20l'homme>

ISO 5498:1981. (1981, avril). ISO. Consulté le 9 novembre 2021, <https://www.iso.org/standard/11544.html>

ISO 16634–2:2016. (2016, mai). ISO. Consulté le 9 novembre 2021, <https://www.iso.org/standard/66661.html>

ISO 712:2009. (2009, novembre). ISO. Consulté le 9 novembre 2021, <https://www.iso.org/standard/44807.html>

ISO 712:2009. (2009, novembre). ISO. Consulté le 9 novembre 2021, <https://www.sis.se/api/document/preview/911751/>

ISO 11085:2015. (2015). ISO. Consulté le 9 novembre 2021, <https://www.sis.se/api/document/preview/919265/>

ISO 18787:2017. (2017). ISO. Consulté le 17 décembre 2021, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18787:ed-1:v1:fr>

ISO 12966–4:2015. (2015, juin). ISO. Consulté le 17 décembre 2021, <https://www.iso.org/fr/standard/63503.html>

ISO 27107:2008. (2008). ISO. Consulté le 16 décembre 2021, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:27107:ed-1:v2:fr>

ISO 660:2020. (2020°). ISO. Consulté le 16 décembre 2021, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:660:ed-4:v1:fr>

ISO 3961:2018. (2018, août). ISO. Consulté le 16 décembre 2021, <https://www.iso.org/fr/standard/71868.html>

Jadot, C. (2018, 4 août). *L'amour entre les Belges et la bière expliqué en 5 chiffres*. Saveurs. Consulté le 20 décembre 2021, <https://saveurs.be/lamour-entre-les-belges-et-la-biere-explique-en-5-chiffres/>

L, M. (2011, 19 mai). *Alimentation : 61% de la population grignote*. lsa-conso.fr. Consulté le 21 novembre 2021, <https://www.lsa-conso.fr/alimentation-61-de-la-population-grignote,121932>

Lactips. (s.d.). *Lactips launches "Plastic Free Paper"*. Consulté le 12 janvier 2022, <https://www.lactips.com/news/lactips-launches-plastic-free-paper/?lang=en>

Lanco, C. (2021, 13 octobre). Les Français et l'apéritif. Consulté le 7 novembre 2021, <https://fr.yougov.com/news/2021/10/13/les-francais-et-l-aperitif/>

La rédaction. (2021, 1 juin). *CFIA 2021 : 10 solutions à découvrir en Emballages et conditionnements*. Agro Media. Consulté le 30 juillet 2022, <https://www.agro-media.fr/dossier/cfia-2021-10-solutions-a-decouvrir-en-emballages-et-conditionnements-48967.html>

La Semaine bio 2020 | l'Apaq-W. (2020, mai). Apaq-W. Consulté le 22 novembre 2021, <https://www.apaqw.be/sites/default/files/uploads/Actualites%20presse/2020/barometrebio080620.pdf>

Lavabre, S. (2019, 4 mars). *Les gâteaux apéritifs en quête d'exemplarité*. Isa-conso.fr. Consulté le 20 décembre 2021, <https://www.isa-conso.fr/les-gateaux-aperitifs-en-quete-d-exemplarite,315046>

Le règlement d'usage. (2021, 30 juillet). SPF Santé publique. Consulté le 25 octobre 2021, <https://www.health.belgium.be/fr/le-reglement-dusage>

Les Apéritifs à Croquer, stars des moments apéros des Français ! (2017). Le Syndicat des Apéritifs à Croquer. Consulté le 10 novembre 2021, <https://www.aperitifsacroquer.fr/wp-content/uploads/2018/06/CP-aperos-Printemps-ete-2018.pdf>

Les encres et le contact alimentaire. (s.d.). Stratus. Consulté le 28 mai 2022, <https://www.stratuspackaging.com/blog/encres-et-contact-alimentaire/>

Lignes directrices et normes pour l'interprétation des résultats analytiques en microbiologie alimentaire. (2019, août). MAPAQ. Consulté le 17 novembre 2021, <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/recueil.pdf>

Lingle, R. (2018, 18 septembre). *Compostable snacks packaging snags bioplastic award for Danimer Scientific, PepsiCo*. Plasticstoday.Com. Consulté le 12 janvier 2022, <https://www.plasticstoday.com/packaging/compostable-snacks-packaging-snags-bioplastic-award-danimer-scientific-pepsico>

Lutte contre les pertes et gaspillages alimentaires - Plan REGAL 2.0 revu et actualisé 2015–2025. (2018, 15 février). Gouvernement wallon. Consulté le 20 décembre 2021, <http://environnement.wallonie.be/regal/17ACTIONS-Brochure-presentation-REGAL2-0-V1.pdf>

Maïs | Tables de composition et de valeur nutritionnelle des aliments pour animaux INRA CIRAD AFZ. (s.d.). feedtables. Consulté le 22 juillet, <https://feedtables.com/fr/content/mais>

McClements, D. J. (s.d.). *ANALYSIS OF ASH AND MINERALS*. People.umass.edu. Consulté le 19 juillet 2022, <http://people.umass.edu/%7Emccllemen/581Ash&Minerals.html>

Michel et Augustin | Biscuit | Parmigiano | 100 gr | Delhaize. (2021). Delhaize. Consulté le 20 décembre 2021, <https://www.delhaize.be/fr-be/shop/Epicerie-salee/Chips-et-snacks-aperitif/Biscuits-aperitif-et-toasts/Crackers-et-creppies/Biscuit-Parmigiano/p/S2021071500471650098>

Méthodes et analyses servant à mesurer la qualité des oléagineux. (2019, 28 février). Commission canadienne des grains. Consulté le 13 décembre 2021, <https://www.grainscanada.gc.ca/fr/recherche-donnees/qualite-exportations/oleagineux/methodes-et-analyses.html>

Mussatto, S.I., & Teixeira, J.A. (2010). Lignocellulose as raw material in fermentation processes. In *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology* (pp. 897-907). FORMATEX. Consulté le 5 novembre 2021, <http://www.formatex.info/microbiology2/897-907.pdf>

Normes françaises et européennes. (2010). *Norme NF ISO 10399:2010, Analyse sensorielle - Méthodologie - Essai duo-trio*. Normes nationales et documents normatifs nationaux. Consulté en ligne le 13 juillet 2021, <https://www.iso.org/fr/standard/74219.html>

Normes françaises et européennes, (2007). *Norme NF ISO 5495:2005, Analyse sensorielle — Méthodologie — Essai de comparaison par paires*. Normes nationales et documents normatifs nationaux. Consulté en ligne le 13 juillet 2021, <https://www.iso.org/fr/standard/31621.html>

Nouvelle réglementation BIO 2022. (2021, 16 août). CERTISYS. Consulté le 10 novembre 2021, <https://www.certisys.eu/nouvelle-reglementation-bio-2022/>

Nutri-Score pour les professionnels. (2021, 1 juillet). SPF Santé publique. Consulté le 25 octobre 2021, <https://www.health.belgium.be/fr/nutri-score-pour-les-professionnels>

Nutri-Score. (2021, 14 juillet). SPF Santé publique. Consulté le 26 octobre 2021, <https://www.health.belgium.be/fr/le-nutri-score>

Outil de calcul du Nutri-Score. (2021, 16 mars). SPF Santé publique. Consulté le 25 octobre 2021, <https://www.health.belgium.be/fr/outil-de-calcul-du-nutri-score>

Perriot, P. (2018, 6 juin). *Le Snacking en 2018, les nouvelles tendances en 20 chiffres clés pour être au TOP !* Snacking.fr. Consulté le 15 novembre 2021, <https://www.snacking.fr/actualites/tendances/3885-Le-Snacking-en-2018-les-nouvelles-tendances-en-20-chiffres-cles-pour-etre-au-TOP/>

Pillou, J. F. (2008, 14 octobre). *Le codage CIE / Lab (L*a*b) - Comment Ça Marche.* CommentCaMarche. Consulté le 1 juillet 2022, <https://www.commentcamarche.net/contents/1192-le-codage-cie-lab-l-a-b>

Prins, K.G. (2021, 6 mai). *Potato chips in a recyclable cup | Greiner Packaging.* Greiner Packaging International GmbH. Consulté le 12 janvier 2022, https://www.greiner-gpi.com/en/Magazine/Potato-chips-in-a-recyclable-cup_s_294653

Production biologique - Comité du Lait - CDL Certif. (s. d.). CdL Certif. Consulté le 10 novembre 2021, <https://www.comitedulait.be/index.php/page/production-biologique>

Questions fréquemment demandées au sujet du Nutri-Score. (2021, 27 juillet). SPF Santé publique. Consulté le 25 octobre 2021, <https://www.health.belgium.be/fr/questions-frequeemment-demandees-au-sujet-du-nutri-score>

Rancimat. (s.d.). Metrohm. Consulté le 15 décembre 2021, <https://www.metrohm.com/fr-be/produits/stabilite-thermique/rancimat/>

Readingbakery.fr. *Reading Bakery Systems.* Consulté le 4 mai 2022, <https://www.readingbakery.fr/cracker-production-systems.html>

RÈGLEMENT N° 432/2012 DE LA COMMISSION établissant une liste des allégations de santé autorisées portant sur les denrées alimentaires, autres que celles faisant référence à la réduction du risque de maladie ainsi qu'au développement et à la santé infantiles (2012, 16 mai). Consulté le 18 octobre 2021, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:02012R0432-20140513&from=FR>

RÈGLEMENT (UE) N° 68/2013 DE LA COMMISSION du 16 janvier 2013 relatif au catalogue des matières premières pour aliments des animaux. (2013, 30 janvier). EUR-Lex. Consulté le 22 décembre 2021, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ%3AL%3A2013%3A029%3A0001%3A0064%3AFR%3APDF&fbclid=IwAR03OLYWdowLCyU-Z700wcnHJrKI4sVm3hV9q8K8azf2PD1SOkTyIUu7Yv4>

RÈGLEMENT (CE) N° 834/2007 DU CONSEIL du 28 juin 2007. TEXTE consolidé : 32007R0834 — FR — 01.07.2013. (2007, 28 juin). EUR-Lex. Consulté le 9 novembre 2021, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:02007R0834-20130701&from=EN>

Règlement (CE) N° 1333/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 sur les additifs alimentaires. (2021, 8 août). EUR-Lex. Consulté le 20 décembre 2021, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008R1333-20180527>

Règlement (CE) N° 1881/2006 de la Commission du 19 décembre 2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. Texte consolidé : 19/09/2021. EUR-Lex. Consulté le 9 novembre 2021, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:FR:PDF>

Règlement N°1924/2006 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL concernant les allégations nutritionnelles et de santé portant sur les denrées alimentaires (2006, 20 décembre). EUR-Lex. Consulté le 18 octobre 2021, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2006R1924:20100302:FR:PDF>

Règlement N°1169/2011 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires (2011, 25 octobre). EUR-Lex. Consulté le 9 août 2022, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A32011R1169>

Roussel, S., Chapet & Bouvier. (2000, 10 septembre). *Définitions et principes*. Techniques de l'Ingénieur. Consulté le 10 novembre 2021, <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/operations-unitaires-et-process-de-fabrication-de-produits-alimentaires-42430210/cuisson-extrusion-des-aliments-f3120/definitions-et-principes-f3120niv10002.html>

Sciensano. *Health Interview Survey, 1997-2018*. Consulté le 3 juin 2022, <https://www.sciensano.be/fr/projets/enquete-de-sante>

Statista. (2019, 8 octobre). *Freins à la consommation de produits biologiques en France 2018*. Consulté le 22 novembre 2021, <https://fr.statista.com/statistiques/483797/freins-consommation-produits-biologiques-france/>

Statista. (2021, 28 mai). *Global beer production 1998–2019*. Consulté le 11 octobre 2021, <https://www.statista.com/statistics/270275/worldwide-beer-production/>

Strong and pure Kraft paper for bags. (s.d.). BillerudKorsnäs. Consulté le 12 janvier 2022, <https://www.billerudkorsnas.com/packaging-materials/kraft-paper-bags>

Topos Mondial Corp. *Open Frame 3-Roller Bar Horizontal Bakery Mixer*. Consulté le 4 mai 2022,

<https://www.toposmondial.com/public/product.aspx?ProductID=24600>

Tosca. (s.d.). *Active Lock Crates Archives*. Tosca | RPCs, Reusable Plastic Containers, Perishable Shipping Solutions | Reduce Shrink. Drive Supply Chain Efficiency. Consulté le 29 juillet 2022, https://www.toscaltd.com/product_family/active-lock-crates-en-gb/?lang=en-gb

TREBODUR – *the mabeerial*. (s.d.). TREBODUR. Consulté le 10 juin 2022, <https://trebodur.de>

Van Looveren, Y. (2016, 14 juin). *90% Belgen vindt gezonde voeding belangrijk*. RetailDetail. Consulté le 22 novembre 2021, <https://www.retaildetail.be/nl/news/food/90-belgen-vindt-gezonde-voeding-belangrijk>

Van Rossum, C.T.M., Fransen, H.P., Verkaik-Klosterman, J., Buurma-Rethans, E.J.M., & Ocké, M.C. (2011). Dutch National Food Consumption Survey 2007-2010. Diet of children and adults aged 7 to 69 years. (RIVM - National Institute for Public Health and Environment)

Verma, S., Siegrist¹, J., Claus, J., & Shimelis, O. (2013). *Microbial Quality Control of Beer*. SIGMA-ALDRICH. Consulté le 6 décembre 2021, <https://www.sigmaaldrich.com/deepweb/assets/sigmaaldrich/marketing/global/documents/870/632/T413031H.pdf>

Vtops. (s.d.). *Machines d'Emballage Form Fill Seal Verticales | VTOPS-VFFS*. Consulté le 28 mai 2022, <https://www.vtops.com/fr/vertical-form-fill-sealing-machines-vffs/>

Vtops. (s.d.). *Peseuses multi-tête*. Consulté le 28 mai 2022, <https://www.vtops.com/fr/multihead-weighers/>

WITT-GASETECHNIK GmbH & Co KG. (s.d.). *Emballage sous atmosphère modifiée*. Consulté le 26 décembre 2021, <https://www.wittgas.com/fr/conseil-et-service/livres-blancs/emballage-sous-atmosphere-modifiee/>

VIII. Annexe

Annexe 1 : Les allégations nutritionnelles et de santé

Notre produit fini devra porter des allégations nutritionnelles et de santé.

Définition de l'allégation nutritionnelle

On entend par « *allégation nutritionnelle* »: toute allégation qui affirme, suggère ou implique qu'une denrée alimentaire possède des propriétés nutritionnelles bénéfiques particulières de par: a) l'énergie (valeur calorique) qu'elle :

i) fournit, ii) fournit à un degré moindre ou plus élevé, ou iii) ne fournit pas, et/ou b) les nutriments ou autres substances qu'elle: i) contient, ii) contient en proportion moindre ou plus élevée, ou iii) ne contient pas;

Les allégations nutritionnelles désirées pour notre produit sont :

- « source d'acide gras d'oméga-3 »
- « riche en fibre »

Définition de l'allégation de santé

«*allégation de santé*»: toute allégation qui affirme, suggère ou implique l'existence d'une relation entre, d'une part, une catégorie de denrées alimentaires, une denrée alimentaire ou l'un de ses composants et, d'autre part, la santé » (Règlement n°1924/2006).

Les allégations de santé désirées pour notre produit sont :

- « L'acide alpha-linolénique (ALA) contribue au maintien d'une cholestérolémie normale »
- « Les fibres de grains d'orge contribuent à augmenter le volume des selles »

Allégations des snacks apéritifs

Pour obtenir l'allégation «**riche en fibre**», le produit final devra contenir minimum 6 g de fibres par 100 g ou 3 g de fibres par 100 kcal. Pour porter l'allégation «source d'acide gras d'oméga-3», le produit doit contenir minimum 0,3 g d'acide alpha-linolénique pour 100 g et 100 kcal, ou au moins 40 mg d'acide eicosapentaénoïque et d'acide docosahexaénoïque combinés pour 100 g et 100 kcal (Règlement n°1924/2006).

Pour pouvoir mentionner l'allégation de santé « **L'acide alpha-linolénique (ALA) contribue au maintien d'une cholestérolémie normale** » il faut « *que [...] une denrée alimentaire [...] est au moins une source d'ALA au sens de l'allégation SOURCE D'ACIDE GRAS OMÉGA-3 définie dans l'annexe du règlement (CE) no 1924/2006* » et que « *Le consommateur doit être informé que l'effet bénéfique est obtenu par la consommation journalière de 2 g d'ALA.* » Il faudra donc le mentionner sur l'emballage des snacks apéritifs (Règlement n°432/2012).

Pour pouvoir mentionner l'allégation de santé « **Les fibres de grains d'orge contribuent à augmenter le volume des selles** », il faut «*que une denrée alimentaire [...] est riche en fibres de ce type au sens de l'allégation RICHE EN FIBRES définie dans l'annexe du règlement (CE) no 1924/2006.* » (Règlement n°432/2012).

Législation

Les allégations de santé ne peuvent pas être mentionnées sur l'emballage sans être accompagnées d'autres informations. Elles « *ne sont autorisées que si les informations suivantes figurent sur l'étiquetage [...]* :

a) *une mention indiquant l'importance d'une alimentation variée et équilibrée et d'un mode de vie sain ;*

b) *la quantité de la denrée alimentaire concernée et le mode de consommation requis pour obtenir l'effet bénéfique allégué ;* » (Règlement n°1924/2006).

Dans la législation, l'utilité des allégations est définie :

« *Les denrées alimentaires dont la promotion est assurée au moyen d'allégations peuvent être perçues par les consommateurs comme présentant un avantage nutritionnel ou physiologique ou un autre avantage lié à la santé par rapport à des produits similaires ou autres produits auxquels de tels nutriments et autres substances n'ont pas été ajoutés.* » (Règlement n°1924/2006).

Pour pouvoir utiliser les allégations mentionnées précédemment, il faut que le produit final contienne au minimum autant de graines de lin que pour apporter 0,3 g d'acide alpha-linolénique pour 100 g et 100 kcal, c'est-à-dire qu'il faut 6,4 g de graines de lin par 100 g d'aliment (Nubel, 2017) et également minimum 6 g de fibres par 100 g ou 3 g de fibres par 100 kcal provenant de l'orge (Nubel, 2017). Il faudra donc 9 g de graines d'orge ou 33,9 g de farine d'orge (Ciquel, 2020).

Annexe 2 : Le Nutri-Score

Les crackers ainsi que les snacks extrudés seront formulés de manière qu'ils puissent porter le Nutri-Score B. Cette annexe reprend les démarches légales à réaliser ainsi que le calcul du Nutri-Score du produit final qui sera fait au deuxième quadrimestre pour les snacks apéritifs.

Obtention du Nutri-Score

Pour pouvoir utiliser le Nutri-Score sur un produit, un enregistrement à la Santé publique France est indispensable. « *Cet enregistrement comporte :*

- *L'identification du demandeur et de son activité*
- *Le détail par marque, du segment de produits concernés par l'usage de la Marque*
- *L'engagement du demandeur à respecter le règlement d'usage.* »³

Dans le règlement d'usage du logo "Nutri-Score", on y retrouve les conditions d'utilisations, ses limites, ses responsabilités et garanties associées, mais aussi une partie parlant de la loi applicable. Dans les annexes se trouvent des informations sur le cahier de charges, la charte graphique, qui explique l'emplacement du logo sur l'emballage, la liste des droits des pays régulateurs et les conditions particulières pour la Belgique.^{4,5,6}

Si un produit porte un Nutri-Score, tous les autres produits de la même marque doivent également porter un Nutri-Score. Ceci est également expliqué dans l'Arrêté Royal relatif à l'utilisation du logo "Nutri-Score" (AR, 2019). Le Nutri-Score est calculé pour chaque produit séparément.

Calcul du Nutri-Score

Le Nutri-Score est calculé à l'aide d'un tableau Excel. Il est nécessaire d'introduire la composition nutritionnelle du produit dans un tableau spécifique. Celui-ci calcule automatiquement le Nutri-Score du produit et indique la couleur associée à ce Nutri-Score. Les informations nécessaires pour le remplir sont les calories en kilojoules et les acides gras saturés, sucres, protéines et fibres en grammes par 100 g d'aliment. Le sodium est indiqué en milligrammes par 100 g. Les fruits, légumes, légumineuses, fruits à coque, huile de colza, de noix et d'olive sont indiqués en pourcentage par 100 g.^{7,8}

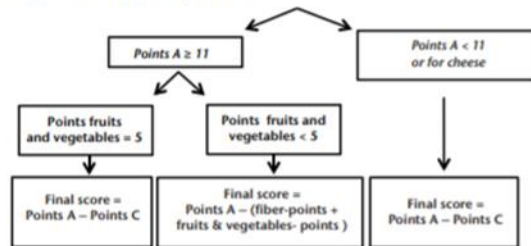
Le Nutri-score se calcule de la manière suivante : l'énergie ainsi que les nutriments et ingrédients à limiter dans le produit final qui sont les acides gras saturés, les sodiums et le sucre reçoivent chacun une note sur 10. Les ingrédients bénéfiques tels que les protéines, les fibres, les légumineuses, les noix, les fruits et légumes reçoivent chacun une note sur 5 (Dereuder, 2019). La somme des points positifs est alors soustraite de la somme des points négatifs pour obtenir un score qui sera lié à un Nutri-Score qui va de A à E (Julia & Hercberg, 2017).

La figure 31 montre la méthode de calcul du Nutri-Score d'un produit alimentaire en fonction de sa composition nutritionnelle ainsi que la couleur associée à chaque Nutri-Score (Julia & Hercberg, 2017).

1. Attribution of points, based on the content of nutrients and other elements per 100 g of a food/beverage

Points	Specific cut-offs: beverages				Specific cut-offs: fats			Specific cut-offs: beverages				
	Energy (kJ)	Sugars (g)	Energy (kJ)	Sugars (g)	Saturated fat (g)	Saturated fat/Lipids (%)	Sodium (mg)	Points	Fruits, veg (%)	Fruits, veg (%)	Fiber (g)	Protein (g)
0	≤ 335	≤ 4.5	≤ 0	0	≤ 1	< 10	< 90	0	≤ 40	≤ 40	≤ 0.7	≤ 1.6
1	> 335	> 4.5	≤ 30	≤ 1.5	> 1	< 16	> 90	1	< 40		> 0.7	> 1.6
2	> 670	> 9	≤ 60	≤ 3	> 2	< 22	> 180	2	> 60	> 40	> 1.4	> 3.2
3	> 1,005	> 13.5	≤ 90	≤ 4.5	> 3	< 28	> 270	3	–		> 2.1	> 4.8
4	> 1,340	> 18	≤ 120	≤ 6	> 4	< 34	> 360	4	–	> 60	> 2.8	> 6.4
5	> 1,675	> 22.5	≤ 150	≤ 7.5	> 5	< 40	> 450	5	> 80		> 3.5	> 8.0
6	> 2,010	> 27	≤ 180	≤ 9	> 6	< 46	> 540	6				
7	> 2,345	> 31	≤ 210	≤ 10.5	> 7	< 52	> 630	7				
8	> 2,680	> 36	≤ 240	≤ 12	> 8	< 58	> 720	8				
9	> 3,015	> 40	≤ 270	≤ 13.5	> 9	< 64	> 810	9				
10	> 3,350	> 45	≤ 270	> 13.5	> 10	≥ 64	> 900	10		> 80		
	0–10 (a)	0–10 (b)	0–10 (a)	0–10 (b)	0–10 (c)	0–10 (c)	0–10 (d)		0–5 (a)	0–10 (a)	0–5 (b)	0–5 (c)
Total	Points A = (a) + (b) + (c) + (d) [0 – 40]							Points C = (a) + (b) + (c) [0 – 15]				

2. Final score: -15 to 40 points



3. Attribution of colors

Foods (points)	Beverages (points)	Color
min to -1	water	green
0 to 2	min to 1	light green
3 to 10	2–5	yellow
11 to 18	6–9	orange
19 to max	10 to max	dark orange



Green: highest quality
Red: lowest quality

Table 1: Score computation and attribution of the categories for the Nutri-Score/5-CNL

For each component (in columns), points are attributed based on their nutritional composition for 100g. In some food categories, a specific attribution grid for points is used. The sum of points for A components (in red) is drawn. Depending on this sum, the total or part of C components are subtracted, yielding the overall score of the food product. The Nutri-Score is attributed based on this overall score, with specific thresholds for foods and beverages.

Figure 31 : Calcul du Nutri-Score (Julia & Hercberg, 2017).

Amélioration du Nutri-Score

Pour améliorer le Nutri-Score, améliorer les points positifs semble logique, mais cela n'est pas aussi simple. Minimum 40 % de fruits et légumes sont nécessaires pour obtenir une bonne note et si la cote négative est trop élevée (minimum 11 points sur 40) la teneur en protéines n'est plus prise en compte dans le calcul (Dereuder, 2019).

Pour les snacks apéritifs réalisés lors de ce travail, augmenter la quantité de protéines et de fibres grâce aux drêches de brasserie n'est pas suffisant. Surtout si les ingrédients et nutriments qui étaient à limiter restent quand même présents en grande quantité. De plus, l'huile de lin riche en oméga-3 n'est pas prise en compte dans le calcul.





D'autres aspects qui ne rentrent pas en compte tels que la taille des portions, la présence d'additifs, la présence de résidus de pesticides, ...¹⁶

L'utilisation de la drêche de brasserie issue d'agriculture biologique ne permettra pas d'améliorer le Nutri-Score du produit final (Julia & Hercberg, 2017).

Annexe 3 : La concurrence

Les tableaux 49, 50 et 51 reprennent les concurrents principaux directs et indirects des snacks extrudés à base de drêche de brasserie.

Tableau 49 : La concurrence directe.







Nom/Marque du produit	Images	Prix	Caractéristiques
Crackers RÉSURRECTION (France)¹⁰⁵		3,95€ pour 100g	<ul style="list-style-type: none"> • 4 goûts différents • Paquet de 100g et 35g • 30% de drêches de brasserie • Agriculture biologique • Vendu en ligne et dans des magasins • Nutri-Score B
BREWSTICKS (France)¹⁰⁶		2,60€ pour 50g	<ul style="list-style-type: none"> • 7 goûts différents • Paquet de 50g ou en vrac • 20 à 25% de drêche de brasserie • Vendu dans des magasins
HAPPY DRECHE (France)¹⁰⁷		4,20€ pour 200g	<ul style="list-style-type: none"> • 2 goûts différents • 40% de drêches de micro-brasserie • 90% de produits locaux • Vendu dans des magasins • Drêche de micro-brasserie (40%), flocons d'avoine, oignons (20%), huile de colza, sirop d'agave, sel, piment d'Espelette (0,4%)
LES RESCAPES (France)¹⁰⁸		3,4€ pour 100g	<ul style="list-style-type: none"> • Salé et sucré → biscuits • Produits bio • Pas d'informations sur la quantité de drêches de brasserie utilisées • Vendu en ligne et dans des supermarchés

¹⁰⁵ https://www.mycommunitybeer-shop.com/index.php?id_product=41&id_product_attribute=0&rewrite=crackers-resurrection-figue-noix&controller=product, consulté le 08/10/2021. Et <https://crackers-resurrection.com/>, consulté le 08/10/2021

¹⁰⁶ <https://brewsticks.fr/> et https://www.mycommunitybeer-shop.com/index.php?id_product=37&id_product_attribute=0&rewrite=brewsticks-coco-de-curry&controller=product, les deux consultés le 08/10/2021

¹⁰⁷ <http://www.happydreche.fr> et https://www.mycommunitybeer-shop.com/index.php?id_manufacturer=8&controller=manufacturer, consultés le 17/10/2021

¹⁰⁸ <https://www.biscuitslesrescapes.com> et <https://www.miimosa.com/fr/projects/les-rescapes-biscuits-artisanaux-a-base-de-dreche-locale>, consulté le 17/10/2021

BEERSCUIT (France)¹⁰⁹		3€ pour 80g	<ul style="list-style-type: none"> • 4 goûts différents • Vendu en ligne et en magasins • 5,9% de drêches
BEER EATS (France)¹¹⁰		3,69€ les 100g	<ul style="list-style-type: none"> • Biscuits apéritifs avec 6 goûts différents • Biologique • Issu d'économie circulaire • 6% de drêches de brasserie
GIPNIX & CO (France)¹¹¹		3,20€ les 100g	<ul style="list-style-type: none"> • Bio • 10 goûts • Vendu en ligne
VAL DIEU (Belgique)¹¹²		/	<ul style="list-style-type: none"> • 3 goûts différents • Nutri-Score B • Economie circulaire • 37% de drêches de brasserie • Sans arômes artificiels et sans colorants et conservateurs
BEER FOOD (Belgique)¹¹³		3,33€ pour 75g	<ul style="list-style-type: none"> • 3 goûts • 3 fois plus de fibres • 80% de protéines en plus • 30% de sucre en moins • 80% de graisses saturées en moins • 33% de lipides en moins • 12% de calories en moins • Sans additif ni conservateur • Pas d'informations sur la quantité de drêches • Vendu en ligne et dans quelques points de vente
MAD LAB (Belgique)¹¹⁴		3,85€ pour 110g	<ul style="list-style-type: none"> • 1 goûts ail parmi leurs différents crackers • Bio • Extrait de romarin comme antioxydant • Pas d'infos sur la teneur en drêches • Vendu dans des petites épiceries en Belgique ou en ligne

¹⁰⁹ <https://beerscuit.fr> et <https://www.lakoop.com/epicerie/794-beerscuit-original.html#>, consulté le 17/10/2021

¹¹⁰ <https://maison-orset.com/content/11-beer-eats-le-biscuit-apero-bio-aux-dreches>, consulté le 17/10/2021

¹¹¹ <https://angersshopping.com/taxons/marchand/gipnix-co>, consulté le 17/10/2021

¹¹² <https://lameuse.sudinfo.be/833849/article/2021-09-16/des-crackers-aperitifs-produits-avec-de-la-dreche-de-biere-du-val-dieu> et <https://www.fevia.be/nl/nieuws/brasserie-val-dieu-maakt-crackers-van-bierdraf>, consulté le 17/10/2021
<https://www.val-dieu.com/product/crackers-paprika-fume/> et <https://www.val-dieu.com/shop/>, consulté le 15/11/2021

¹¹³ <https://fr.beerfood.be/crackers>, consulté le 17/10/2021

¹¹⁴ <https://www.wattitude.be/fr/catalog/b160~mad-lab>, consulté le 17/10/2021

Tschipps (Suisse)¹¹⁵		3,12€ pour 90g	<ul style="list-style-type: none"> • 3 goûts différents • Vendu uniquement en ligne • Uniquement vendu en grande quantités (minimum 6 paquets)
Chips - Brewer's (Etats-Unis)¹¹⁶		6\$ pour 198g	<ul style="list-style-type: none"> • 2 goûts différents • Pas d'informations sur la quantité de drêches de brasserie utilisées • Vendu en ligne
Urban Garden Puffs - REGRAINED (Etas-Unis)¹¹⁷		4\$ pour 85g	<ul style="list-style-type: none"> • 2 goûts différents • Biologique • Pas d'informations sur la quantité de drêches de brasserie utilisées • Vendu en ligne
Crackers - Brewer's (Etats- Unis)¹¹⁸		5\$ pour 113g	<ul style="list-style-type: none"> • 2 goûts différents • Pas d'informations sur la quantité de drêches de brasserie utilisées • Vendu en ligne
Mature Cheddar Beer Crisps - DARLING BREW (Afrique du Sud)¹¹⁹		1,07€ pour 125g	<ul style="list-style-type: none"> • 1 goût • 40% de drêches de brasserie • Vendu en ligne
Organic crisps salt - AGRAIN (Danemark)¹²⁰		3,36€ pour 75g	<ul style="list-style-type: none"> • 3 goûts différents • Biologique et végétarien • Vendu en ligne • Pas d'informations sur la quantité de drêches de brasserie utilisées

¹¹⁵ <http://www.tschipps.ch/fr/> et <https://shop.brauereilocher.ch/de/shop/pizza-tschipps>, consulté le 17/10/2021

¹¹⁶ <https://www.foodbev.com/news/brewers-crackers-launches-pita-chips-made-with-upcycled-grains/> et <https://www.brewersfoods.com/collections/all-products/products/brewers-chips-rosemary>, consulté le 17/10/2021





¹¹⁷ <https://www.rei.com/product/182600/regrained-urban-garden-puffs>, consulté le 17/10/2021

¹¹⁸ <https://www.bostonglobe.com/lifestyle/food-dining/2017/11/06/spent-grains-making-their-way-into-crackers-pretzels-cookies-have-never-tasted-good/wITALXNSjYjKVxAKVCMoyH/story.html> et <https://www.brewersfoods.com/collections/all-products/products/honey-graham-4oz-bag>, consulté le 17/10/2021

¹¹⁹ <https://darlingbrew.co.za/collections/all-products/products/mature-cheddar-beer-crisps>, consulté le 17/10/2021

¹²⁰ <https://www.marvelsfromtheworld.co.uk/products/organic-upcycled-crisps> et <https://en.agrainproducts.com/product/crisps-salt>, consulté le 17/10/2021

Tableau 50 : La concurrence indirecte : les autres produits alimentaires à base de drêche.

Nom/Marque du produit	Images	Prix	Caractéristiques
Ramen(E) Ta Féond En Farine - Ramen Tes Drêches¹²¹		4,90 € pour 500 g	<ul style="list-style-type: none"> • Bio • Nouilles et farines • 100% drêches de brasserie
Nouilles Maxi Pack - Ramen Tes Drêches¹²²		6,50 € pour 320 g	<ul style="list-style-type: none"> • Bio • Pas d'information sur la quantité exacte de drêches de brasserie utilisées
Vaisselle comestible¹²³		5,5 € pour 4 bols	<ul style="list-style-type: none"> • 100% comestible • 38% de drêches de brasserie utilisée
Farine "Ambrée" BIO De Drêche - Maltivor¹²⁴		3,8 € pour 400 g	<ul style="list-style-type: none"> • Biologique ou non • 3 goûts différents et mix pour pancakes, muffins, gaufres et cookies

¹²¹ <https://ramentesdreches.com/nos-produits-pirates/> et <https://ramentesdreches.com/product/blondie-farine-integrale-de-dreches/>, consulté le 18/10/2021

¹²² <https://ramentesdreches.com/nos-produits-pirates/> et <https://ramentesdreches.com/product/sachet-familial/>, consulté le 18/10/2021

¹²³ <http://www.somalte.com/#produits>, consulté le 18/10/2021

¹²⁴ <https://maltivor.com/e-shop/> et https://www.mycommunitybeer-shop.com/index.php?id_product=59&id_product_attribute=0&rewrite=farine-ambree-de-dreche-maltivor&controller=product, consulté le 18/10/2021

Tableau 51 : La concurrence indirecte : les autres snacks apéritifs sains (Nutri-Scores A & B).

Nom/Marque du produit	Images	Prix	Atouts et défauts
Mini Croque-Monsieur Jambon Emmenthal - Carrefour ¹²⁵		3,99 € pour 240 g	Nutri-Score B Pour 100 g : 7,1 g de lipides 20 g de glucides 2,9 g de fibres
Classic' Pistaches grillées salées - Carrefour ¹²⁶		2,19 € pour 125 g	Nutri-Score B Pour 100 g : 49 g de lipides 13 g de glucides 9,1 g de fibres
Miniloempia poulet - Boni ¹²⁷		2,79 € pour 170 g	Nutri-Score B Pour 100 g : 7,4 g de lipides 20 g de glucides 2,6 g de fibres
Tortilla Chips Nature - Boni ¹²⁸		0,59 € pour 200 g	Nutri-Score B Pour 100 g : 20 g de lipides 64 g de glucides 4 g de fibres
Crackers - Le pain des fleurs ¹²⁹		4,49 € pour 250 g	Nutri-Score A Pour 100 g : 3,5 g de lipides 76 g de glucides 3,1 g de fibres Bio et végane

¹²⁵ <https://drive.carrefour.be/fr/Snacks-%26-ap%C3%A9ro/Ap%C3%A9ro/Carrefour-20-Mini-Croque-Monsieur-Jambon-Emmenthal-240-g/p/06542094>, consulté le 18/10/2021

¹²⁶ <https://drive.carrefour.be/fr/Acheter-par-int%C3%A9r%C3%AAt/Notre-marque-propre/Carrefour-Classic%27-Pistaches-Grill%C3%A9es-Sal%C3%A9es-125-g/p/05590883>, consulté le 18/10/2021

¹²⁷ https://www.collectandgo.be/colruyt/fr/recherche?searchTerm=ap%C3%A9ritif#pdp_3074457345616713891 et <https://fic.colruytgroup.com/productinfo/fr/cogo/3456743>, consulté le 18/10/2021

¹²⁸ https://www.collectandgo.be/colruyt/fr/recherche?searchTerm=ap%C3%A9ritif#pdp_3074457345616680853 et <https://fic.colruytgroup.com/productinfo/fr/cogo/19809>, consulté le 18/10/2021

¹²⁹ https://www.collectandgo.be/colruyt/fr/recherche?searchTerm=ap%C3%A9ritif#pdp_3074457345616736283 et <https://fic.colruytgroup.com/productinfo/fr/cogo/4095796>, consulté le 18/10/2021


Rice&Corn Chips Paprika - BOSTO¹³⁰		1,69 € pour 50 g	Nutri-Score B Pour 100 g : 7,9 g de lipides 76 g de glucides 4,5 g de fibres
--	---	------------------	--

Tableau 52 : La concurrence indirecte : les autres snacks apéritifs.

Nom/Marque du produit	Images	Prix	Atouts et défauts
Grills- Lay's¹³¹		1,25€ pour 125g	Pas de Nutri-Score Pour 100 g : 24 g de graisses 62 g de glucides 2,1 g de fibres
Oven Baked Paprika Chips - Lay's¹³²		1,54 € pour 150 g	Pas de Nutri-Score Pour 100 g : 13 g de graisses 71 g de glucides 4,6 g de fibres
Mini Loempia's vegetarisch - Mora¹³³		7,45 € pour 18x20 g de loempias et 2x25 g de sauce	Pas de Nutri-Score Pour 100 g : 8 g de graisses 29 g de glucides Pas d'informations sur les fibres
Apéro Time Salami - Carrefour¹³⁴		2 € pour 150 g	Nutri-Score E Pour 100 g : 32 g de graisses




¹³⁰https://www.collectandgo.be/colruyt/fr/recherche?searchTerm=ap%C3%A9ritif#pdp_3074457345616736283 et <https://fic.colruytgroup.com/productinfo/fr/cogo/4095796>, consulté le 18/10/2021

¹³¹ <https://drive.carrefour.be/nl/Chips-%26-aperitif/Chips/Specialiteiten/Lay%27s-Grills-Chips-125-gr/p/05659697>, consulté le 17/10/2021

¹³² <https://drive.carrefour.be/nl/Chips-%26-aperitif/Chips/Paprika/Lay%27s-Oven-Baked-Paprika-Chips-150-gr/p/04704451>, consulté le 17/10/2021

¹³³ <https://drive.carrefour.be/nl/Winkelen-volgens-voorkeur/Belgium/Mora-Ap%C3%A9ro-Mini-Loempia%27s-Vegetarisch-18-x-20-g-met-Saus-2-x-25-g/p/01301533>, consulté le 17/10/2021

¹³⁴ <https://drive.carrefour.be/nl/Charcuterie/Worstjes-%26-aperio/Blokjes-%26-sneetjes/Carrefour-Aperio-Time-Salami-150-g/p/05121013>, consulté le 17/10/2021

			1,7 g de glucides <0,5 g de fibres
Snack Apéritif Chili Crackers- Carrefour¹³⁵		1,49 € pour 150 g	Nutri-Score E Pour 100 g : 32 g de lipides 58 g de glucides 1,3 g de fibres
Classic' Sticks & Pretzels - Carrefour¹³⁶		1,39 € pour 300 g	Nutri-Score C Pour 100 g : 3 g de lipides 76 g de glucides 3,8 g de fibres
Apéro Balls Goût Barbecue et Chili - Carrefour¹³⁷		1,89 € pour 200 g	Nutri-Score D Pour 100 g : 22 g de lipides 66 g de glucides 2,3 g de fibres

¹³⁵ <https://drive.carrefour.be/nl/Winkelen-volgens-voorkeur/Ons-huismerk/Carrefour-Aperitiefhapje-Chili-Crackers-150-g/p/05259727>, consulté le 17/10/2021

¹³⁶ <https://drive.carrefour.be/nl/Winkelen-volgens-voorkeur/Ons-huismerk/Carrefour-Classic%27-Sticks-%26-Pretzels-300-g/p/05308979>, consulté le 17/10/2021

¹³⁷ <https://drive.carrefour.be/fr/Campaign/Fin-d%27ann%C3%A9e/Ap%C3%A9ro/Snacking-sal%C3%A9/Carrefour-Sensation-Apero-Balls-Go%C3%BBT-Barbecue-%26-Chili-200-g/p/06426417>, consulté le 17/10/2021

Annexe 4 : L'étude qualitative

1. Quel est votre problème/besoin numéro 1 en termes de snacking apéritif ?

Trouver des snacks sains, pas trop cher et qui goûtent à tout le monde.

Trouver des nouveautés pour les tester durant des soirées entre amis. La consommation de snacks apéritifs doit être un moment de partage.

Une personne a indiqué qu'elle cherchait des snacks qui ne contiennent pas ou qui ne sont pas à base de viande.

Trois personnes disent qu'ils cherchent quelque chose qui permet de couper la faim avant le repas.

Six personnes disent qu'un snack doit apporter du plaisir mais aussi être sain afin de ne pas prendre du poids.

2. A quelles occasions achetez-vous des snacks apéritifs ?

Huit personnes indiquent en acheter s'ils ont des invités ou s'ils sont invités chez des amis. Trois personnes aiment surtout que les snacks se marient bien avec la boisson servie lors de l'apéritif. Une personne en achète uniquement aux occasions pour ne pas en avoir chez elle et ne pas être tentée d'en grignoter entre les repas.

Une autre personne en achète pour les manger seul ou avec son partenaire en soirée.

Un participant en achète surtout quand la faim arrive durant les courses.

Une personne en achète pour déguster au moment où elle rentre du travail car elle aime bien manger quelque chose de réconfortant.

3. Si vous cherchiez à acheter un snack apéritif demain, où l'achèteriez-vous ?

Toutes les personnes les achètent au supermarché et une personne en achète également parfois dans un magasin bio.

4. Pourriez-vous m'expliquer en détail les démarches que vous faites lors de l'achat d'un snack apéritif ?

Ils réfléchissent à ce que les autres personnes pourraient aimer et si ça se marie bien avec la boisson servie (comme du fromage avec de la bière ou du vin) ou aux combinaisons qui vont bien ensemble (dips avec légumes ou chips avec fromage frais).

Ils réfléchissent également à la quantité à acheter en fonction du nombre d'invités pour ne pas en avoir ni trop, ni trop peu afin d'éviter le gaspillage.

Trois personnes indiquent regarder l'étiquette (ingrédient, teneur en nutriments, pas trop gras ni trop sucré ou trop salé, riche en fibres ou protéines) et si elles hésitent entre 2 produits, elles choisiront le meilleur Nutri-Score possible. Ce choix est fait principalement pour faire attention à leur poids. Une autre personne indique également regarder que le produit soit bon pour sa santé, sans préciser ce que ça inclut.

L'importance du goût a été citée par cinq personnes. Certains préfèrent un goût connu (pour être certain qu'ils vont l'aimer) et d'autres préfèrent goûter des nouveautés.

5. Citez-moi 3 caractéristiques auxquelles vous prêtez attention lorsque vous achetez des snacks apéritifs ?

Les caractéristiques citées sont (entre parenthèse est repris le nombre de fois que la caractéristique a été citée) :

- Le goût (8)
- Le prix (8)
- Original pour changer, nouveauté (3)
- Bonne composition nutritionnelle/fiable en calories (3)
- Approprié à l'évènement et à la boisson (2)
- Croustillant (2)
- Emballage (doit être rempli pour ne pas acheter de l'air, pratique à transporter, attrayant, pas de sous marque) (2)
- On doit facilement pouvoir le présenter (1)
- Doit être base de fromage ou autre produit laitier (1)
- Salé (1)
- A base de noisettes ou autre fruit à coque (1)

6. Quel est l'élément qui vous frustre le plus lorsque vous êtes à la recherche d'un snack apéritif ?

La plupart a répondu l'excédent de choix. Il existe une centaine de sortes de chips, parfois avec des goûts originaux où l'on n'est pas certain qu'ils soient bons. Cependant, une personne indique que le manque de choix est ce qui la frustre (bretzel, Tuc ou chips mais peu de variété). Le fait de savoir que ce n'est pas bon pour la santé, trop calorique et souvent très salé est revenu à plusieurs reprises.

Une personne indique être frustrée par le fait de ne pas penser à en acheter et donc ne pas en avoir quand une envie soudaine d'en manger survient.

7. Pourriez-vous imaginer votre snack apéritif idéal ?

- Au fromage éventuellement avec du sel de céleri.
- Un snack qui combine différents goûts : crackers et des trempettes, chips avec du guacamole et des oignons → combiner un produit industriel avec un ingrédient qui apporte de la fraîcheur.
- Des petits salamis ou autre snack à base de viande.
- Un snack peu salé, pas trop calorique, bon goût, léger pour avoir encore faim après l'apéro.
- Croustillant, bon goût, sain et aspect environnemental ou sociétal positif.
- Léger, épicé mais pas de trop et pas trop calorique. Pouvoir le tremper dans une sauce ou retrouver des snacks à base de légumes.

- Un emballage refermable, hermétique pour que ça ne devienne pas mou et que ça reste croustillant. Le snack devrait être salé mais pas trop et le participant précise qu'il aime les goûts de type pois chiche ou légumineuse.

Que pensez-vous de chips soufflées type chipitos ?

- **Positif** : texture croustillante, bon goût, fond dans la bouche, l'impression d'être plus léger, moins calorique, on peut en manger plus en quantité.
- **Négatif** : parfois trop salé ce qui assèche la bouche, goût trop industriel, déjà connu ou mauvais goût, que de l'air, ça laisse trop de résidu sur les doigts, trop gras, pas beaucoup de choix de goûts (paprika, ...).

8. Que pensez-vous de crackers salés ?

- **Positif** : Bon goût, beaucoup de formes et tailles, tout le monde en mange, polyvalent, existe depuis longtemps donc fait penser à l'enfance, croustille, va bien avec des dips et du fromage frais, on peut les garnir avec des tapenades, peut remplacer le pain.
- **Négatif** : les doigts sont gras par après, pas bon si texture trop sableuse, souvent trop salé ce qui rend les crackers écœurants et cache les autres goûts, trop sec.

Une personne dit de ne pas en manger assez souvent pour donner son opinion.

9. Connaissez-vous la drêche de brasserie ? Si oui, qu'en pensez-vous. Si non, une explication leur a été donnée. C'est un sous-produit de la fabrication de la bière, elles sont riches en protéines et fibres et on peut les utiliser dans des préparations comme des crackers.

Une seule personne parmi les 10 interrogées connaît les drêches de brasserie. Cette personne les connaît grâce à sa formation (dans le domaine brassicole) et trouve que c'est une bonne idée de les réutiliser mais elle ne savait pas que les drêches sont riches en protéine et fibre.

10. Si je cherchais à attirer votre attention avec de la publicité pour vous inciter à acheter un snack apéritif :

a. Quel serait le meilleur moyen à adopter (le message qu'on doit transmettre, où veulent-ils voir la pub, ...)

Montrer le côté convivial du snack, dire que le produit à un bon goût, expliquer que c'est un produit issu de brasseries locales, d'un circuit court, que c'est mieux pour la santé et indiqué que c'est végétarien (si ça l'est). Expliquer clairement que c'est un sous-produit de l'industrie brassicole. Montrer le processus de fabrication et expliquer de quoi sont constitués les

crackers, être le plus transparent possible, expliquer que c'est riche en protéine et en fibres pour les personnes qui font du fitness par exemple, expliquer que ce sont des snacks qui apportent des nutriments intéressants. Ces éléments peuvent être un bon argument marketing. En donner gratuitement à des personnes très intéressées par le produit qui peuvent par la suite en parler autour d'elles.

Expliquer que c'est meilleur pour la santé que les autres crackers, bien expliquer le concept en image peut-être mettre une photo de la drêche pour que les clients potentiels voient ce que c'est (pour ne pas avoir « peur » d'un produit qu'ils ne connaissent pas).

Expliquer le côté positif environnemental et l'aspect santé, et dire pourquoi un snack aux drêches se distinguerait des autres chips industrielles.

Le choix d'emballage proposé par une personne interrogée est une boîte colorée ou un emballage qui s'ouvre et qui pourrait être utilisé comme bol.

b. A quoi devront-on faire attention ?

- Bien expliquer que c'est sans alcool sinon certaines personnes ne les acheteront pas (enfant, ...).
- Ne pas vendre les snacks dans un sachet de chips classique mais plutôt dans un sachet de pain ou un carton.
- Il faudrait apporter un goût qui se marie bien avec la bière.
- Si on fait de la pub, celle-ci doit être honnête pour ne pas décevoir le consommateur.
- Eviter de faire du greenwashing.
- Ne pas faire penser au gens que c'est excellent pour la santé (pour ne pas les inciter à en consommer trop) car ça reste des crackers salés, mais expliquer que c'est mieux que d'autres produits du même type.
- Veiller à avoir un bon goût et éviter que les snacks aient un goût trop prononcé d'amertume.
- Ne pas avoir de suremballage.
- Avoir une couleur attractive de l'emballage ou une couleur « nature ».
- Trouver un nom attractif et une forme originale de snack.
- Être transparent sur la composition et la méthode de fabrication.

Il serait peut-être intéressant de les vendre dans des magasins bio (clientèle haut de gamme qui fait attention à sa santé) puis dans les supermarchés sinon les clients préféreront souvent aller vers les produits les moins chers.

c. Quel type d'offre attendez-vous ?

- En trouver dans des buvettes de football
- Recevoir un paquet gratuit si on achète un pack de bière
- Les donner au café si on commande une bière.
- Faire goûter le snack dans les supermarchés.
- Mettre un coupon dans des magazines pour pouvoir tester un paquet gratuit.

- Pouvoir essayer une petite quantité pour goûter, comme une dégustation car certaines personnes pourraient avoir une appréhension sur le goût, qui serait trop similaire à la bière ou trop amère.
- Une offre avec plusieurs goûts.
- Ne pas proposer des emballages trop volumineux.

11. Connaissez-vous d'autres personnes qui pourraient être intéressées par notre offre ?

Les brasseurs, les personnes qui font du fitness ou de la musculation ou les personnes qui font attention à leur santé (en sachant que c'est meilleur que d'autres produits similaires).

Des personnes intéressées à préserver leur santé ou des sportifs.

Une personne pense que tout son entourage pourrait être intéressé.

Les autres participants ont proposé des noms avec la possibilité de pouvoir les interroger à leur tour.

12. Quelle est la question que vous pensiez que j'allais vous poser que mais que je n'ai pas dite ?

Une question sur le prix, sur le fait s'ils seront intéressés d'en acheter ou d'en goûter, s'ils pensent que le goût est bon. Question sur le goût des drêches, si elle pense que ça goûte la bière ou autre et sur la quantité idéale d'un paquet.

Annexe 5 : Les questionnaires pour l'étude quantitative

Questionnaire version française

Bonjour,

Nous sommes trois étudiantes suivant le master en management de l'innovation et de la conception des aliments à l'ULiège, l'UNamur et la Haute Ecole de Charlemagne. Pour notre travail de fin d'étude qui porte sur la création d'un snack apéritif, nous aimerions en apprendre plus sur les habitudes alimentaires et les attentes de la population Belge dans le domaine du snacking.

Ce questionnaire a une durée de maximum 5 minutes (questions fermées type QCM) et vos réponses resteront anonymes.

En répondant à ce questionnaire vous déclarez avoir entre 18 ans et 65 ans et vivre en Belgique. Vous acceptez également que les données soient utilisées dans le cadre de notre recherche.

Nous vous remercions pour votre participation !

En cas de questions n'hésitez pas de nous contacter sous une des adresses mail suivantes :

lisa.dhondt@student.uliege.be

marie.beka@student.uliege.be

maurine.mabillard@student.uliege.be

Marie, Maurine et Lisa

A. Questions sociodémographiques

1. Vous êtes :

- Homme
- Femme
- Autre

2. Quel âge avez-vous ?

- < 18 ans--> remercier
- 18-24 ans
- 25-39 ans
- 40-65 ans
- 66+ ans --> remercier

3. Dans quelle communauté habitez-vous ?

- Communauté flamande
- Communauté française
- Communauté germanophone

4. Quel est votre situation familiale ?

- Je vis seul
- Je vis en couple
- Je vis en couple avec un (ou des) enfant(s) à charge
- Je vis seul avec un (ou des) enfant(s) à charge
- Je vis chez mes parents
- Je vis en cohabitation

5. Quel est le diplôme le plus élevé que vous avez obtenu ?

- Primaire
- Secondaire
- Bachelier
- Master
- Doctorat

B. Habitudes de consommation : Cette partie concerne vos habitudes de snacking et de consommation.

6. A quelle fréquence consommez-vous des snacks apéritifs (crackers, chips, ...) ?

- Tous les jours
- Plusieurs fois par semaine (2 à 6 fois)
- 1 fois par semaine
- 1-2 fois par mois
- Moins d'une fois par mois
- Jamais (Passez à la question 22)

7. Accompagnez-vous ces snacks d'une boisson alcoolisée de type bière ?

- Oui, toujours
- Oui, parfois
- Non, jamais

8. Quels types de snacks apéritifs consommez-vous ? (Plusieurs réponses possibles)

- Chips de pomme de terre
- Chips extrudés type Grills, Chipito, chips aux lentilles, ...
- Cacahuètes, pistaches, ...
- Bretzel
- Gressins
- Fromage
- Saucisson
- Biscuits salés comme les crackers
- Toasts garnis

- Bouchées apéritives réchauffées au four
- Autres. Précisez :

9. Quels goûts préférez-vous pour des chips/crackers ? (Plusieurs réponses possibles)

- Nature
- Sel
- Paprika
- Herbes de Provence
- Fromage
- Poivre et sel
- Barbecue
- Ail
- Oignon
- Piquant
- Goût de pizza
- Autres. Précisez :
- Je n'apprécie pas ou je ne mange pas de chips et de crackers de manière générale

10. Faites-vous vos courses vous-mêmes ?

- Toujours
- Parfois
- Jamais. Passez à la question 14

11. Quel type de packaging achetez-vous préférentiellement pour ce type de produits (chips/crackers) ? (Plusieurs réponses possibles)

- Paquet familial XXL (> 150 g)
- Paquet de 100-150 g (grand sachet de chips)
- Portion individuelle (petit sachet de chips)
- Je ne sais pas

12. Où les achetez-vous ? (Plusieurs réponses possibles)

- Supermarché
- Magasin bio
- Internet
- Distributeur
- Autres. Précisez :

13. A quelles caractéristiques faites-vous attention dans l'achat des produits type snack salé/apéritif ? (Plusieurs réponses possibles)

- Texture/croustillant

- Saveur
- Bon pour la santé/bonne composition nutritionnelle
- Pauvre en calories
- Origine biologique
- Nutri-Score
- Autres. Précisez :

C. La revalorisation d'un sous-produit de l'industrie brassicole

14. Avez-vous déjà acheté ou consommé des produits qui revalorisent des sous-produits de l'industrie alimentaire (ex : pulpe de betterave, marc de pomme, ...) ?

- Oui
- Non
- Je ne sais pas

16. Connaissez-vous la drêche de bière ?

- Oui
- Non

Les drêches de brasserie sont un sous-produit de la fabrication de la bière et sont riches en protéines et fibres. Elles sont généralement utilisées pour l'alimentation animale mais grâce à leurs bonnes propriétés nutritionnelles, elles sont de plus en plus utilisées dans l'alimentation humaine.

Avez-vous lu le texte

- Oui
- Non → Supprimer les données

17. Maintenant que vous connaissez les bienfaits des drêches de bière, apprécieriez-vous consommer un snack apéritif (chips, crackers) qui revalorisent les drêches ?

- Oui
- Non → 21

18. Avez-vous des aprioris par rapport à la consommation d'un snack salé qui contiendrait des drêches de bière ? (Plusieurs réponses possibles)

- Mauvais goût
- Goût amer de bière
- Texture non agréable (ex : trop sèche, trop dure, trop pâteuse, ...)
- Peur de manger un "déchet"
- Aucun apriori
- Autres. Précisez :

19. Quel est le prix en dessous duquel les snacks salés aux drêches de bière (pour 100 g) vous sembleraient avoir une qualité médiocre ?

- < 1 €
- < 2 €
- < 3 €
- < 4 €

20. Quel est le prix maximum (pour 100 g) que vous voudriez donner pour les snacks salés aux drêches de bière ?

- < 1 €
- 1 €
- 2 €
- 3 €
- 4 €
- > 4 €

21. Pourquoi n'êtes-vous pas intéressé par un snack apéritif (chips, crackers) qui revalorisent les drêches de brasserie ?

- Mauvais goût
- Goût amer de bière
- Texture non agréable (ex : trop sèche, trop dure, trop pâteuse, ...)
- Peur de manger un "déchet"
- Pas assez savoureux
- Je ne veux pas faire attention à ma santé quand je consomme un snack salé
- Je n'aime ou je ne mange pas de crackers/chips de manière générale
- Autres. Précisez :

22. Pourquoi ne consommez-vous jamais de snacks apéritifs ? (Plusieurs réponses possibles)

- Je n'aime pas le goût
- Je n'aime pas la texture
- Je trouve qu'ils sont trop gras, trop salés, mauvais pour la santé, ...
- Je trouve qu'ils sont trop caloriques
- Je ne mange jamais entre les repas
- Autres. Précisez :

Merci pour votre participation. Marie, Maurine et Lisa

Vous pouvez envoyer votre questionnaire en cliquant sur « envoyer ».

lisa.dhondt@student.uliege.be

marie.beka@student.uliege.be

maurine.mabillard@student.uliege.be

Questionnaire version néerlandaise

Dag allemaal,

Wij zijn drie studenten die aan de ULiège, UNamur en de Haute Ecole de Charlemagne studeren voor de master in innovatiemanagement en voedingsontwerp (“management de l’innovation et de la conception des aliments”). Voor ons eindwerk, dat gaat over het ontwerpen van een aperitiefsnack en aperitiefhapje, willen we meer te weten komen over de eetgewoontes en de verwachtingen van de Belgische bevolking.

Deze vragenlijst duurt maximaal 5 minuten en bevat alleen gesloten vragen. Al uw antwoorden blijven anoniem.

Door deze vragenlijst te beantwoorden, verklaart u tussen 18 en 65 jaar oud te zijn en woonachtig te zijn in België. U stemt er ook mee in, dat de gegevens worden gebruikt voor ons onderzoek.

Bedankt voor uw deelname!

Indien u vragen heeft, aarzel dan niet om contact met ons op te nemen op een van de volgende e-mailadressen:

lisa.dhondt@student.uliege.be

marie.beka@student.uliege.be

maurine.mabillard@student.uliege.be

Algemene vragen

1. U bent:

- Man
- Vrouw
- Andere

2. Hoe oud bent u?

- <18 --> tot ziens
- 18-24
- 25-39
- 40-65
- 66+ --> tot ziens

3. In welke gemeenschap woont u?

- Vlaamse gemeenschap
- Franse gemeenschap
- Duitstalige gemeenschap

4. Wat is uw gezinssituatie?

- Ik woon alleen
- Ik woon samen met mijn partner
- Ik woon alleen met één of meerdere kinderen tot lasten
- Ik woon samen met mijn partner met één of meerdere kinderen tot lasten
- Ik woon bij mijn ouders
- Cohousing

5. Wat is u hoogst behaalde opleiding?

- Lager onderwijs
- Secundair onderwijs
- Bachelor
- Master
- PhD

Eetgewoontes: In dit onderdeel worden vragen gesteld over uw eetgewoontes.

6. Hoe vaak eet u aperitiefhapjes?

- Iedere dag
- Meerdere dagen per week (2 tot 6 keer)
- 1 keer per week
- 1-2 keer per maand
- Minder dan een keer per maand
- Nooit (ga naar vraag 21)

7. Drinkt u alcoholische dranken (zoals bv. bier) als u aperitiefhapjes eet?

- Ja, altijd
- Ja, soms
- Neen, nooit

8. Wat voor hapjes eet u, als u aperitiefhapjes eet? (Meerder antwoorden zijn mogelijk)

- Aardappelchips
- Geëxtrudeerde chips zoals Grills, Mama Mia's, ...
- Pindanoten of borrelnootjes
- Zoutstangen
- Soepstengels b.v. Grissini
- Kaas
- Salami of worst
- Hartige (of zoute) koekjes b.v. Tuc
- Toastjes

- Aperitiefhapjes die in de oven verwarmd worden
- Andere. Gelieve te verduidelijken:

9. Welke smaken hebt u het liefst voor chips of hartige koekjes? (Meerder antwoorden zijn mogelijk)

- Natuur
- Zout
- Paprika
- Provençaalse kruiden
- Kaas
- Peper en zout
- Barbecue
- Knoflook
- Ajuin
- Pikant
- Pizza-smaak
- Andere. Gelieve te verduidelijken:
- Ik eet niet of hou niet van chips en hartige koekjes in het algemeen.

10. Doet u uw eigen boodschappen?

- Altijd
- Soms
- Nooit. Ga naar vraag 14

11. Wat voor een maat verpakking koopt u het liefst voor aperitiefhapjes zoals bijvoorbeeld chips of hartige koekjes? (Meerdere antwoorden mogelijk)

- XXL-gezinspakking
- 100-150 g verpakking (gewicht van een grote zak chips)
- Enkele portie (een kleine zak chips)
- Ik weet het niet

12. Waar koopt u aperitiefhapjes? (Meerdere antwoorden mogelijk)

- Supermarkt
- Biologische winkel
- Internet
- Snackautomaten
- Andere. Gelieve te verduidelijken:

13. Op welke eigenschappen let u als u aperitiefhapjes koopt? (Meerdere antwoorden mogelijk)

- Knapperig of krokant

- Goede smaak
- Goed voor u gezondheid/ goede voedingswaarden
- Laag in calorieën
- Van biologische afkomst
- Nutri-Score
- Andere. Gelieve te verduidelijken:

Bierbostel - een bijproduct dat afkomstig is van de brouwerij

14. Hebt u ooit producten gekocht of gegeten die bijproducten van de voedingsindustrie recycleren (b.v. bietenpulp, appelpulp, enz.)?

- Ja
- Neen
- Ik weet het niet

15. Kent u bierbostel of draf?

- Ja
- Neen

Bierbostel of draf is een bijproduct van de bierproductie en is rijk aan eiwitten en vezels. Het wordt gewoonlijk gebruikt als veevoer, maar dankzij zijn goede voedingseigenschappen wordt het ook steeds meer gebruikt in de menselijke voeding.

Hebt u de tekst gelezen?

- Ja
- Neen → verwijder de informatie

16. Nu dat u weet wat bierbostel is een waarom het goed is, zou u appreciëren om een aperitiefhapje te eten (zoals chips of hartige koekjes), dat bierbostel gebruikt?

- Ja
- Neen → vraag 20

17. Heeft u enige vooroordelen over het gebruik van bierbostel in menselijke voeding? (Meerdere antwoorden mogelijk)

- Slechte smaak
- Bittere smaak (zoals bij bier)
- Onaangename, droge textuur
- Angst om en afvalproduct te eten
- Ik heb geen vooroordelen
- Andere. Verduidelijk:

18. Onder welke prijs (per 100 g) is dit soort product volgens u van slechte kwaliteit?

- < 1 €
- < 2 €
- < 3 €
- < 4 €

19. Wat is de maximumprijs (per 100 g) die u voor dit soort product zou geven?

- < 1 €
- 1 €
- 2 €
- 3 €
- 4 €
- > 4 €

Reden dat u niet geïnteresseerd bent

20. Waarom bent u niet geïnteresseerd in aperitiefhapjes (chips, hartige koekjes) die bierbostel of draf gebruiken? (Meerdere antwoorden zijn mogelijk)

- Slechte smaak
- Bittere smaak (zoals bij bier)
- Onaangename, droge textuur
- Angst om en afvalproduct te eten
- Niet lekker of aantrekkelijk genoeg
- Ik wil niet op mijn gezondheid letten, als ik aperitiefhapjes eet
- Ik lust geen hartige koekjes of chips
- Andere. Verduidelijk:

Reden dat u geen aperitiefhapjes eet

21. Waarom eet u nooit aperitiefhapjes? (Meerdere antwoorden zijn mogelijk)

- Ik hou niet van de smaak
- Ik hou niet van de textuur
- Ik vind dat ze te zoutig, te vetzig, te ongezond zijn
- Ik eet niet buiten de hoofdmaaltijden
- Ik vind dat ze te veel calorieën hebben
- Andere. Gelieve te verduidelijken:

U mag uw vragenlijst nu versturen door op "verzenden" te duwen.

Als u met vragen zit aarzel dan niet een van ons te contacteren.

lisa.dhondt@student.uliege.be

marie.beka@student.uliege.be

maurine.mabillard@student.uliege.be

Marie, Maurine en Lisa

Questionnaire version allemande

Guten Tag,

Wir sind drei Studentinnen, die an der ULiège, der UNamur und der Haute Ecole de Charlemagne den Masterstudiengang in Innovationsmanagement und Lebensmitteldesign absolvieren ("management de l'innovation et de la conception des aliments"). Für unsere Abschlussarbeit, die sich mit der Entwicklung eines Aperitif-Snacks befasst, möchten wir mehr über die Ernährungsgewohnheiten und Erwartungen der belgischen Bevölkerung im Bereich des "Snackings" erfahren.

Dieser Fragebogen hat eine Dauer von maximal 5 Minuten und besteht lediglich aus Multiple Choice Fragen. Ihre Antworten werden anonym behandelt.

Mit der Beantwortung dieses Fragebogens erklären Sie, dass Sie zwischen 18 und 65 Jahre alt sind und in Belgien leben. Sie erklären sich außerdem damit einverstanden, dass die Daten im Rahmen unserer Forschung verwendet werden.

Wir danken Ihnen für Ihre Teilnahme!

Bei Fragen zögern Sie nicht, uns unter einer der folgenden E-Mail-Adressen zu kontaktieren:

lisa.dhondt@student.uliege.be

marie.beka@student.uliege.be

maurine.mabillard@student.uliege.be

Allgemeine Fragen

1. Sie sind:

- Männlich
- Weiblich
- Andere

2. Wie alt sind Sie?

- < 18 --> auf Wiedersehen
- 18-24
- 25-39
- 40-65
- 66+ --> auf Wiedersehen

3. In welcher Gemeinschaft leben Sie?

- Flämische Gemeinschaft
- Französische Gemeinschaft
- Deutschsprachige Gemeinschaft

4. Was ist Ihr Familienstand?

- Ich wohne allein
- Ich wohne mit meinem Partner zusammen
- Ich wohne allein und habe ein oder mehrere unterhaltsberechtignte Kinder
- Ich wohne mit meinem Partner und habe ein oder mehrere unterhaltsberechtignte Kinder
- Ich wohne bei meinen Eltern
- Ich wohne in einer Wohngemeinschaft

5. Was ist Ihr höchster Bildungsabschluss?

- Primarschule
- Sekundarschule
- Bachelor
- Master
- Dokortitel

Snacking-Gewohnheiten: In diesem Teil werden Fragen zu Ihren Essgewohnheiten gestellt.

6. Wie oft essen Sie Aperitifhäppchen (Chips, Cracker, ...)?

- Jeden Tag
- Mehrmals die Woche (2 bis 6 Mal)
- 1 Mal pro Woche
- 1-2 Mal im Monat
- Weniger als ein Mal pro Monat
- Nie (Gehen Sie zu Frage 21)

7. Trinken Sie alkoholhaltige Getränke (wie z.B. Bier), wenn Sie Aperitifhäppchen essen?

- Ja, immer
- Ja, manchmal
- Nein, nie

8. Welche Sorten an Aperitifhäppchen essen Sie? (Mehrere Antwortmöglichkeiten)

- Kartoffelchips
- Extrudierte Chips wie Grill-chips, Erdnussflips ...

- Erdnüsse oder andere Nüsschen, ...
- Brezeln oder Salzstangen
- Grissini
- Käse
- Salamiwürstchen
- Herzhafte Plätzchen wie Cracker oder Tuc
- Toast mit Aufstrich
- Im Ofen aufgewärmte Aperitifhäppchen
- Andere. Präzisiere:

9. Welche Geschmacksrichtungen bevorzugen Sie bei Chips und herzhafte Plätzchen?
(Mehrere Antworten möglich)

- Natur
- Salz
- Paprika
- Kräuter der Provence
- Käse
- Pfeffer und Salz
- Barbecue
- Knoblauch
- Zwiebel
- Scharf
- Pizzageschmack
- Andere. Präzisiere:
- Ich mag keine oder esse generell keine Chips und/oder herzhafte Plätzchen

Essgewohnheiten

10. Gehen Sie selbst einkaufen?

- Ja, immer
- Ja, manchmal
- Nein, nie. Gehen Sie zu Frage 14

11. Welche Größe von Verpackung kaufen Sie bevorzugt für Snacks (z. B. Chips und herzhafte Plätzchen)? (Mehrere Antworten sind möglich)

- XXL- Familienpackung
- 100 – 150g Packung (entspricht einer großen Tüte Chips)
- Einzelne Portion (entspricht einer kleinen Tüte Chips)
- Ich weiß es nicht

12. Wo kaufen Sie Ihre Snacks? (Mehrere Antworten sind möglich)

- Supermarkt
- Bio-Laden
- Internet
- Snack-Automaten
- Andere. Präzisieren:

13. Auf welche Eigenschaften achten Sie beim Kauf von Aperitifhappchen? (Mehrere Antworten sind möglich)

- Knusprig
- Guter Geschmack
- Gut für die Gesundheit/ gute Nährwerte
- Kalorienarm
- Aus biologischem Anbau
- Nutri-Score
- Andere. Präzisieren:

Biertreber – ein Nebenprodukt aus der Brauerei

14. Haben Sie schon einmal Produkte gekauft oder gegessen, die Nebenprodukte der Lebensmittelindustrie aufwerten (z. B. Rübenpulp, Apfelpulp, ...)?

- Ja
- Nein
- Ich weiß es nicht

15. Kennen Sie Biertreber?

- Ja
- Nein

Biertreber ist ein Nebenprodukt der Bierherstellung und reich an Proteinen und Ballaststoffen. Normalerweise werden sie als Tierfutter verwendet, aber aufgrund ihrer guten Nährwerteigenschaften werden sie zunehmend auch in der menschlichen Ernährung eingesetzt.

Haben Sie den Text gelesen?

- Ja
- Nein → Informationen werden gelöscht

16. Jetzt da Sie wissen, was Biertreber ist und welche Eigenschaften es hat, würden Sie gerne Chips oder herzhaftes Plätzchen essen, in denen es verwertet worden ist?

- Ja
- Nein -->Frage 20

17. Haben Sie Vorurteile gegenüber der Benutzung des Biertrebers? (Mehrere Antworten sind möglich)

- Schlechter Geschmack
- Bitterer Geschmack (wie bei Bier)
- Unangenehme, trockene oder breiige Textur
- Angst davor Abfallprodukte zu essen
- Ich habe keine Vorurteile
- Andere. Präzisieren:

18. Unter welchem Preis (pro 100g) würden Sie denken, dass dieses Produkt eine schlechte Qualität hat?

- < 1 €
- < 2 €
- < 3 €
- < 4 €

19. Welchen Preis (pro 100g) würden Sie maximal für dieses Produkt geben?

- < 1 €
- 1 €
- 2 €
- 3 €
- 4 €
- > 4 €

Gründe für Ihre Ablehnung gegenüber Snacks mit Biertreber

20. Wieso sind Sie nicht interessiert in Aperitifhäppchen (Chips und herzhaftes Plätzchen) die Biertreber verwenden? (Mehrere Antworten sind möglich)

- Schlechter Geschmack
- Bitterer Geschmack (wie bei Bier)
- Unangenehme, trockene oder breiige Textur
- Angst davor Abfallprodukte zu essen
- Nicht schmackhaft genug
- Ich möchte nicht auf meine Gesundheit achten, wenn ich Aperitifhäppchen esse
- Ich mag im Allgemeinen keine Chips und herzhaftes Plätzchen
- Andere. Präzisieren:

Gründe, wieso Sie keine Aperitifhäppchen essen

21. Wieso essen Sie keine Aperitifhäppchen?

- Ich mag den Geschmack nicht
- Ich mag die Textur nicht
- Ich finde, dass sie zu fettig, zu salzig, schlecht für die Gesundheit sind
- Ich esse nicht außerhalb der Hauptmahlzeiten
- Ich finde, dass sie zu kalorienreich sind
- Andere. Präzisiere:

Sie dürfen Ihren Fragebogen jetzt versenden, indem Sie auf "Senden" drücken.

Bei Fragen zögern Sie nicht, uns unter einer der folgenden E-Mail-Adressen zu kontaktieren:

lisa.dhondt@student.uliege.be

marie.beka@student.uliege.be

maurine.mabillard@student.uliege.be

Annexe 6 : Dosage de l'amylose apparent (Morrison & Laignelet, 1983)

Principe : La teneur en amylose des échantillons d'amidon est déterminée par réaction colorimétrique en mesurant l'absorbance du complexe bleu « amylose-iodé » formé.

Matériel

- Tubes en verre à fond rond où plat avec bouchons hermétiques
- Tubes Falcon de 15ml
- Ballons jaugés de 500, 50 et 25ml
- Berlins de 50 et 25ml
- Bouteille Duran 500ml
- Puce magnétique
- Vortex à tube
- Portoirs à tubes
- 2 cuvettes de spectrophotométrie en verre
- Bain-marie
- Hotte
- Micropipettes automatiques 100-200 μ l et 1-10ml et tips correspondant
- Balance de précision et sabot de pesée
- Spectrophotomètre

Produits

- KI
- I₂
- Urée
- DMSO (diméthyl-sulfoxyde)
- Standards d'amylopectine et d'amylose purs
- Ethanol
- Eau déminéralisée

Préparation des solutions

1° : solution Urée 6M/DMSO 1/9

- Pour 50ml de solution peser 18.02g d'urée dans un berlin de 50ml, ajouter environ 30ml d'eau et une puce magnétique et mélanger sur une plaque légèrement chaude jusqu'à dissolution, transvaser dans un ballon jaugé de 50ml et mettre au trait.
- Sous hotte, mettre un peu de DMSO dans un ballon jaugé de 500ml et y verser les 50ml de la solution d'urée (rincer le ballon d'urée avec du DMSO) et porter au trait. X la solution dégage de la chaleur, laisser refroidir avant de porter au trait.
- Transvaser dans une bouteille Duran. Se conserve au frigo.

2° : Solution KI/I₂

- Peser 0.5g de KI et 0.05g d'I₂ dans un berlin de 25ml et y verser quelques gouttes d'éthanol pour dissoudre l'iode
- Quand l'iode est dissout ajouter \pm 10ml d'eau pour solubiliser le tout, verser dans un ballon jaugé de 25ml et porter au trait. La solution ne se conserve pas longtemps donc préparer extemporanément et garder dans le noir jusqu'à l'emploi.

Méthode

- Chauffer le bain-marie à 95°C

- Préparer 4 tubes en verre pour la courbe d'étalonnage et 2 tubes par analyse
- Les pesées doivent être le plus précises possible.
- Les standards pour la courbe sont à préparer avec le standard megazyme à 66% d'amylose et l'amylopectine BM (pesées corrigées en fonction de la matière sèche des produits déterminée au TGA)

	Megazyme 66% (mg)	AMP (mg)
0%	0	57.1
16.50%	14.4	42.9
33	28.7	28.6
66	57.5	0

- Peser précisément 50mg d'amidon dans un tube en verre (2 tubes par analyse). Tenir compte de la matière sèche pour avoir exactement 50mg d'amidon dans le tube = $(50/MS)*100$. N.B utiliser un sabot de pesée pour faciliter le transfert de la poudre dans le tube.
- Si besoin de délipider, faire maintenant (voir méthode ci-dessous)
- Ajouter 5ml de solution urée/DMSO avec une micropipette et vortexer immédiatement pour éviter la formation de grumeaux.
- Continuer à vortexer jusqu'à dissolution complète de l'amidon. Tremper le tube dans le bain-marie à 95°C puis vortexer plusieurs fois jusqu'à obtention d'une solution limpide.
- Laisser ensuite les tubes 60min au bain-marie à 95°C en surveillant l'absence de formation de gel, sortir du bain et laisser refroidir.
- Pipeter 9.7ml d'H₂O dans des tubes Falcon (2 Falcon / tube en verre, il y a donc 2x2 mesures par échantillon) et y ajouter 100µl d'échantillon amidon-U/DMSO, mélanger
- Préparer aussi un blanco avec 9.7ml d'H₂O et 100µl de solution U/DMSO vierge
- Ajouter ensuite 200µl de solution I₂/KI dans tous les tubes, mélanger et laisser reposer 20 minutes dans le noir.
- Lire à 635 nm dans des cuvettes du spectrophotomètre de 3ml avec en référence H₂O et en blanco le mélange sans amidon. La courbe se fait avec les 4 standards.

Résultats: La mesure est directement proportionnelle à la concentration (pas de facteur de correction), faire le graph en Excel avec les valeurs des standards : concentration en X et absorbance en Y. Calculer le R² qui doit être sup à 0.98 et se servir de l'équation de la droite pour calculer la concentration des échantillons.

Délipidation des échantillons (si nécessaire) :

- Ajouter 2ml de solution urée/DMSO avec une micropipette au tube avec 50mg d'échantillon et vortexer immédiatement pour éviter la formation de grumeaux.
- Continuer à vortexer jusqu'à dissolution complète de l'amidon. Tremper le tube dans le bain-marie à 95°C puis vortexer plusieurs fois jusqu'à obtention d'une solution limpide, laisser 15min dans le bain
- Sortir du bain et laisser refroidir 5min à t° amb

- Ajouter 2ml d'éthanol, agiter vigoureusement puis rajouter 4ml d'éthanol et agiter vigoureusement
- Laisser reposer 15min, il se forme un précipité
- Centrifuger 2000g 15min puis drainer le culot en retournant le tube (! de ne pas perdre d'échantillon), flusher à l'azote pour bien sécher si nécessaire
- Ajouter 5ml de solution urée/DMSO et reprendre l'analyse comme décrit dans la méthode juste après la pesée des échantillons

Annexe 7 : Détermination de la matière grasse

ULg – GxABT	CARE : FoodIsLife – Axe : Smartech Laboratoire : Science des aliments et formulation
Mode opératoi re	DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN MATIÈRE GRASSE DANS LES PRODUITS DE BISCUITERIE, PÂTISSERIE, BOULANGERIE INDUSTRIELLES ET ARTISANALES ET DANS LES PRODUITS DE RÉGIME

Objet

Ce protocole a pour objet de décrire une méthode de détermination de la teneur en matière grasse.

Domaine d'application

Ce protocole s'applique aux produits de biscuiterie, pâtisserie, boulangerie industrielles et artisanales et aux produits de régime.

Document de référence

Techniques modernes de la biscuiterie, pâtisserie, boulangerie industrielles et artisanales et des produits de régime par J.L. KIGER – TOME II – pages 550-551 – extraction après dissolution acide

Description

Principe

Traitement à chaud de l'échantillon par l'acide chlorhydrique afin de détruire les parois cellulaires ou les liaisons résultant de la cuisson et libérer la matière grasse

Filtration de la masse résultante suivie du lavage et du séchage du matériel d'hydrolyse et de filtration

Extraction de la matière grasse retenue sur les filtres au moyen d'éther de pétrole

Après séchage, détermination de la matière grasse extraite

Matériel

- *Broyeur*
- *Tamis de 500 µm*
- *Balance analytique*
- *Cuillère*
- *Béchers de 100 ml*
- *Poire*
- *Pipette graduée de 2 ml*
- *Tiges en verre*

- *Cylindres gradués de 50 ml et 250 ml*
- *Verres de montre*
- *Bain-marie réglé à 70°C*
- *Chronomètre*
- *Filtres plissés qualitatifs (125 mm – rétention des particules : 5 – 8 µm)*
- *Entonnoirs en verre*
- *Erlenmeyers de 500 ml*
- *Cartouches d'extraction en cellulose – 33 x 80 mm*
- *Portoir métallique pour cartouches d'extraction*
- *Etuve ventilée et réglée à 60°C±3°C*
- *Béchers d'extraction*
- *Régulateurs d'ébullition*
- *Etuve ventilée et réglée à 103±3°C*
- *Gants anti-chaueur*
- *Dessiccateur muni d'un déshydratant efficace*
- *Ouate hydrophile*
- *Pince*
- *Béchers de 50 ml et de 400 ml*
- *Supports métalliques*
- *Appareil à extraction – « Soxtherm »*

Réactifs

Tous les réactifs doivent être de qualité analytique.

Éthanol 95%

Réactif commercial

Acide chlorhydrique 6 N

Pour 1000 ml de solution :

Dans un ballon jaugé de 1000 ml contenant environ 300 ml d'eau distillée, ajouter lentement 497 ml d'acide chlorhydrique 37%

Laisser refroidir

Amener au trait de jauge avec de l'eau distillée et homogénéiser

Stocker la solution dans une bouteille Schott

Eau

Elle doit être d'une pureté au moins équivalente à celle de l'eau distillée

Papier de tournesol bleu

Réactif commercial

Solvant d'extraction – Ether de pétrole 40-60°C

Réactif commercial

Mode opératoire

Préparation de l'échantillon

Broyer et homogénéiser une quantité représentative de l'échantillon à analyser

Remarque : veiller à ce que la granulométrie de l'échantillon soit inférieure à 500 μm

Prise d'essai

Peser, à la balance analytique, 2 à 5 grammes d'échantillon directement dans un bécher de 100 ml (soit $m_{\text{éch}}$)

Traitement à chaud par l'acide chlorhydrique

Ajouter, à l'aide d'une pipette graduée, 2 ml d'éthanol 95%

Mélanger à l'aide d'une tige en verre afin de bien humecter toutes les particules

Ajouter, à l'aide d'un cylindre gradué, 50 ml d'acide chlorhydrique 6 N

Mélanger à l'aide de la tige en verre puis couvrir d'un verre de montre

Placer le tout dans un bain-marie réglé à 70°C pendant 30 à 40 minutes en agitant de temps à autre

Après les 30 - 40 minutes, sortir le tout du bain-marie et laisser refroidir

Filtration, lavage et séchage

Placer deux filtres plissés dans un entonnoir en verre et placer celui-ci sur un erlenmeyer de 500 ml

Mouiller les filtres avec de l'eau distillée

Laver le verre de montre ainsi que la tige en verre avec de l'eau distillée en recueillant les eaux de lavage sur les filtres

Verser le contenu du bécher sur les filtres

Laver le bécher avec de l'eau distillée jusqu'au moment où plus aucune particule n'adhère sur les parois en recueillant les eaux de lavage sur les filtres

Lorsque le bécher est bien lavé, laver les filtres avec de l'eau distillée jusqu'au moment où les eaux de lavage ne modifient plus la couleur du papier tournesol bleu (correspond à la disparition de l'ion chlore)

Lorsque les filtres sont lavés, les insérer dans une cartouche d'extraction

Placer la cartouche d'extraction, le bécher avec la tige en verre, le verre de montre et l'entonnoir dans une étuve ventilée et réglée à 60°C pendant une nuit

Préparation des béchers d'extraction

Placer le bécher d'extraction contenant des régulateurs d'ébullition dans une étuve ventilée et réglée à $103 \pm 3^\circ\text{C}$ pendant 01h00

Après 01h00, enlever le bécher d'extraction de l'étuve et le placer dans un dessiccateur jusqu'à ce qu'il revienne à température ambiante

Peser, à la balance analytique, le bécher d'extraction contenant les régulateurs d'ébullition (soit m_0)

Extraction

Après une nuit à 60°C, enlever la cartouche d'extraction, le bécher avec la tige en verre, le verre de montre et l'entonnoir de l'étuve

Enlever, à l'aide d'un morceau d'ouate hydrophile humidifiée avec le solvant d'extraction, toute trace de matière grasse en passant sur la tige en verre, le verre de montre, les parois du bécher et de l'entonnoir puis le placer dans la cartouche d'extraction

Passer de nouveau sur la tige en verre, le verre de montre, les parois du bécher et de l'entonnoir avec un morceau d'ouate hydrophile sec et le placer également dans la cartouche d'extraction

Placer un support métallique dans le bécher d'extraction préalablement séché et taré puis y insérer la cartouche d'extraction

Ajouter, à l'aide d'un cylindre gradué, 140 ml de solvant d'extraction

Adapter le bécher d'extraction sur le « Soxtherm »

Programmer l'extraction :

Température de sécurité : 200°C

Température d'extraction : 150°C

Temps de trempage : 02h30

Récupération du solvant A : 4 x 15 ml

Temps d'extraction : 02h30

Récupération du solvant B : 20 minutes

Récupération du solvant C : 05 minutes

Remplissage du collecteur : 05 minutes

Vidange du collecteur : 5 secondes

Durée totale du programme : 05h45

Démarrer le programme d'extraction

Lorsque l'extraction est terminée, enlever le bécher d'extraction du « Soxtherm » et retirer la cartouche d'extraction ainsi que le support métallique

Placer le bécher d'extraction dans une étuve ventilée et réglée à 103±3°C pendant 01h00

Après 01h00, enlever le bécher d'extraction de l'étuve et le placer dans un dessiccateur jusqu'à ce qu'il revienne à température ambiante

Peser, à la balance analytique, le bécher d'extraction contenant les régulateurs d'ébullition et la matière grasse (soit m_1)

Expression des résultats

La teneur en matière grasse, exprimée en pourcentage en masse, est égale à :

$$MG (\%) = \frac{m_1 - m_0}{m_{éch}} \times 100$$

Où :

MG = teneur en matière grasse (%) $m_{éch}$ = masse de la prise d'essai (g)



m_0 = masse du bécher d'extraction contenant les régulateurs d'ébullition (g)

m_1 = masse, après séchage, du bécher d'extraction contenant les régulateurs d'ébullition et la matière grasse (g)

Exprimer le résultat avec deux décimales. Réaliser 2 essais par échantillon.

Annexe 8 : Tableau des différentes formulations des snacks extrudés

Tableau 53 : Présentation des pré-tests pour obtenir une formulation de base des snacks extrudés.

N° du test	Formulation	Paramètres	Photo
Test 1	Maïs (83 %) Eau (9 %) Sel (1 %) Graines de lin (7 %)	Filière : 6 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Humidité : 19,1 % Lipide : 6,10 % Amidon : 60,72 %	
Test 2	Maïs (83 %) Eau (9 %) Sel (1 %) Graines de lin (7 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Humidité : 19,1 % Lipide : 6,10 % Amidon : 60,72 %	
















Test 3	Maïs (90 %) Eau (9 %) Sel (1 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Humidité : 20,40 % Lipide : 3,79 % Amidon : 65,84 %	
Test 4	Maïs (95 %) Eau (4 %) Sel (1 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Rotation vis : 200 rpm Doseur : 25 (équivalent à 47,7 kg/h) Granulateur : 25 Humidité : 16,03 % Lipide : 4,0 % Amidon : 70,27% Rapport eau/amidon : 0,23	
Test 5	Maïs (95 %) Eau (4 %) Sel (1 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 30 (équivalent à 56,94 kg/h) Ampérage : 27 Granulateur : 25 Humidité : 16,03 % Lipide : 4,0 % Amidon : 70,27%	




Tableau 54 : Présentation des formulations testées pour obtenir une formulation de snacks extrudés à base de drêches de brasserie.




N° du test	Formulation	Paramètres	Photo
Test 6	Maïs (90 %) Eau (3,9 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (5 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 (équivalent à 47,7 kg/h) Granulateur : 25 Humidité : 15,4 % Lipide : 4,11 % Amidon : 66,89 %	
Test 7	Maïs (85 %) Eau (3,5 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (10 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation 200 rpm Doseur : 25 (équivalent à 47,7 kg/h) Granulateur : 25 Humidité : 14,6 % Lipide : 4,23 % Amidon : 63,51 %	
Test 8	Maïs (85 %) Eau (3,5 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (10 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 40 (équivalent à 79,98 kg/h) Ampérage : 27 Granulateur : 25 Humidité : 14,6 % Lipide : 4,23 % Amidon : 63,51 %	




Test 9	Maïs (80 %) Eau (3,15 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (15 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 (équivalent à 47,7 kg/h) Granulateur : 25 Humidité : 13,74 % Lipide : 4,34 % Amidon : 59,75 %	 A clear plastic container filled with light brown, cylindrical pellets. The pellets are uniform in size and shape, with a slightly textured surface.
Test 10	Maïs (80 %) Eau (3,15 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (15 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 50 (équivalent à 104,88 kg/h) Ampérage : 27 Granulateur : 25 Humidité : 13,74 % Lipide : 4,34 % Amidon : 59,75 %	 A clear plastic container filled with light brown, cylindrical pellets. The pellets are uniform in size and shape, with a slightly textured surface.
Test 11	Maïs (90 %) Eau (3,9 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (5 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 30 (équivalent à 56,94 kg/h) Ampérage : 27 Granulateur : 25 Humidité : 15,4 % Lipide : 4,11 % Amidon : 66,89 %	 A clear plastic container filled with light brown, cylindrical pellets. The pellets are uniform in size and shape, with a slightly textured surface.




Test 12	Maïs (90 %) Eau (3,9 %) Sel (1 %) Graines de lin (5 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 30 (équivalent à 56,94 kg/h) Ampérage : 27 Granulateur : 25 Humidité : 15,3 % Lipide : 5,60 % Amidon : 66,57 %	
Test 13	Maïs (90 %) Eau (3,9 %) Sel (1 %) Graines de lin (5 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 (équivalent à 47,7 kg/h) Granulateur : 25 Humidité : 15,3 % Lipide : 5,60 % Amidon : 66,57 %	
Test 14	Maïs (94 %) Eau (4,09 %) Sel (1 %) Pectine (1 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 (équivalent à 47,7 kg/h) Granulateur : 25 Humidité : 15,99 % Lipide : 3,36 % Amidon : 69,53 %	




Test 15	<p>Maïs (94 %) Eau (4,09 %) Sel (1 %) Pectine (1 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : entre 27 et 28 (équivalent à 60,18 kg/h) Granulateur : 25 Humidité : 15,99 % Lipide : 3,36 % Amidon : 69,53 %</p>	
Test 16	<p>Maïs (85 %) Eau (3,5 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (10 %) Pectine (1 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 (équivalent à 47,7 kg/h) Granulateur : 25 Ampérage : 20 Humidité : 14,55 % Lipide : 4,23 % Amidon : 63,26 %</p>	
Test 17	<p>Maïs (85 %) Eau (3,5 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (10 %) Pectine (1 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : entre 31 et 32 (équivalent à 68,70 kg/h) Ampérage : 27 Granulateur : 25 Humidité : 14,55 % Lipide : 4,23 % Amidon : 63,26 %</p>	



Test 18	<p>Maïs (80 %) Eau (3,24 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (10 %) Graines de lin (5 %) Pectine (1 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 (équivalent à 47,7 kg/h) Granulateur : 25 Ampérage : 20 Humidité : 13,67 % Lipide : 6,48 % Amidon : 59,41 %</p>	
Test 19	<p>Maïs (80 %) Eau (3,24 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (10 %) Graines de lin (5 %) Pectine (1 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 30 (équivalent à 56,94 kg/h) Ampérage : 27 Granulateur : 40 Humidité : 13,67 % Lipide : 6,48 % Amidon : 59,41 %</p>	
Test 20	<p>Maïs (85 %) Eau (3,5 %) Sel (1 %) Drêches entières (10 %) Pectine (1 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 (équivalent à 47,7 kg/h) Granulateur : 25 Ampérage : 20 Humidité : 14,55 % Lipide : 4,23 % Amidon : 63,26 %</p>	

Test 21	Maïs (85 %) Eau (3,5 %) Sel (1 %) Drêches entières (10 %) Pectine (1 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 31 à 32 (équivalent à 68,70 kg/h) Ampérage : 27 Granulateur : 25 Humidité : 14,55 % Lipide : 4,23 % Amidon : 63,26 %	
Test 22	Maïs (80 %) Eau (3,12 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (15 %) Pectine (1 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 (équivalent à 47,7 kg/h) Ampérage : 20 Granulateur : 25 Humidité : 13,71 % Lipide : 4,12 % Amidon : 59,61 %	
Test 23	Maïs (80 %) Eau (3,12 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (15 %) Pectine (1 %)	Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 30 (équivalent à 56,94 kg/h) Ampérage : 27 Granulateur : 25 Humidité : 13,71 % Lipide : 4,12 % Amidon : 59,61 %	

Test 24	<p>Maïs (80 %) Eau (3,24 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (10 %) Graines de lin (5 %) Pectine (1 %) Extrait de romarin (3,2 mg)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 (équivalent à 47,7 kg/h) Granulateur : 25 Ampérage : 20 Humidité : 13,67 % Lipide : 6,48 % Amidon : 59,41 %</p>	
Test 25	<p>Maïs (75 %) Eau (2,91 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (15 %) Graines de lin (5 %) Pectine (1 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 (équivalent à 47,7 kg/h) Granulateur : 25 Humidité : 13,71 % Lipide : 6,16 % Amidon : 59,61 %</p>	
Test 26	<p>Maïs (75 %) Eau (2,91 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (15 %) Graines de lin (5 %) Pectine (1 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 50 (équivalent à 104,88 kg/h) Granulateur : 25 Ampérage : 25 Humidité : 13,71 % Lipide : 6,16 % Amidon : 59,61 %</p>	

Test 27	<p>Maïs (82,5 %) Eau (4,29 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (12,5 %) Pectine (1 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 (équivalent à 47,7 kg/h) Granulateur : 25 Humidité : 14,11 % Lipide : 4,29 % Amidon : 61,35 %</p>	
Test 28	<p>Maïs (82,5 %) Eau (4,29 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (12,5 %) Pectine (1 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 31 à 32 (équivalent à 68,70 kg/h) Ampérage : 25 Granulateur : 25 Humidité : 14,11 % Lipide : 4,29 % Amidon : 61,35 %</p>	
Test 29	<p>Maïs (77,5 %) Eau (3,07 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (12,5 %) Graines de lin (5 %) Pectine (1 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 (équivalent à 47,7 kg/h) Granulateur : 25 Humidité : 13,26 % Lipide : 5,89 % Amidon : 57,67 %</p>	

Test 30	<p>Maïs (77,5 %) Eau (3,07 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (12,5 %) Graines de lin (5 %) Pectine (1 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 27 puis 31 (équivalent de 60,18 kg/h à 68,70 kg/h) Ampérage : 27 Granulateur : 25 Humidité : 13,26 % Lipide : 5,89 % Amidon : 57,67 %</p>	
Test 31	<p>Maïs (75,75 %) Eau (3 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (12,5 %) Graines de lin (5 %) Pectine (1 %) Poudre de paprika (1 %) Poudre d'ail (0,25 %) Oignons (0,5 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 (équivalent à 47,7 kg/h) Granulateur : 25 Humidité : 12,97 % Lipide : 6,04 % Amidon : 56,4 %</p>	
Test 32	<p>Maïs (74 %) Eau (2,9 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (12,5 %) Graines de lin (5 %) Pectine (1 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 Granulateur : 25 Humidité : 12,67 % Lipide : 6,19 % Amidon : 55,1 %</p>	

	<p>Poudre de paprika (2 %) Poudre d'ail (0,5 %) Oignons (1 %)</p>		
Test 33	<p>Maïs (76,5 %) Eau (3,1 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (10 %) Graines de lin (5 %) Pectine (1 %) Poudre de paprika (2 %) Poudre d'ail (0,5 %) Oignons (1 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 Granulateur : 25 Humidité : 13,07 % Lipide : 6,13 % Amidon : 56,8 %</p>	
Test 34	<p>Maïs (77 %) Eau (2,96 %) Sel (1 %) Drêches < 750 µm (10 %) Graines de lin (5 %) Pectine (1 %) Poudre de paprika (2 %) Poudre d'ail (0,5 %) Oignons (0,5 %)</p>	<p>Filière : 4 mm Température : 150 °C Vitesse de rotation : 200 rpm Doseur : 25 Granulateur : 25 Humidité : 13,16 % Lipide : 5,93 % Amidon : 57,2 %</p>	

Annexe 9 : Tableau du calcul du taux d'oméga-3 dans les snacks apéritifs

Tableau 55 : Calcul du taux d'oméga-3 dans les crackers et snacks extrudés (Sebei, 2007 ; Prasad, 2009).

	Huile de colza	Graines de lin	Snack extrudé	Cracker
Lipides (g/100 g)	100	36,3		
Oméga-3 (g/100 g)	9,6	$36,3 \times \frac{55}{100} = 19,96$	$9,6 \times \frac{10,5}{100}$ $+ 5 \times \frac{19,96}{100}$ $= 2,006$	$9,6 \times \frac{6,9}{100}$ $+ 6 \times \frac{19,96}{100}$ $= 1,860$
Total d'oméga-3 dans 100 kcal de produit (g)			$\frac{2,006}{4,452} = 0,451$	$\frac{1,860}{4,663} = 0,399$

Annexe 10 : Tableau du calcul des Nutri-Scores des snacks extrudés et des crackers

Tableau 56 : Calcul du pourcentage d'acides gras saturés dans les snacks extrudés enrobés.

Ingrédients	Pourcentage de lipides pour 100g d'ingrédient	Pourcentage d'AGS des lipides (par 100g de lipides)	Quantité d'ingrédient pour 100g de snack	Pourcentage de lipides pour 100g de snacks	Pourcentage d'AGS pour 100g de snack (g)
Maïs	4,21	13,00	64,30	2,71	0,35
Drêches	6,50	31,79	10,60	0,69	0,22
Huile de colza	100,00	6,60	8,90	8,90	0,59
Graines de lin	36,30	11,20	1,50	0,54	0,06
Total					1,22

Tableau 57 : Calcul du pourcentage d'acides gras saturés dans les cracker.

Ingrédients	Pourcentage de lipides pour 100g d'ingrédient	Pourcentage d'AGS des lipides	Quantité d'ingrédient pour 100g de snack	Pourcentage lipides pour 100g de snacks	Pourcentage d'AGS pour 100g de snack (g)
Farine de blé	1,60	6,25	58,80	0,94	0,06
Drêches	6,50	31,79	21,20	1,38	0,44
Huile de colza	100,00	6,60	9,70	9,70	0,64
Graines de lin	36,30	11,20	8,50	3,09	0,35
Total					1,48



Tableau 58 : Outil de calcul du Nutri-Score¹³⁸

Produit	Marque	Valeur énergétique (KJ/100g ou 100mL)	Acides gras saturés (g/100g ou 100mL)	Sucres (g/100g ou 100mL)	Protéines (g/100g ou 100mL)	Fibres (g/100g ou 100mL)	Fruits, légumes, légumineuses, fruits à coques, huiles de colza, de noix et d'olive (%/100g ou 100mL)	Sodium (mg/100g ou 100mL)	score	Nutri-Score	couleur
Snacks extrudés		1870	1,22	0,2	9,7	22,84	9	400	0	Nutriscore_B	Vert clair
Crackers		1958	1,48	2	14,6	16,5	9,7	400	0	Nutriscore_B	Vert clair

¹³⁸ Outil de calcul du Nutri-Score. (2021, 16 mars). SPF Santé publique. Consulté le 25 octobre 2021, <https://www.health.belgium.be/fr/outil-de-calcul-du-nutri-score>

Annexe 11 : Tableau des différentes formulations des crackers

Tableau 59 : Présentation des pré-tests pour obtenir une formulation de base des crackers.

N° du test	Formulation	Paramètres	Photo
Test A	Farine complète (20 %) Graines de lin (7 %) Sel (1 %) Drêche entière (25 %) Huile de colza (8 %) Eau (40 %)	Température : 180 °C Temps : 25 minutes	
Test B	Farine complète (57,8 %) Graines de lin (8,1 %) Sel (0,6 %) Huile de colza (4,6 %) Eau (28,9 %)	Température : 180 °C Temps : 20 minutes	




















Test C	Farine complète (55,5 %) Graines de lin (7,8 %) Sel (0,6 %) Huile de colza (16,7 %) Eau (19,4 %)	Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 0	
Test D	Farine complète (55,5 %) Graines de lin (7,8 %) Sel (0,6 %) Huile de colza (16,7 %) Eau (19,4 %)	Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 1 (photo en haut) et taille 2 (photo en bas) Taille : 3 cm x 3 cm	
Test E	Farine complète (55 %) Graines de lin (7,8 %) Sel (0,6 %) Huile de colza (16,7 %) Eau (19,4 %) Bicarbonate de soude (0,6 %)	Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 2 Taille : 3 cm x 3 cm	
Test F	Farine complète (58,8 %) Graines de lin (8,2 %) Sel (0,6 %) Huile de colza (11,8 %) Eau (20,6 %)	Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 2 Taille : 3 cm x 3 cm	




Tableau 60 : Présentation des essais pour obtenir un cracker aux drêches de brasserie.




<p>Test G (7)</p>	<p>Farine complète (50,5 %) Graines de lin (8,2 %) Sel (0,6 %) Huile de colza (16,7 %) Farine de drêches (5 %) Eau (19,8 %)</p>	<p>Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 2 Taille : 3 cm x 3 cm Four à pain</p>	
<p>Test H (8)</p>	<p>Farine complète (45,5 %) Graines de lin (8,2 %) Sel (0,6 %) Huile de colza (16,7 %) Farine de drêches (10 %) Eau (20,2 %)</p>	<p>Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 2 Taille : 3 cm x 3 cm Four à pain</p>	
<p>Test I (9)</p>	<p>Farine complète (45,5 %) Graines de lin (8,2 %) Sel (0,6 %) Huile de colza (16,7 %) Farine de drêches (10 %) Eau (22,7 %)</p>	<p>Température : 180 °C Temps : 20 minutes Laminoir : taille 2 Taille : 3 cm x 3 cm Four à pain</p>	



Test J (10)	Farine blanche (45,5 %) Graines de lin (8,2 %) Sel (0,6 %) Huile de colza (16,7 %) Farine de drêches (10 %) Eau (20,2 %)	Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 2 Taille : 3 cm x 3 cm Four à pain	
Test K (11)	Farine blanche (57 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (6 %) Eau (30 %)	Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à pain	
Test L (12)	Farine blanche (47 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (6 %) Farine de drêches (10 %) Eau (38 %)	Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à pain	
Test M (13)	Farine blanche (47 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (6,6 %) Farine de drêches (10 %) Eau (38 %)	Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à pain	

Test N (14)	Farine blanche (42 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (6,9 %) Farine de drêches (15 %) Eau (42,6 %)	Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à pain	
Test O (15)	Farine blanche (37 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (7,2 %) Farine de drêches (20 %) Eau (46,8 %)	Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à pain	
Test P (16)	Farine blanche (37 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (7,2 %) Farine de drêches (20 %) Eau (46,8 %)	Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 1 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à pain	
Test Q (17)	Farine blanche (37 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (7,2 %) Farine de drêches (20 %) Eau (46,8 %)	Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 0 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à pain	

Test R (18)	Farine blanche (46,5 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (6,6 %) Farine de drêches (10 %) Eau (38 %) Origan (0,5 %)	Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à vapeur Air-o-steam Mode : Air pulsé sans vapeur	
Test S (19)	Farine blanche (57 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (6 %) Eau (30 %)	Température : 180 °C Temps : 25 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à vapeur Air-o-steam Mode : Air pulsé sans vapeur	
Test T (20)	Farine blanche (46,5 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (6,6 %) Farine de drêches (10 %) Eau (38 %) Origan (0,5 %)	Température : 180 °C Temps : 20 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à vapeur Air-o-steam Mode : Air pulsé sans vapeur	
Test U (21)	Farine blanche (57 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (6 %) Eau (30 %)	Température : 180 °C Temps : 20 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm	

		Four à vapeur Air-o-steam Mode : Air pulsé sans vapeur	
Test V (22)	Farine blanche (57 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (6 %) Eau (30 %)	Température : 180 °C Temps : 20 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à pain	
Test W (23)	Farine blanche (46,5 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (6,6 %) Farine de drêches (10 %) Eau (38 %) Origan (0,5 %)	Température : 180 °C Temps : 20 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à pain	
Test X (24)	Farine blanche (42 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (6,9 %) Farine de drêches (15 %) Eau (42,6 %)	Température : 180 °C Temps : 20 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à vapeur Air-o-steam Mode : Air pulsé sans vapeur	

Test Z (26)	Farine blanche (41 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (6,9 %) Farine de drêches (15 %) Eau (42,6 %) Bicarbonate de soude (1%)	Température : 180 °C Temps : 20 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à vapeur Air-o-steam Mode : Air pulsé sans vapeur	
Test AA (27)	Farine blanche (37 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (7,2 %) Farine de drêches (20 %) Eau (46,8 %)	Température : 180 °C Temps : 20 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à vapeur Air-o-steam: Mode : Air pulsé sans vapeur	
Test AB (28)	Farine blanche (36 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) Huile de colza (7,2 %) Farine de drêches (20 %) Eau (46,8 %) Bicarbonate de soude (1%)	Température : 180 °C Temps : 20 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à vapeur Air-o-steam Mode : Air pulsé sans vapeur	

<p>Test AC (29)</p>	<p>Farine blanche (41,7 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) dont 0,5 % de sel de table et 0,5 % de fleur de sel en surface Poivre (0,3 %) Huile de colza (6,9 %) Farine de drêches (15 %) Eau (41,9 %)</p>	<p>Température : 180 °C Temps : 20 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à vapeur Air-o-steam Mode : Air pulsé sans vapeur</p>	
<p>Test AD (30)</p>	<p>Farine blanche (41,7 %) Graines de lin (6 %) Sel (1 %) dont 0,5 % de sel de table et 0,5 % de fleur de sel en surface Poivre (0,3 %) Huile de colza (6,9 %) Farine de drêches (15 %) Eau (41,9 %) Extrait de romarin (50 mg/kg d'huile de colza)</p>	<p>Température : 180 °C Temps : 20 minutes Laminoir : taille 2 Diamètre (emporte-pièce) : 4,5 cm Four à vapeur Air-o-steam Mode : Air pulsé sans vapeur</p>	

Annexe 12 : Détails des valeurs utilisées pour caractériser les matières premières et les snacks apéritifs

Tableau 61: Calcul de la teneur en protéine dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.

WEIGHT (mg)	NAME SAMPLE	METHOD ANALYSIS	N Factor	N Area	N %	Moyenne	Ecart-type	PROTEIN Factor	PROTEIN %	Moyenne	Ecart-type
10.00	Blanc	Blank with O2	1.0000	19	0,000			6.2500	0,000		
10.00	Blanc	Blank without O2	1.0000	8	0,000			6.2500	0,000		
10.00	Blanc	Blank without O2	1.0000	16	0,000			6.2500	0,000		
201.40	Conditionnement	250mgStandard	1.0000	8 293	2,623			6.2500	16,391		
202.00	aspartic acid	250mgStandard	0.9823	33 555	10,520			9.5026	99,967		
199.40	aspartic acid	250mgStandard	0.9791	33 233	10,520			9.5026	99,967		
203.90	aspartic acid	250mgStandard	0.9793	33 975	10,520			9.5026	99,967		
201.40	Farine de maïs	250mgStandard	0.9802	3 571	1,083	1,10	0,02	6.2500	6,770	6,87	0,15
202.60	Farine de maïs	250mgStandard	0.9802	3 698	1,117			6.2500	6,979		
199.80	Drêches	250mgStandard	0.9802	13 395	4,211	4,27	0,08	5.8300	24,552	24,87	0,45
199.10	Drêches	250mgStandard	0.9802	13 689	4,320			5.8300	25,185		
202.20	Ac. aspartique	250mgStandard	0.9802	34 522	10,791			9.5026	102,538		

Tableau 62 : Calcul de la teneur en lipides dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.

Echantillons	Tare du mojonnier avec son bouchon (g)	Masse du mojonnier, du bouchon et de l'échantillon (g)	Masse d'échantillon (g)	Tare du ballon avec son bouchon (g)	Masse du ballon, du bouchon et de la matière grasse (g)	Masse de matière grasse (g)	Matière grasse (%)	Moyenne	Ecart-type
Blanc			0,0000	131,0348	131,0170	-0,0178			
			0,0000	136,2161	136,2136	-0,0025			
Farine de maïs	62,4377	64,5050	2,0673	142,7110	142,7936	0,0826	4,00	4,21	0,26
	60,4262	62,4951	2,0689	151,5626	151,6484	0,0858	4,15		
	61,9844	64,0646	2,0802	138,2439	138,3374	0,0935	4,49		
Drêches	74,8534	76,9267	2,0733	155,6432	155,7867	0,1435	6,92	6,50	0,37
	69,2656	71,2551	1,9895	153,8951	154,0189	0,1238	6,22		
	59,2463	61,2929	2,0466	138,4221	138,5519	0,1298	6,34		

Tableau 63 : Calcul de la teneur en cendre dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.

Produit	Masse du creuset (g)	Masse de l'échantillon (g)	Masse du creuset + cendres (g)	Cendres (g)	Matière sèche (%)	Moyenne	Écart-type
Farine de drêche de brasserie	36,785	2,5005	36,8652	0,0802	3,21%	3,20%	0,0001
	38,8975	2,5003	38,9776	0,0801	3,20%		
	40,695	2,5079	40,7749	0,0799	3,19%		
Farine de maïs	37,1834	2,5048	37,2173	0,0339	1,35%	1,34%	0,0001
	41,2508	2,5086	41,2842	0,0334	1,33%		
	40,081	2,502	40,1146	0,0336	1,34%		

Tableau 64 : Calcul de la teneur en fibres solubles et insolubles dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.

Blanco – fibres insolubles	Échantillon 1	Échantillon 2
R ₁ (g)	0,0077	0,0103
R ₂ (g)	0,0101	0,0118
% A (%)	0	0
% P (%)	0,0188	0,0185

Blanco – fibres solubles	Échantillon 1	Échantillon 2
R ₁ (g)	0,0372	0,0005
R ₂ (g)	0,0348	0,0575
% A (%)	0	0
% P (%)	0,0442	0,0785

Farine de maïs – fibres insolubles	Échantillon 1	Échantillon 2
MS (%)	97,17 ± 0,38	
m ₁ (g)	1,0027	1,0010
m ₂ (g)	1,0027	1,0065
R ₁ (g)	0,1769	0,1852
R ₂ (g)	0,1852	0,1922
% A (%)	0	0
% P (%)	0,0745	0,0801

Farine de maïs – fibres solubles	Échantillon 1	Échantillon 2
MS (%)	97,17 ± 0,38	
m ₁ (g)	1,0027	1,0010
m ₂ (g)	1,0027	1,0065
R ₁ (g)	0,0530	0,0507
R ₂ (g)	0,0470	0,0591
% A (%)	0,1340	0
% P (%)	0,0484	0,0478

Drêche de brasserie – fibres solubles	Échantillon 1	Échantillon 2
MS (%)	97,58 ± 0,3	
m ₁ (g)	1,0091	1,0027
m ₂ (g)	1,0023	1,0025
R ₁ (g)	0,0643	0,0919
R ₂ (g)	0,0788	0,0646
% A (%)	0,1739	0,0155
% P (%)	0,0389	0,0543

Drêche de brasserie – fibres insolubles	Échantillon 1	Échantillon 2
MS (%)	97,58 ± 0,38	
m ₁ (g)	1,0091	1,0027
m ₂ (g)	1,0023	1,0025
R ₁ (g)	0,7845	0,8099
R ₂ (g)	0,7726	0,7959
% A (%)	0,0078	0,0088
% P (%)	0,1498	0,0985

Tableau 65 : Calcul de la teneur en amidon dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.

Teneur en amidon de la farine de maïs

masse de l'échantillon (g)	pouvoir rotatoire 1 (g ⁻¹ *ml*dm ⁻¹)	Température 1 (°C)	pouvoir rotatoire 2 (g ⁻¹ *ml*dm ⁻¹)	Température 2 (°C)	moyenne du pouvoir rotatoire (g ⁻¹ *ml*dm ⁻¹)	MS (%)	masse réelle (g) (exprimé par rapport à la matière sèche)	Facteur correctif calculé	% amidon	Moyenne	écart-type
2,5011	17,62	26,3	17,62	26,3	17,62	87,34	2,1845	9,3703	75,58	73,97	1,40
2,5006	17,07	26,3	17,08	26,4	17,08		2,1840	9,3684	73,24		
2,5	17,03	26,3	17,04	26,3	17,04		2,1835	9,3662	73,07		

Teneur en amidon dans la farine de drêche

Pouvoir rotatoire total

Masse de l'échantillon (g)	pouvoir rotatoire 1 (g ⁻¹ x ml x dm ⁻¹)	Température 1 (°C)	pouvoir rotatoire 2 (g ⁻¹ x ml x dm ⁻¹)	Température 2 (°C)	moyenne du pouvoir rotatoire (g ⁻¹ x ml x dm ⁻¹)	MS (%)	masse réelle (g) (exprimé par rapport à la matière sèche)	Facteur correctif calculé
2,5079	1,68	25,5	1,67	25,5	1,675	96,94	2,4312	9,5563
2,5001	1,74	25,5	1,74	25,5	1,74		2,4236	9,5266
2,5088	1,7	25,5	1,7	25,5	1,70		2,4320	9,5597

Pouvoir rotatoire des substances solubles dans l'éthanol 40 %

Masse de l'échantillon (g)	Pouvoir rotatoire 1 ($\text{g}^{-1} \times \text{ml} \times \text{dm}^{-1}$)	Température 1 ($^{\circ}\text{C}$)	Pouvoir rotatoire 2 ($\text{g}^{-1} \times \text{ml} \times \text{dm}^{-1}$)	Température 2 ($^{\circ}\text{C}$)	Moyenne du pouvoir rotatoire ($\text{g}^{-1} \times \text{ml} \times \text{dm}^{-1}$)	Matière sèche (%)	Masse réelle (g) (exprimée par rapport à la matière sèche)
5,0021	0,73	26,1	0,72	26,2	0,725	96,94	4,8490
5,0036	0,74	26,2	0,74	26,2	0,74		4,8505
5,0092	0,74	26,2	0,72	26,1	0,73		4,8559

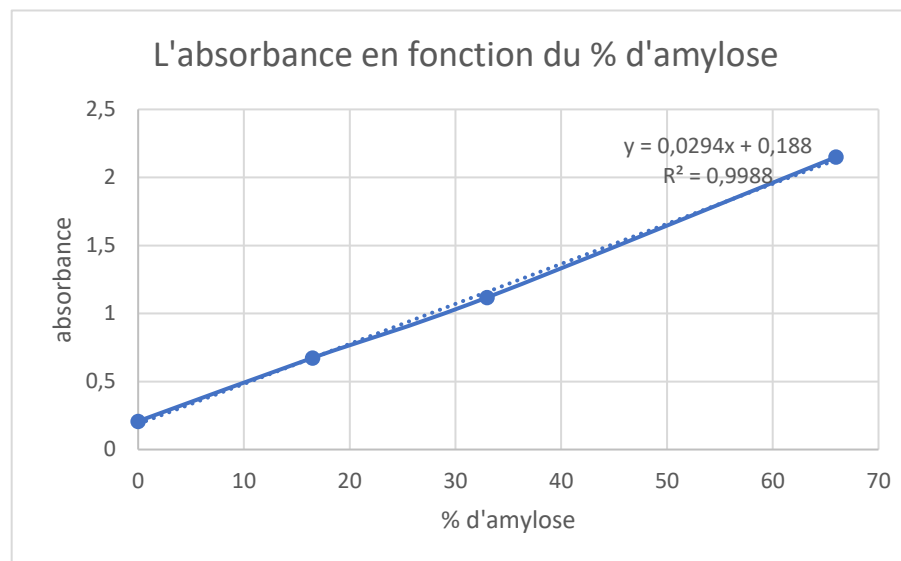
L'amidon dans la drêche de brasserie

% amidon	Moyenne	Écart-type
3,73	3,82	0,10
3,93		
3,81		

Tableau 66 : Calcul de la teneur en amylose et en amylopectine dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.

Droite de régression

% Amylose	Absorbance
0	0,208
16,5	0,674
33	1,118
66	2,15



échantillon	Absorbance	% amylose	Moyenne	Ecart-type	% amylopectine
A1	0,444	8,71	8,69	0,1701	91,31
A2	0,45	8,91			
B1	0,438	8,50			
B2	0,442	8,64			
A1 délipidé	0,689	17,04	16,89	0,2165	83,11
A2 délipidé	0,68	16,73			
B1 délipidé*	0,539	11,94	-	-	-
B2 délipidé*	0,497	10,51	-	-	-

*Les échantillons B1 et B2 délipidé ont perdu de la matière en cours d'expérience, on en prend donc pas compte dans les calculs.

Tableau 67 : Résultats de l'activité de l'eau dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.

N° échantillon	Aw Farine de drêche	Aw Farine de maïs
Échantillon 1	0,077	0,523
Échantillon 2	0,074	0,534
Échantillon 3	0,064	0,529
Moyenne	0,072	0,529
Écart-type	0,007	0,006

Tableau 68 : Résultats la teneur en matière sèche dans la farine de drêches de brasserie et dans la farine de maïs.

Produit	Masse du ballon + couvercle (g)	Masse de l'échantillon (g)	Masse du ballon + couvercle + MS (g)	Matière sèche (g)	Matière sèche (%)	Moyenne	Écart-type
Farine de drêche de brasserie	133,9258	5,0092	138,7806	4,8548	96,92%	96,94%	0,0016
	121,9091	5,0039	126,7684	4,8593	97,11%		
	130,9212	5,0078	135,768	4,8468	96,79%		
Farine de maïs	129,1628	5,0016	133,5501	4,3873	87,72%	87,34%	0,0026
	126,1019	5,0074	130,4695	4,3676	87,22%		
	127,6398	5,0034	131,999	4,3592	87,12%		
	138,4307	5,004	142,7985	4,3678	87,29%		

Tableau 69 : Résultats la capacité de rétention d'eau de la farine de drêches de brasserie a différente granulométrie, de la farine de maïs et de la farine de blé blanche et complète.

Matière première	N° échantillon	Masse contenant vide (g)	Masse de l'échantillon (g)	Masse après rétention d'eau + tube (g)	Masse échantillon après rétention d'eau (g)	Facteur de rétention	Moyenne	Ecart-type
Drêches 750 µm	1	10,3025	2,5179	21,1594	10,8569	4,3119	4,3668	0,0618
	2	10,1731	2,4982	21,0526	10,8795	4,3549		
	3	10,1232	2,5038	21,2243	11,1011	4,4337		
Maïs	4	10,2831	2,5318	15,5990	5,3159	2,0997	2,0813	0,0401
	5	10,8227	2,5136	15,9389	5,1162	2,0354		
	6	10,2336	2,5100	15,5271	5,2935	2,1090		
Farine complète	7	10,1954	2,5260	15,2451	5,0497	1,9991	1,9974	0,0501
	8	10,1728	2,4942	15,0277	4,8549	1,9465		
	9	10,2386	2,4896	15,3339	5,0953	2,0466		
Drêches entières	10	10,3438	2,5339	24,1704	13,8266	5,4566	5,7000	0,2381
	11	10,2126	2,4540	24,7709	14,5583	5,9325		
	12	10,1234	2,5586	24,7352	14,6118	5,7109		
Drêches 450 µm	13	13,2752	2,5346	24,7982	11,5230	4,5463	4,4112	0,1304
	14	13,2096	2,5339	24,3621	11,1525	4,4013		
	15	13,2902	2,5101	24,0485	10,7583	4,2860		
Farine blanche	16	13,2919	2,5351	17,6108	4,3189	1,7036	1,7071	0,0211
	17	13,1992	2,5364	17,4802	4,2810	1,6878		
	18	13,1056	2,5154	17,4565	4,3509	1,7297		

Tableau 70 : Résultats de la capacité de rétention d'huile de la farine de drêches de brasserie a différentes granulométries, de la farine de maïs et de la farine de blé blanche et complète.

Matière première	N° échantillon	Masse contenant vide (g)	Masse de l'échantillon (g)	Masse après rétention d'huile + tube (g)	Masse échantillon après rétention d'huile (g)	Facteur de rétention	Moyenne	Ecart-type
Drêches 450 µm	1	13,2067	2,4980	18,8077	5,6010	2,2422	2,2088	0,0465
	2	13,1798	2,5524	18,8676	5,6878	2,2284		
	3	13,2619	2,5075	18,6672	5,4053	2,1557		
Farine blanche	4	13,4001	2,5193	17,5236	4,1235	1,6368	1,6211	0,0141
	5	13,2535	2,5116	17,3148	4,0613	1,6170		
	6	13,1369	2,5175	17,1889	4,0520	1,6095		
Farine complète	7	13,0314	2,4939	17,1759	4,1445	1,6619	1,6738	0,0315
	8	13,2450	2,5456	17,5968	4,3518	1,7095		
	9	13,2489	2,5286	17,4213	4,1724	1,6501		
Drêches 750 µm	10	13,0607	2,5554	19,2706	6,2099	2,4301	2,4479	0,0920
	11	13,3750	2,5715	19,9257	6,5507	2,5474		
	12	13,0877	2,5421	19,1026	6,0149	2,3661		
Drêches entières	13	13,3036	2,5115	22,9235	9,6199	3,8303	3,7674	0,0546
	14	13,2772	2,5507	22,8168	9,5396	3,7400		
	15	13,2933	2,6121	23,0415	9,7482	3,7319		
Maïs	16	13,1599	2,5644	17,4569	4,2970	1,6756	1,7039	0,0476
	17	12,9989	2,5857	17,3356	4,3367	1,6772		
	18	13,0519	2,5278	17,4981	4,4462	1,7589		

Annexe 13 : Fiche technique de l'emballage



PAPERFLEX3R®Kraft XIREM HS Silver
version UP-T-L

PRODUCT DESCRIPTION

The Paperflex3R®KRAFTXIREM HS Silver is designed for the flexible packaging industry that wants to get rid of the aluminum foil with integrated unique ultra-high barrier functions. The paper-based material is suitable for HFFS & VFFS production lines and increase the percentage of fiber content without solvent to have a fully recyclable material. The material has one side Pearl ready to be coated and/or printed and one side Silver sealing layer

TECHNICAL DATA

	Unit	Test Method	PAPERFLEX3R®Kraft XIREM 90 HS Silver
Grammage	g/m ²	ISO536	86.5
Thickness	μ	ISO534	78
Moisture	%	-	7.5
Fiber content	%	-	81%
Oxygen Transmission Rate (OTR)	cm ³ /m ² .d bar	ASTM D3985	<5
Water Vapour Transmission Rate (MVTR) Film Side	g/m ² .d	T448 (38°C, 90%RH)	<1
Brightness D65 (P)	%	ISO2470-2	92
CE Wightness (P)	%	-	120
Gloss Hunter	%	ISO8524-1	75
Roughness	μ	PPS10 TS	0.7
Elongation at break MD	MPa	ISO527	180
Elongation at break CD	MPa	ISO527	400
Tear Resistance	N/mm	ISO6383-1	80
Tear Resistance	N/mm	ISO6383-1	45
Color Film Side	-	-	Silver
Sealability	°C	1 sec . 3 Bar	110-140

APPLICATION

- ✦ Lids
- ✦ Spices packaging
- ✦ Doy Pack
- ✦ Flow pack

- Bag in Box
- HFFS & VFFS

KEY FEATURES

- Easy Sealing in all conditions
- Excellent machinability even twisted flexibles forms
- Suitable for Flexo, Rotogravure and Digital printing

FOOD CONTACT

Suitable for direct food contact. We hereby certify in accordance with the certificates delivered by our Paper, Film and Glue suppliers following European Regulation compliance for food contact that the above mentioned product is conforming to [Regulation 1935/2004/EC](#), [Regulation 2023/2006/EC](#), [Regulation 10/2011/EC](#), relating to materials and articles intended to come into direct contact with food.

STORAGE

It is recommended to carry out tests before each particular use.

It is recommended for good mechanization behavior to keep these products at 23 °C and 50% relative humidity.

- Minimum temperature: 10 ° C
- Maximum temperature: 35 ° C
- Maximum recommended duration: 6 months

Altorf, 28/02/2021
Zied AKKARI
Quality Engineer



DISCLAIMER

The information provided in this statement applies only for the laminated paperboard as delivered by Eurobrillance and may not substitute necessary end use testing. Eurobrillance shall not be liable for any damage or injury resulting from misuse or uninstructed use of its products.
For questions regarding if a specific end-use (food type and/or conditions) is covered by this declaration please contact your local sales office for more information. Please note that safe and appropriate use in this context means product safety.
There might be technical limitations that the converter needs to take into account and test separately before use.
The end users shall have responsibility for verifying the suitability of the product for a particular application or end use. The information given in this statement has been verified by Eurobrillance at the date of its publication and we shall not be liable for any future changes in information, contents, processes, regulatory or legal requirements included in this statement. This statement is valid maximum one year unless a more recently dated version is available. When converting this paperboard each part of the converting chain is responsible for the suitability for the intended end-use.
The company makes available to its customers a traceability system covering the information concerning the various manufacturing operations carried out as well as the batch numbers of the components used.

Annexe 14 : Estimation du prix de l'emballage

10/12/2021

OFFER

CUSTOMER MARIE-BEKA



CUSTOMER REFERENCE Teams du 10/12/2021

PRODUIT	Largeur mm	Volume m ³	Volume To	Volume ml	Face de lamination	Caractéristiques techniques	Epaisseur Complexe (μ)	FSC	Prix en EURO par M ²	
									100 m2	Kilo
PAPERFLEX®KRAFT BRUN XIREM HS	300	3 000	0,3	10 000	Recto	Complexe barrière vapeur d'eau, arôme, uv, huiles minérales	103	Yes	78 €	7,62
PAPERFLEX®KRAFT BRUN XIREM HS	300	6 000	0,6	20 000	Recto	Complexe barrière vapeur d'eau, arôme, uv, huiles minérales	103	Yes	69 €	6,75
PAPERFLEX®KRAFT BRUN XIREM HS	300	30 000	3,1	100 000	Recto	Complexe barrière vapeur d'eau, arôme, uv, huiles minérales	103	Yes	64 €	6,21

Eurobrillance ne facture qu'en Euro / M² (le prix au kilo est mentionné à titre indicatif)

Lieu de livraison

A définir

Remarques:

Délai de fabrication 6 à 12 semaines semaines à réception de commande

Production Livré en bobines de 300mm sur mandrin 152mm

Enroulement PEINTERBEUR

Validité de l'offre 30/03/2022
 Minimum de commande N/A
 Conditions de paiement 30 jours Net
 Conditions de livraison A définir

Your sales contact: M. Eric Macaire
 Your back office contact: Mrs. Séverine Hamann



Uniquement chez Eurobrillance

Pour réduire l'impact environnemental, nous vous proposons du film PET 10my et 8my également au même tarif au m²
 D'autres solutions sont disponibles et n'hésitez pas à contacter notre équipe commerciale

Calcul du prix de revient de l'emballage :

Dimension de l'emballage : 30 cm sur 16 cm par face → 960 cm²

78 €/1 000 000 cm²

1 000 000/960 = 1041

78/1041 = 0,07 € par sachet