

ECO - CONCEPTION D'UN BISCUIT À BASE DE DRÊCHE DE BRASSERIE ET DE FARINE DE VER (LARVE DE *Tenebrio molitor*)

Par

NZETOUPI TCHINDA Christian

*Travail de fin d'études présenté dans le cadre du Master en management de
l'innovation et conception des aliments à finalité spécialisée*

Promoteur : **Pr AYADI Mohamed**

Co-promoteur : **Pr GOFFIN Dorothée**

Année académique 2025 / 2026

« Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech. »

« Le présent document n'engage que son auteur. »

ECO - CONCEPTION D'UN BISCUIT À BASE DE DRÊCHE DE BRASSERIE ET DE FARINE DE VER (LARVE DE *Tenebrio molitor*)

Par

NZETOUPI TCHINDA Christian

*Travail de fin d'études présenté dans le cadre du Master en management de
l'innovation et conception des aliments à finalité spécialisée*

Promoteur : **Pr AYADI Mohamed**

Co-promoteur : **Pr GOFFIN Dorothée**

Année académique 2025 / 2026

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans deux unités de recherche de Gembloux Agro-Bio Tech, notamment le Smart Gastronomy Lab et le laboratoire de qualité et de sécurité des produits agroalimentaires.

Je ne saurais commencer cette rédaction sans remercier spécialement certaines personnes qui ont significativement contribué à la réalisation de ce travail de fin d'études.

Prof. Dorothée Goffin, qui a accepté de m'encadrer et de me fournir toutes les ressources nécessaires pour la formulation au sein de son laboratoire de recherche et développement, le Smart Gastronomy Lab.

Prof. Mohamed Ayadi, qui a bien voulu encadrer ce travail d'innovation pour son expertise, son suivi et l'équipement de caractérisation nutritionnelle mis à notre disposition.

Mme Nelly Potvin et M. Thomas Bertrand, pour l'écologie lors des différentes manipulations et leur disponibilité dans la réalisation et l'adaptation de mes manipulations.

Aux promotionnaires MICA, avec qui j'ai eu des échanges dans le cadre de séances de réflexion ayant contribué à l'affinage de mon projet.

Résumé

La recrudescence des maladies non transmissibles d'origine nutritionnelle constitue aujourd'hui un défi majeur de santé publique à l'échelle mondiale. Face à cette situation préoccupante, il devient impératif de repenser les habitudes alimentaires actuelles et de développer des produits alimentaires innovants, sains et nutritionnels.

Parallèlement à cette crise nutritionnelle étroitement liée à la consommation excessive d'aliments ultra-transformés, l'introduction de nouvelles sources de protéines, telles que les insectes, et la valorisation de coproduits agroalimentaires, notamment les drêches de brasserie, constituent des axes pertinents et viables d'économie circulaire, permettant de réduire l'empreinte environnementale de notre alimentation tout en améliorant sa qualité.

Dans ce contexte de crise nutritionnelle et environnementale, ce travail avait pour objectif de formuler un biscuit fonctionnel à haute valeur nutritionnelle, à base de drêches de brasserie et de farine d'insecte (*Tenebrio molitor*).

Le choix du biscuit comme matrice alimentaire a été dicté par sa large acceptabilité par les consommateurs de tous les âges, sa palatabilité et sa longue durée de conservation.

Chaque biscuit Molitor formulé contenait 10 g de farine d'insectes, avec des taux de substitution successifs de la farine de blé par la farine de drêche de 10 %, 20 % et 30 %. Les biscuits formulés ont été caractérisés à l'aide de méthodes standardisées et reconnues par l'AOAC.

La combinaison des drêches de brasserie et de la farine de *Tenebrio molitor* a permis de doubler la teneur en protéines des biscuits Molitor, laquelle est passée de $6,549 \pm 0,231$ % pour la formulation témoin à $13,849 \pm 0,055$ % pour celle incorporant 30 % de BSG.

La teneur en fibres est passée de 3,6788 % à 8,6707 %, respectivement pour la formulation témoin et celle intégrant 30 % de BSG.

La teneur en cendres a également augmenté passant de $0,74 \pm 0,01$ % pour le témoin à $1,35 \pm 0,009$ % pour la formulation intégrant 30 % de BSG.

Cette augmentation des teneurs en fibres, en protéines et cendres est attribuable à la richesse intrinsèque des drêches de brasserie et des farines de *Tenebrio molitor* en ces composés.

Sur la base des teneurs en fibres et en protéines obtenues, les biscuits Molitor peuvent prétendre à l'allégation « riche en fibres », mais aucune allégation relative aux protéines ne peut être revendiquée, conformément au règlement (CE) n° 1926 / 2006.

Le biscuit témoin est plus épais que les biscuits contenant de la farine d'insecte ; cela est probablement dû au développement du réseau de gluten, qui favorise le gonflement du produit final.

La différence totale de couleur (ΔE) est supérieure à 5, indiquant une différence de couleur clairement perceptible entre le biscuit témoin et les biscuits enrichis en drêches et en insectes. Cet assombrissement des biscuits est attribuable à la coloration naturelle des drêches de brasserie et de la farine d'insectes qui sont plus foncées que la farine de blé.

L'activité de l'eau de tous les biscuits se situe autour de 0,15 ; cela confirme la longue durée de vie des biscuits, car cette valeur inhibe le développement des micro-organismes et la plupart des réactions biochimiques d'altération de l'aliment.

L'emballage primaire en contact direct avec le biscuit est du propyl ester d'Ingeo, un plastique biosourcé à base d'acide polylactique (PLA) qui possède des propriétés barrières à l'humidité et aux gaz supérieures à celles des plastiques traditionnels.

Les résultats de ce travail d'écoconception alimentaire confirment le fort potentiel nutritionnel des drêches de brasserie et des farines de *Tenebrio* pour le développement des produits alimentaires sain et durable.

Mots clés : *Tenebrio molitor*, Drêche de brasserie, Eco-conception alimentaire, Valorisation des coproduits, Biscuit nutritif, Economie circulaire.

Abstract

The resurgence of nutrition-related non-communicable diseases represents a major global public health challenge. In response to this concerning situation, it has become essential to rethink current dietary habits and to develop innovative, healthy, and nutritionally improved food products.

Alongside this nutritional crisis, which is closely linked to the excessive consumption of ultra-processed foods, the introduction of new protein sources such as insects, combined with the valorization of agri-food by-products, particularly brewer's spent grains, represents relevant and viable circular economy strategies. These approaches contribute to reducing the environmental footprint of our diet while improving its nutritional quality.

Within this nutritional and environmental context, the objective of this work was to formulate a functional biscuit with high nutritional value based on brewer's spent grains and insect flour (*Tenebrio molitor*). The choice of a biscuit as the food matrix was guided by its wide consumer acceptability across all age groups, its palatability, and its long shelf life.

Each formulated Molitor biscuit contained 10 g of insect flour, with successive substitution rates of wheat flour by spent grain flour of 10%, 20%, and 30%. The biscuits were characterized using standardized and AOAC-recognized analytical methods.

The combination of brewer's spent grains and *Tenebrio molitor* flour doubled the protein content of the Molitor biscuits, increasing from $6.549 \pm 0.231\%$ in the control formulation to $13.849 \pm 0.055\%$ in the 30% BSG formulation. Fiber content increased from 3.6788% to 8.6707%, respectively, while ash content rose from $0.74 \pm 0.01\%$ to $1.35 \pm 0.009\%$. This increase in fiber, protein, and mineral content is attributed to the intrinsic richness of brewer's spent grains and insect flour.

Based on the measured fiber and protein contents, the Molitor biscuits qualify for the "high in fiber" claim, although no protein-related claim can be made in accordance with Regulation (EC) No° 1926/2006.

The control biscuit was thicker than the insect-enriched formulations, likely due to greater gluten network development promoting product expansion.

The total color difference ($\Delta E > 5$) indicates a clearly perceptible visual difference between the control and enriched biscuits, attributable to the naturally darker color of spent grains and insect flour compared to wheat flour.

The water activity of all biscuits was approximately 0.15, confirming extended shelf stability since this value inhibits microbial growth and most biochemical spoilage reactions.

The primary packaging in direct contact with the biscuit consisted of Ingeo propyl ester, a bio-based plastic derived from polylactic acid (PLA), offering superior moisture and gas barrier properties compared to conventional plastics.

The results of this eco-design approach confirm the strong nutritional potential of brewer's spent grains and *Tenebrio molitor* flour for the development of healthy and sustainable food products.

Keys words: *Tenebrio molitor*, Brewer's spent grains, Food eco-design, Nutritious biscuit, By product valorization, Circular economy.

Table de matières

Remerciements	4
Résumé	5
Abstract.....	7
Liste des abréviations.....	13
Liste des tableaux	14
Liste des figures.....	15
Introduction.....	17
Chapitre I : Revue bibliographique	20
I- Les drêches de brasserie.....	20
1.1- Origine des drêches.....	20
1.1.1- Maltage de l'orge.....	22
1.1.2- Brassage	23
1.2- Production mondiale et caractéristiques physico chimiques des drêches.....	24
1.2.1- <i>Production mondiale de drêche</i>	24
1.2.2- Composition chimique des drêches de brasseries	26
1.2.2.1- Les protéines.....	26
1.2.2.2- Les hydrates de carbones et les fibres	27
1.2.2.3- Composés phénoliques	28
1.2.2.4- Les minéraux et vitamines	28
1.2.2.5- Les lipides et autres	29
1.3- Conservation des drêches de brasserie.....	30
II- Généralités sur les insectes	31
2.1- Entomophagie	31
2.2- Répartition des principales espèces d'insectes comestibles.....	32
2.3- Les insectes autorisés en Europe.....	33
2.3.1- Cas spécifiques des larves de <i>Tenebrio molitor</i>	35
2.4- Enjeux et intérêt de la consommation des insectes.....	36
2.4.1- Enjeux nutritionnels	36
2.4.1.1- Les protéines.....	36
2.4.1.2- Lipides	37
2.4.1.3- Les Fibres alimentaires	38
2.4.2- Enjeux environnementaux de l'entomophagie	39
2.5- Acceptation culturelle de la consommation d'insectes en Europe.	42

III- Généralités sur les biscuits.....	43
3.1- Composition du biscuit et rôles technologiques des différents ingrédients	43
3.1.1- La farine de blé tendre.....	44
3.1.2- Sucre.....	46
3.1.3- La matière grasse	47
3.1.4- L'eau.....	48
3.1.5- Les agents levants.....	48
3.2- Etapes de fabrication du biscuit	48
3.2.1- Mélange des matières premières.....	49
3.2.2- Façonnage	50
3.2.3- Cuisson.....	51
3.2.4- Refroidissement	52
Chapitre II- Stratégie marketing	53
Motivation du choix des biscuits comme innovation alimentaire dans un contexte de consommation responsable.....	53
1- Population cible.....	54
2- Autres segments de marché cibles	55
3- Matrice PESTEL	56
4- Analyse de la concurrence.....	57
4.1- Concurrences directes.....	58
4.2- Concurrences indirectes	60
5- Enquêtes qualitatives	61
6- Personas	62
7- Analyse SWOT	65
8- Business model Canvas du biscuit à base de drêche supplémenté au <i>Tenebrio molitor</i>	67
9 – Enquêtes qualitatives	68
(Sciensano : Statut pondéral et troubles du comportement alimentaire : Surpoids et obésité (IMC), Enquête de Consommation alimentaire 2022-2023, juin 2024, Bruxelles, Belgique).....	70
10-INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS DE L'ENQUETE MARKETING.....	72
10.1- Informations générales sur la population.....	72
10.2- Habitudes alimentaires	73
10.3- Influence de la composante environnementale sur le choix des aliments.....	76
10.4- Perception des nouveaux aliments	78
10.5- Position hédonique de l'échantillon vis-à-vis du biscuit Molitor (drêche + farine d'insecte : <i>Tenebrio molitor</i>)	80
Conclusion marketing	81

Chapitre III- Cahier de charges du biscuit Molitor	82
1- Santé.....	82
2- Sécurité.....	83
3- Satisfaction	87
3.1- Texture.....	87
3.2- Couleur.....	88
3.4- Forme.....	89
4- Sociétal.....	89
5- Service.....	90
6- Formulation de base pour le biscuit.....	91
7- Démarche d'optimisation de la formulation	92
8- Recapitulatif du plan haccp	96
Chapitre IV- Matériels et méthodes.....	100
I- Matériels	100
II- Méthodes	102
1- Préparation des biscuits.....	102
2- Caractérisation nutritionnelle du biscuit.....	104
3- Détermination des propriétés physiques	110
Chapitre V- Résultats et discussions	112
1- Images des différents biscuits formulés	112
2- Séchage des drêches et compositions nutritionnelles	113
3- Caractéristiques physiques des différentes formulations	116
4- Dureté, consistance et fracturabilité	117
5- Couleur	118
6- Activité de l'eau	119
7- Composition proximale des biscuits en pourcentage de masse brute.....	121
8- Apport énergétique et allégations nutritionnelles	123
9- Perspectives	124
Introduction.....	125
1- Matériaux d'emballage utilisés en biscuiterie.....	126
1.1- Polyéthylène.....	127
1.2- Le polypropylène (PP)	128
1.3- Les emballages biosourcés	129
2- Prototype de notre emballage.....	131
2.1- Emballage primaire	131

2.1.1-	Sachet en biopolyester : acide polylactique (PLA).....	131
2.1.2-	Boîte en carton recyclé	133
2.1.2.1-	Nuage de mot et mood bord du packaging	133
2.1.2.2-	Mood board.....	133
2.2-	Emballage secondaire	137
2.3-	Emballage tertiaire	137
3-	Emballage finale du biscuit Molitor et ligne de production industrielle.....	138
4-	Ligne de production industrielle	143
5-	Circuit de distribution et communication.....	150
6-	Estimation du prix du biscuit Molitor.....	151
Conclusion.....		155
Références bibliographiques.....		156
Annexes		169

Liste des abréviations

MCDA : matériaux et objets destinés à entrer en contact avec les denrées alimentaires

ADEME : agence de la transition écologique

Cm : centimètre

PE : polyéthylène

PEBD : polyéthylène base densité

PEHD : polyéthylène haute densité

ACV : analyse du cycle de vie

m : mètre

BSG : drêches de brasserie

PHA : polyhydroxyalcanoate

°C : degré Celcius

PDCAAS : protein digestibility corrected amino acid score

DIAAS : digestible indispensable amino acid score

% : pourcentage

g : gramme

MS: matière sèche

LDL : low density lipoprotein

Kg : kilogramme

EFSA : autorité européenne de sécurité des aliments

SWOT : Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats

Liste des tableaux

Tableau 1: Concurrents directs.....	58
Tableau 2: Concurrents indirects.....	60
Tableau 3: Effectifs des personnes âgées de 18 à 64 ans dans les différentes régions en Belgique.....	69
Tableau 4: Les principales toxines susceptibles d’être rencontrées dans les céréales et leur dose maximale acceptable	84
Tableau 5: Les principaux micro-organismes susceptibles d’être rencontrés dans la farine de Tenebrio molitor.....	85
Tableau 6: Contaminants chimiques susceptibles d'être trouvés dans la farine de Tenebrio molitor	86
Tableau 7: Teneurs des différents ingrédients d’un biscuit semi sucré (Cauvain et Young, 2006).....	91
Tableau 8: Plan d'expérience	103
Tableau 9: Composition de la farine de drêche de la brasserie Gembloux beer.....	113
Tableau 10: Fiche produit de la farine de drêche Nextgrain	115
Tableau 11: Caractéristiques physiques des différents biscuits	116
Tableau 12: Dureté, consistance et fracturabilité des biscuits formulés	117
Tableau 13: Couleur des biscuits selon le système CIE (L^* , a^* , b^*).....	118
Tableau 14: activité de l'eau des biscuits	119
Tableau 15: Composition proximale des différents biscuits formulés	121
Tableau 16: Apport énergétique des biscuits	123
Tableau 17: Informations devant figurer sur la face principale	134
Tableau 18: Informations devant figurer sur la face 2	135
Tableau 19: Informations devant figurer sur la face 3	136
Tableau 21: Informations devant figurer sur la face 4.....	136

Liste des figures

Figure 1 : Diagramme de fabrication de la bière (adapté de Brasseurs Belges, 2007 ;Blecker,2020).....	21
Figure 2: Anatomie et composition du grain d'orge (Clergt, 2011).....	22
Figure 3: Maltage de l'orge (Z. Cherifi, 2018)	23
Figure 4: Etapes du brassage brassicole (Z. Cherifi, 2018)	24
Figure 5: Composition proximale des drêches, de l'orge non maltée, du blé, de l'avoine, du pois, du soja et de la féverole (Nyhan et al., 2023).	25
Figure 6 : Composition minérale des drêches de brasserie : matière sèche (Meneses et al., 2013)	29
Figure 7: aperçu de la production d'insectes, y compris la classification et le cycle de vie général (Hawkey et al., 2021). 32	32
Figure 8: Nombre d'espèces d'insectes comestibles enregistrées par pays	32
Figure 9: Nombre d'espèces d'insectes, par ordre, consommées dans le monde.....	33
Figure 10: Cycle de vie du ténébrion meunier (Tenebrio molitor). A Œufs ; barre d'échelle 500 µm, B Larve, C Nymphe, D Adulte (Linggawastu Syahrulawal et al., 2023)	35
Figure 11: Fatty acids content of edible insects (g/100 g edible portion) (Orkusz, 2021).....	38
Figure 12: : Composition des nutriments, minéraux et vitamines de six espèces d'insectes comestibles (Jantzen da Silva Lucas et al., 2020)	39
Figure 13: Environmental impact of mealworms compared to other animal products.....	40
Figure 14: Environmental impact of mealworms compared to other animal products.....	41
Figure 15: Liaisons α -(1,4) et α -(1,6) reliant les monomères de glucose dans l'amidon (d'après Robin, J.P. et al., 1974) ..	44
Figure 16: Représentation schématique de la structure du granule de l'amidon (Jenkins et al., 1996).....	45
Figure 17: Structure du saccharose	46
Figure 18: Schéma simplifié de la réaction de Maillard (Lund et Ray, 2017).	47
Figure 19: Diagramme de fabrication d'un biscuit sec	49
Figure 20: : Principes de formage des biscuits par laminage et découpe à l'emporte-pièce (a), rotative (b) et dresseuse coupe-fil (c). Reproduit d'après Manley, D. 2011a ; Miller, R. 2016. (Roze, 2020).	51
Figure 21: Développement de la structure des biscuits au cours des différentes étapes de cuisson, associée aux transitions physico-chimiques (Van der Sman et Renzetti, 2019).....	52
Figure 22: Analyse de la taille et de la part du marché des biscuits – Tendances de croissance et prévisions (2024-2029).	53
Figure 23: Sciensano : Enquête de consommation alimentaire 2022-2023 : Statut pondéral et comportements liés au poids dans la population belge, Bruxelles, Belgique	54
Figure 24: Analyse de la taille et de la part du marché des insectes comestibles – Tendances de croissance et prévisions (2024-2029)	55
Figure 25: La matrice PESTEL associée à notre innovation alimentaire (biscuit Molitor)	56
Figure 26: Matrice SWOT	66
Figure 27: Matrice SWOT.....	66
Figure 28: Business model Canvas du biscuit à base de drêche supplémenté au Tenebrio molitor.....	67
Figure 29: Proportion de la population belge âgée de 3 ans et plus en situation de surpoids (obésité incluse), selon l'âge et le sexe, Belgique : 2022-2023.....	70
Figure 30: Taux relatif des principaux agents de dégradation des matrices organiques en fonction de l'AW (Baldet et al., 2012).	86
Figure 31: Espace colorimétrique défini par la commission internationale d'éclairage $L^*a^*b^*$	88
Figure 32: Diagramme de fabrication avec les principales CCP.....	97
Figure 33: diagramme de fabrication du biscuit Molitor	102
Figure 34: Extraction de matières grasses au soxtherm (a).....	105

Figure 35: Four à moufle.....	107
Figure 36:Aqualab Decagon.....	109
Figure 37:colorimètre Hunter's Lab.....	110
Figure 38: Les sept domaines d'action de l'économie circulaire (ADEME, 2015).	126
Figure 39: Factors influencing shelf life of food. (Galić et al. 2009).	127
Figure 40: Différente variante du poléthylène	128
Figure 41: Estimation de la production mondiale de bioplastiques par type de matériaux en 2021 (Nova institute, 2021).	129
Figure 42: classification des bioplastiques (Lapointe, 2012)	130
Figure 43: Propyl ester d'Ingeo.....	132
Figure 44: Mood baord	133
Figure 45: Nuage de mot	134
Figure 46: Euro palette	137
Figure 47: Emballage primaire	138
Figure 49: Différentes face de notre emballage primaire avec les informations requises par le règlement INCO	140
Figure 50: Emballage secondaire	141
Figure 51: Emballage tertiaire	142
Figure 52: Silos composite en plastique renforcer par des fibres de verre de M.I.P group	143
Figure 53: Station de dosage des micro ingrédients Gashor	144
Figure 54: Mélangeurs planétaires ULTIMIX	145
Figure 55: Moulder rotatif	146
Figure 56: Four tunnel de cuisson de biscuits à gaz électrique 380 v	146
Figure 57: Convoyeur refroidisseur BFR Systems	147
Figure 58: Chargeur de pile de biscuit BFR systems	148
Figure 59: Flow-pack horizontale.....	148
Figure 60: Encaisseuse wrap caisse fermée.....	149
Figure 61: Palettiseur et banderoleuse	150

Introduction

L'augmentation préoccupante du surpoids et de l'obésité constitue aujourd'hui un défi majeur de santé publique à l'échelle mondiale. Classées au cinquième rang des principales causes de décès dans le monde, ces pathologies touchent environ 2,5 milliards d'adultes âgés de plus de 18 ans (OMS, 2022).

Selon un rapport de l'organisation mondiale de la santé publié en 2022 sur l'Europe, 59% des adultes et un enfant sur trois ont un indice de masse corporelle supérieur à $24,9 \text{ kg/m}^2$ (OMS, 2022). En Belgique, cette statistique a été confirmée par une enquête menée par le *health interview survey* sur des mesures objectives des IMC dévoilant aussi une prévalence d'obésité plus élevée chez les femmes que chez les hommes (ISP, 2020). La recrudescence de ces anomalies a d'énormes répercussions économiques et sociales (Van Hout et al., 2004). Dans ce contexte de crise nutritionnelle, il devient impératif de repenser nos habitudes alimentaires et de développer des solutions novatrices qui répondent efficacement à nos besoins.

Le surpoids et l'obésité constituent des facteurs de risque majeurs pour de nombreuses maladies chroniques. Ces anomalies pondérales sont évaluées à l'aide de la mesure anthropométrique de l'indice de masse corporelle (IMC) (Hu et al., 2017).

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 2000), les individus dont l'IMC se situe entre 25 et $29,9 \text{ kg/m}^2$ sont considérés comme en surpoids, tandis que ceux avec un IMC supérieur ou égal à 30 kg/m^2 sont classés comme obèses.

Les maladies nutritionnelles non transmissibles résultent principalement d'un mode de vie caractérisé par la sédentarité, le manque d'activité physique, ainsi que des habitudes alimentaires inappropriées (Hu et al., 2017).

En effet, la surconsommation d'aliments riches en calories vides (c'est-à-dire contenant des quantités élevées d'acides gras saturés ou trans, de sucres ou de sel) augmente de manière significative les risques de développer des maladies cardiovasculaires, de l'hypertension, des cancers et le diabète de type II (Srouf et al., 2019 ; Beslay et al., 2020). La consommation excessive de ces aliments dits ultra-transformés entraîne un déséquilibre énergétique, ce qui provoque une accumulation anormale et excessive de graisse dans les tissus adipeux.

Corriger ce déséquilibre pondéral nécessite un traitement hygiéno-diététique. Celui-ci implique la consommation d'aliments riches en fibres, en protéines, en minéraux et en antioxydants.

Une consommation adéquate de ces macro et micronutriments contribue non seulement à renforcer le système immunitaire (Marcos et al., 2003), mais également à garantir la sécurité alimentaire.

Conscientes de l'impact de leur alimentation sur leur santé, les populations accordent aujourd'hui une attention particulière à ce qu'elles consomment. Cette prise de conscience incite les industriels à développer des aliments qui ne sont plus uniquement palatables, mais également nourrissants (Rana et al., 2020).

Cependant, les défis de durabilité liés à la production de matières premières céréalières et de protéines conventionnelles nous obligent à nous tourner vers de nouvelles sources d'acides aminés plus écologiques, telles que les insectes. Par ailleurs, les circuits de valorisation des sous-produits tels que les drêches offrent des résultats prometteurs (Ordoñez-Araque et al., 2021). Cette dynamique de durabilité vise à atténuer les pressions anthropiques sur les grandeurs environnementales, dont plusieurs ont des limites d'exploitation déjà dépassées (Raworth, 2017). Dans l'optique de freiner la progression de ces "crises" nutritionnelles et environnementales, nous nous sommes fixés pour objectif de formuler un biscuit sec à base de drêche de brasserie et de farine de *Tenebrio molitor*, avec une excellente composition nutritionnelle, sans toutefois sacrifier la composante organoleptique et l'environnement.

Le choix d'incorporer ce coproduit et ce novel food dans un biscuit n'est pas le fruit du hasard. En effet, cet aliment, accepté par une large majorité de la population, indépendamment de l'âge, est palatable, il possède une longue durée de conservation et présente un coût relativement faible (Irrondi et al., 2021 ; Kumar et al., 2019). De plus, il peut être consommé sous diverses saveurs et à tout moment de la journée.

Ce biscuit, baptisé Molitor, verra ses cinq composantes de la qualité optimisées.

Le choix des matrices s'est basé sur une exploration documentaire approfondie et méticuleuse ayant mis en lumière la grande disponibilité des drêches. Ces dernières se distinguent par leur richesse en fibres alimentaires qui facilitent le transit intestinal et jouent le rôle de prébiotiques ; en protéines dont les acides aminés sont essentiels ; en composés phénoliques tels que les acides hydroxycinnamiques qui ont des propriétés antioxydantes, et en minéraux (Mussatto et al., 2006, Nyhan et al., 2023).

Par ailleurs, la substitution de la farine de blé par la farine de drêches permet de réduire la réponse glycémique liée au biscuit (Shi et al., 2023). Cette approche favoriserait l'inclusion du biscuit dans des régimes alimentaires destinés aux personnes cherchant à contrôler leur glycémie.

Les larves de *Tenebrio molitor*, quant à elles, sont riches en protéines contenant tous les acides aminés essentiels (Orkusz, 2021), en acides gras essentiels oméga-3 et oméga-6, ainsi qu'en vitamine B12 (Youn et al., 2014 ; Parodi et al., 2018).

Malgré les variations de composition dues aux conditions d'élevage, à l'espèce et au stade de développement, les insectes représentent des ingrédients à fort potentiels pour des applications industrielles saines et durables (Machado, 2019).

La farine de *Tenebrio molitor* aide à réduire les déséquilibres lipidiques et possède des effets bénéfiques sur les maladies métaboliques (Caldas et al., 2023).

L'emballage éco-conçu sera composé de plastique biosourcé (acide polylactique) modifié chimiquement pour lui conférer des propriétés similaires à celles du plastique conventionnel, ainsi que de carton recyclé. Ce choix permettra de réduire l'empreinte environnementale de l'emballage et de limiter la dépendance au plastique conventionnel fabriqué à partir d'énergie fossiles. Il devra garantir la stabilité physique, chimique et microbiologique du produit tout au long de sa durée de vie, tout en véhiculant les valeurs de la marque : une alimentation saine et durable.

Pour garantir l'acceptation gustative et la satisfaction nutritionnelle de notre clientèle cible, il est impératif de mener une étude de marché qualitative, qui sera affinée et validée statistiquement par une étude quantitative. L'objectif est de créer une proposition de valeur répondant aux besoins implicites et explicites de notre cible marketing.

Ce travail de conception alimentaire axé nutrition et durabilité, s'inscrit à la croisée de la valorisation des sous-produits et de l'innovation alimentaire, en vue de promouvoir une alimentation saine et responsable.

Chapitre I : Revue bibliographique

I- Les drêches de brasserie

1.1- Origine des drêches

La drêche constitue le principal sous-produit de l'industrie brassicole, représentant environ 85 % du total des sous-produits générés par les brasseries (Puligundla et al., 2021). Les principaux ingrédients de la bière sont l'eau, la levure, l'orge et le houblon (Jackowski et al., 2020).

L'orge brassicole appartient à l'espèce *Hordeum vulgare* L. ; c'est une céréale de la famille des graminées *Poaceae* (Kok et al., 2019). Quatrième céréale la plus consommée au monde après le blé, le maïs et le riz, elle est principalement utilisée comme matière première pour produire de la bière. Cette prédominance dans l'industrie brassicole découle de sa richesse en protéines, responsable de la mousse, ainsi que de sa teneur élevée en enzymes hydrolytiques, indispensables à la production de sucres fermentescibles pendant la fabrication de la bière (Kendal, 1994 ; Mussatto et al., 2006).

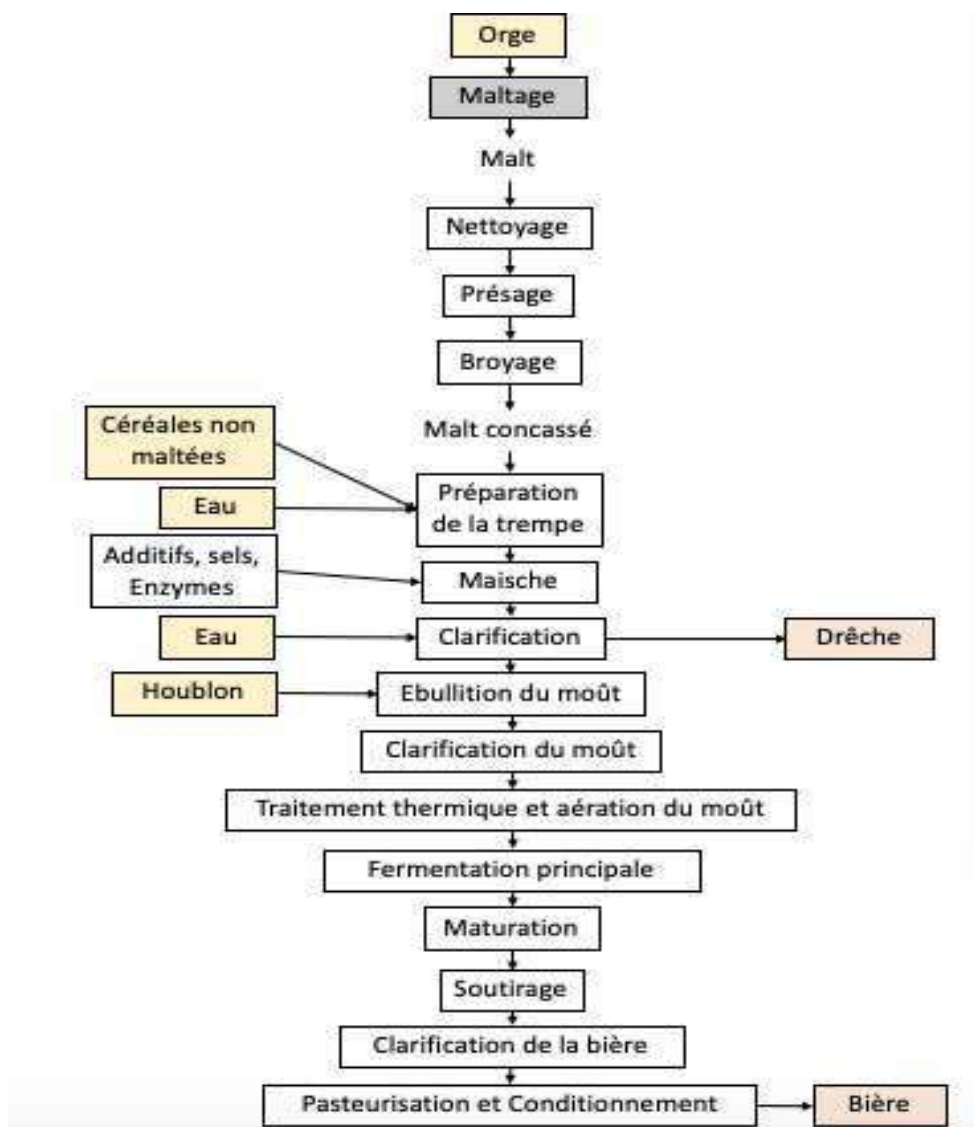


Figure 1 : Diagramme de fabrication de la bière (adapté de Brasseurs Belges, 2007 ;Blecker,2020)

Le grain d'orge est recouvert d'une couche externe composée de glumelles, d'aleurone et du péricarpe. Les glucides les plus représentés dans cette enveloppe externe sont la cellulose (20 %), l'hémicellulose (30-45 %) et la lignine (10-20 %) (Fanelli et al., 2023).

Ce sont ces constituants non fermentescibles qui se retrouvent principalement dans la drêche après la filtration du moût. Les quantités d'amidon sont négligeables, car il est utilisé par les levures pour produire de l'alcool (Mussatto et al., 2006).

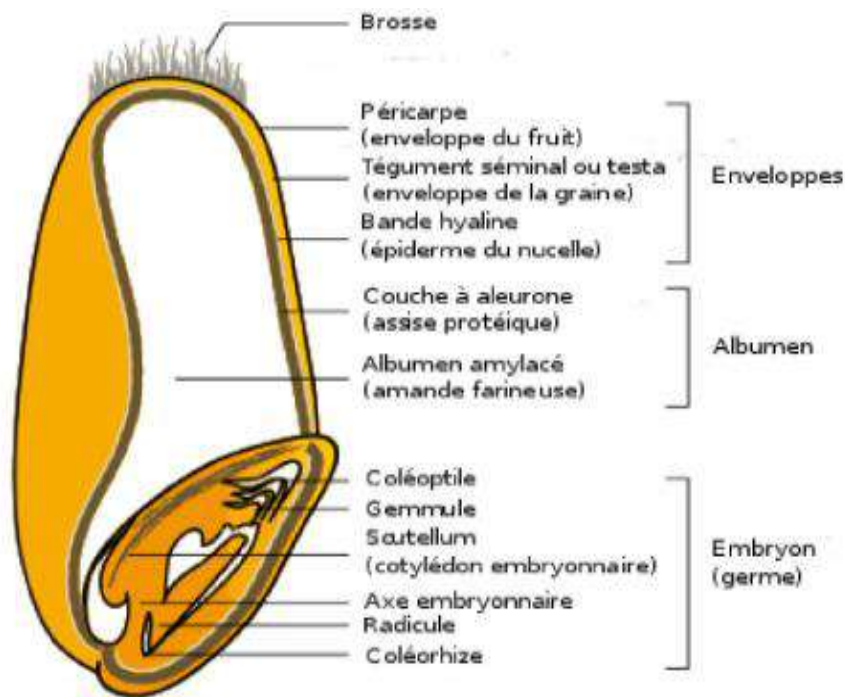


Figure 2: Anatomie et composition du grain d'orge (Clergt, 2011)

1.1.1- Maltage de l'orge

Les drêches sont obtenues après la transformation de l'orge en malt. Ce processus se divise en trois étapes : le trempage, une germination contrôlée et, enfin, le touraillage. L'objectif est la production d'enzymes hydrolytiques, parmi lesquelles les amylases, qui vont dégrader l'albumen pour libérer des sucres fermentescibles indispensables à l'activité des levures lors du brassage (Heusé et al., 2017).

La phase de trempage se caractérise par une augmentation de l'humidité du grain (réhydratation). La capacité d'absorption d'eau des grains immergés varie en fonction de la variété d'orge, de la durée et de la température du trempage. C'est au cours de cette étape que les enzymes essentielles à l'initiation de la germination sont synthétisées (Hariri, 2003).

La germination, quant à elle, constitue l'étape durant laquelle les facteurs de croissance, à savoir les acides gibbérelliques et l'eau, vont induire respectivement la synthèse accrue et le transport des enzymes (amylases et protéases) synthétisées au niveau de la couche d'aleurone et du scutellum, vers l'endosperme, lieu de stockage de l'amidon (Jin et al., 2014).

Dans l'optique d'interrompre les activités métaboliques au sein des grains d'orge et d'accroître leur conservabilité, le malt vert est séché à l'aide d'un courant d'air chaud, réduisant ainsi son humidité d'environ 45 % à 5 % (Mussatto et al., 2006).

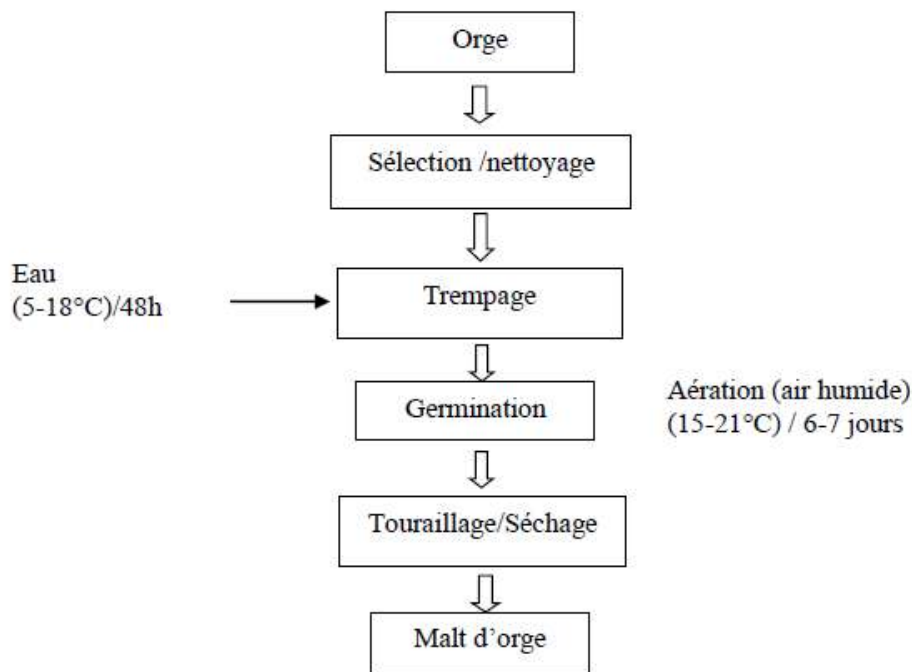


Figure 3: Maltage de l'orge (Z. Cherifi, 2018)

1.1.2- Brassage

Le malt moulu, dans le but de faciliter l'extraction des sucres, est mélangé avec de l'eau chaude (environ 65°C) pour activer les enzymes synthétisées lors du maltage. La température élevée permet simultanément la gélatinisation de l'amidon et une activité optimale des hydrolases, favorisant la libération de sucres fermentescibles. L'utilisation des paliers de température permet d'accentuer l'activité spécifique de certaines enzymes pendant l'empâtage (Kok et al., 2019). La filtration de la maïsche obtenue donne une fraction liquide, le moût, qui sera utilisée pour la fermentation, tandis que la fraction solide constitue la drêche.

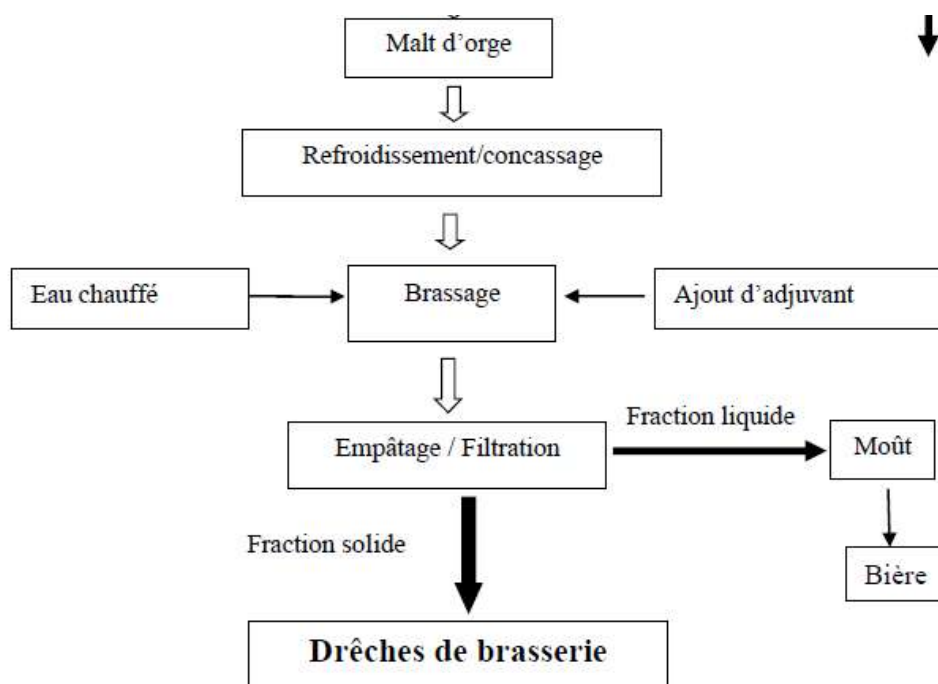


Figure 4: Etapes du brassage brassicole (Z. Cherifi, 2018)

1.2- Production mondiale et caractéristiques physico chimiques des drêches

1.2.1- Production mondiale de drêche

En 2022, la production mondiale de bière s'élevait à environ 1,89 milliard d'hectolitres (Statista, 2024). Sachant qu'un hectolitre de bière produit environ 20 kg de drêche humide (Lynch et al., 2016 ; Chetrariu et al., 2020), cela équivaut à une production totale de 37,8 millions de tonnes de drêche pour l'année 2022.

Les drêches sont formées de couches de péricarpe, des résidus d'endosperme et d'aleurone des différentes céréales utilisées lors du brassage. Ce sous-produit, résultant de la filtration du moût, possède une teneur en humidité de 80 %, un goût sucré, et une odeur de malt (Mussatto et al., 2005 ; Ikram et al., 2017).

Du fait de leur taux d'humidité élevé, les drêches sont des matrices microbiologiquement instables et fortement périssables. Les microorganismes qui s'y trouvent proviennent soit de la matière première, soit se développent au cours du maltage et/ou du brassage. De plus, leur poids rend leur transport difficile, ce qui les oriente préférentiellement vers l'alimentation animale (Bianco et al., 2020).

Malgré les défis inhérents à leur conservation et aux variations significatives de leur composition chimique attribuables aux cultivars d'orge et aux conditions de maltage, les drêches présentent toujours des concentrations élevées en fibres alimentaires, protéines, acides aminés essentiels, minéraux, polyphénols et vitamines (Fărcaș et al., 2014). Cette richesse en composés bioactifs conduit à une intégration croissante des drêches dans les formulations agroalimentaires. Cependant, cette pratique peut avoir des répercussions négatives sur les propriétés sensorielles et techno-fonctionnelles du produit final (Waters et al., 2012).

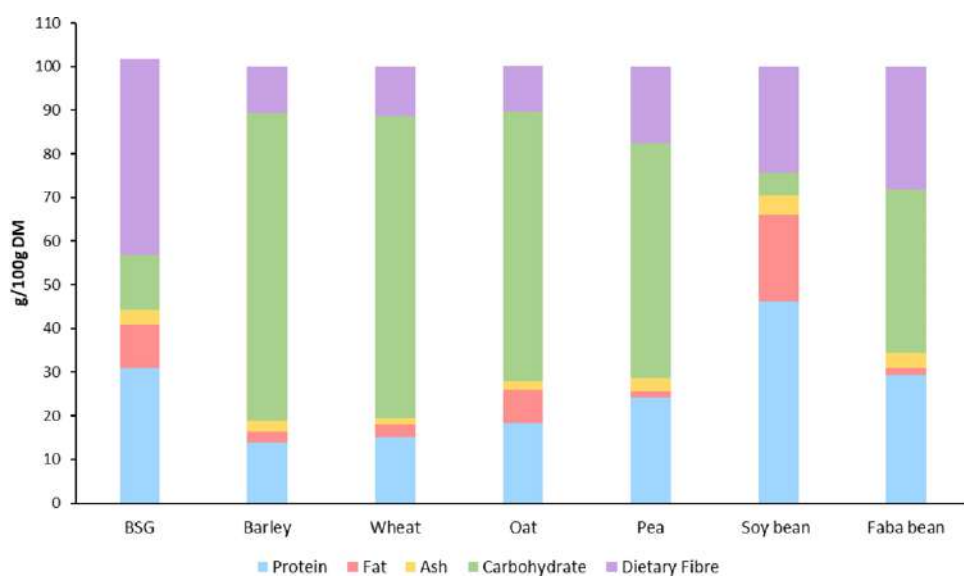


Figure 5: Composition proximale des drêches, de l'orge non maltée, du blé, de l'avoine, du pois, du soja et de la féverole (Nyhan et al., 2023).

Les drêches ne peuvent être considérées comme sous-produits valorisable en alimentation humaine que si elles répondent aux exigences de la Directive 2008/98/CE, laquelle stipule que « 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) "*

La même directive définit la valorisation comme : « *toute opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en remplaçant d'autres matières qui auraient été utilisées à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, dans l'usine ou dans l'ensemble de l'économie* »

1.2.2- Composition chimique des drêches de brasseries

La drêche de brasserie est essentiellement constituée des enveloppes externes des céréales utilisées pendant le maltage et le brassage. Celle-ci est une source de lignine, de cellulose, d'hémicellulose, de composés phénoliques et de protéines (Moreira et al., 2013).

1.2.2.1- Les protéines

Les drêches ont une concentration en protéines variant de 15 à 25 %. Les principaux groupes de polymères d'acides aminés qui composent ce matériau sont les globulines, les albumines, les gluténines et les prolamines. Les globulines et les albumines représentent environ 7,5 % des protéines totales, une proportion qui est minoritaire par rapport aux deux autres groupes, les gluténines et les prolamines (ou hordéines), qui, eux, représentent respectivement 21,5 % et 43 % des protéines des drêches.

Sur le plan nutritionnel, les protéines des drêches sont particulièrement intéressantes car elles renferment de nombreux acides aminés essentiels, notamment l'isoleucine, la méthionine, la phénylalanine, la leucine, la thréonine, le tryptophane et l'histidine (Mussatto et al., 2006 ; Bianco et al., 2020). Ces acides aminés essentiels, dont la synthèse de novo est impossible, représentent environ 30 % des acides aminés totaux des drêches (Lynch et al., 2016).

Les AAE jouent des rôles clés dans le métabolisme des protéines et la régulation de l'inflammation (Ikram et al., 2017 ; Gwin et al., 2020). Parallèlement, les aliments riches en protéines augmentent la satiété par rapport aux aliments riches en lipides ou en glucides. Cette capacité à stimuler la sécrétion de leptine par le tissu adipeux permet de réguler la masse corporelle (Vozzo et al., 2003 ; Kamali Roustae et al., 2020).

1.2.2.2- Les hydrates de carbone et les fibres

Les principaux hydrates de carbone présents dans les drêches sont les fibres. Il s'agit de glucides non amylacés qui jouent parfois le rôle de prébiotiques. Leur transformation par les probiotiques produit des acides gras volatils à chaîne courte, bénéfiques pour la santé de l'hôte. Les fibres présentes dans la drêche de brasserie sont les hémicelluloses, telles que l'arabinoxylane (20-25 g/100 g de MS), la lignine (12-28 g/100 g de MS) et la cellulose (12-25 g/100 g de MS) (Lynch et al., 2016).

Plusieurs études ont démontré l'efficacité des fibres dans la prévention de nombreuses pathologies telles que le diabète, l'obésité, la constipation, le syndrome du côlon irritable et le cancer du côlon (Anderson et al., 2009 ; Bravi et al., 2020).

À titre d'exemple, l'utilisation de l'orge germé, matrice riche en fibres, chez des patients atteints de maladies inflammatoires de l'intestin, a permis une modification favorable de la microflore, réduisant ainsi les inflammations. Cette modification se traduit par une augmentation de la production de butyrate par certaines espèces comme *Eubacterium*, *Bifidobacterium* et *Lactobacillus* (Kanauchi et al., 2003). Cet acide gras volatil à quatre atomes de carbone peut inhiber la production et la libération de la cytokine Tumor Necrosis Factor- α (TNF- α), contribuant ainsi à des effets anti-inflammatoires (Faghfoori et al., 2001).

En outre, l'incorporation des drêches de brasserie dans diverses formulations alimentaires, notamment des gressins extrudés, des pâtes ou du pain, a été associée à une augmentation significative du taux d'antioxydants bioactifs et de fibres, telles que l'arabinoxylane et les bêta-glucanes. De plus, cette intégration aurait permis de réduire l'indice glycémique des produits finis (Reis et Abu-Ghannam, 2014 ; Neylon et al., 2021).

Les drêches contiennent également des sucres, mais en faible quantité comparativement aux fibres. Il s'agit, entre autres, du xylose, de l'arabinose, du mannose, du glucose et du galactose (Vietor et al., 1993 ; Mussatto et al., 2006).

1.2.2.3- Composés phénoliques

Les drêches de brasserie sont riches en composés phénoliques, principalement les acides hydroxycinnamiques tels que l'acide férulique, coumarique, sinapique et caféique. Ces molécules bioactives dérivées du phénol se retrouvent naturellement dans les plantes et possèdent de nombreuses propriétés bénéfiques pour la santé. Elles jouent un rôle dans la protection contre certains cancers en empêchant les altérations de l'ADN, ainsi que dans la prévention des maladies chroniques telles que le diabète de type II et l'obésité (Barbosa-Pereira et al., 2013).

Outre les effets susmentionnés, ces composés phénoliques ont la capacité de piéger les radicaux libres de manière proportionnelle à l'alpha-tocophérol (vitamine E) et l'acide ascorbique (vitamine C) (McCarthy et al., 2012). De plus, ils possèdent des propriétés anti-inflammatoires et anti-athérogènes (McCarthy et al., 2013).

Une étude menée par Moreira et al. a montré que les drêches claires, issues d'un touraillage à des températures inférieures à 160 °C, avaient des teneurs en composés phénoliques totaux supérieures à celle des drêches foncées (Moreira et al., 2013). D'où l'usage d'une drêche claire pour notre formulation.

1.2.2.4- Les minéraux et vitamines

Les minéraux sont des composés inorganiques requis en infime quantité par notre organisme. Dépourvus de calories, ces composés sont apportés par notre alimentation, car leur synthèse endogène est impossible. Ils jouent des rôles clés dans de nombreuses voies métaboliques et immunitaires (Weyh et al., 2022).

Une carence en micronutriments est à l'origine de la "faim cachée", phénomène en pleine expansion dans le monde entier, aussi bien dans les pays développés que dans ceux en voie de développement (FAO, 2014).

Les drêches de brasserie contiennent de nombreux minéraux, parmi lesquels le phosphore, le calcium, le soufre et le magnésium.

Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des minéraux contenus dans le principal sous-produit de brasserie.

Minerals	Concentration (mg/kg) ^a
Phosphorus	6000 ± 0.00
Calcium	3600 ± 0.00
Sulfur	2900 ± 0.00
Magnesium	1900 ± 0.00
Potassium	600 ± 0.00
Iron	154.90 ± 0.60
Sodium	137.10 ± 6.10
Manganese	40.90 ± 0.90
Zinc	82.10 ± 0.60
Aluminum	81.20 ± 2.20
Cobalt	17.77 ± 0.22
Copper	11.40 ± 0.50
Iodine	11.00 ± 0.72
Strontium	10.36 ± 0.00
Barium	8.62 ± 0.00
Boron	3.20 ± 0.80
Molybdenum	1.35 ± 0.34
Lead	<1.60
Selenium	<1.60
Gallium	<1.47
Tin	<1.30
Chromium	<0.54
Nickel	<0.54
Cadmium	<0.15

^a Values correspond to mean ± standard deviation.

Figure 6 : Composition minérale des drêches de brasserie : matière sèche (Meneses et al., 2013)

Les drêches contiennent également des vitamines hydrosolubles. Les plus abondantes sont la niacine (44 ppm), l'acide pantothénique (8,5 ppm), la riboflavine (1,5 ppm), la thiamine (0,7 ppm), la pyridoxine (0,7 ppm), l'acide folique (0,2 ppm) et la biotine (0,1 ppm). Quant aux vitamines liposolubles, la vitamine E est la plus présente. De plus, les drêches contiennent 1800 ppm de choline, une molécule fortement associée aux vitamines du groupe B en raison de son implication dans les voies métaboliques (Ikram et al., 2017 ; Chetrariu et al., 2020).

1.2.2.5- Les lipides et autres

Les drêches contiennent une faible proportion de lipides. Les principaux lipides présents dans les drêches sont les triglycérides et les phytostérols, qui ont des effets positifs sur la régulation du cholestérol sanguin (Del Río et al., 2013)

1.3- Conservation des drêches de brasserie

Les drêches sont des matrices favorables à la prolifération microbienne. En effet, après le brassage, elles contiennent environ 70 à 80 % d'eau. Outre leur forte périssabilité, les drêches sont difficiles à transporter en raison de leur poids élevé lorsqu'elles sont humides. Afin de remédier à cette propension à la détérioration, Lynch et al. recommandent de réduire cette teneur en eau à environ 10 % (Lynch et al., 2016).

Plusieurs traitements peuvent être utilisés pour prolonger la durée de conservation des drêches. Parmi ces méthodes figurent l'adjonction d'acides organiques tels que l'acide formique, acétique, lactique et benzoïque, le stockage au froid (congélateur ou réfrigérateur) ou le séchage. De toutes ces alternatives, la plus appropriée est le séchage, soit à 60 °C soit à 121 °C, car, malgré les risques de modifications de composition dus à la solubilisation des sucres et/ou des composés phénoliques, cette méthode est économiquement viable et permet une conservation prolongée des drêches (Robertson et al., 2010 ; Lynch et al., 2016).

Dans l'optique d'optimiser les coûts liés au séchage des drêches, il est recommandé de les soumettre à des filtres-presse pour réduire leur teneur en eau à des valeurs inférieures à 65 % avant le processus séchage (Mussatto et al., 2006).

Les méthodes telles que la lyophilisation et la surgélation sont très efficaces dans la préservation des propriétés de la matrice, mais elles sont énergivores et impossibles à envisager dans le cadre de la revalorisation des drêches (Lynch et al., 2016). Cependant, les travaux de Shih et al. ont montré qu'un séchage à l'air chaud à 40°C pendant 48h donnait des résultats comparables à ceux de la lyophilisation (Shih et al., 2020).

II- Généralités sur les insectes

Les insectes constituent le taxon animal le plus diversifié sur Terre, avec plus d'un million d'espèces décrites et une estimation totale d'environ 5,5 millions (Stork, 2018). Ils appartiennent à l'embranchement des arthropodes et se caractérisent principalement par un exosquelette chitineux, trois paires de pattes articulées et deux antennes (De Long, 1960). Actuellement, environ 2 000 espèces d'insectes sont considérées comme comestibles.

2.1- Entomophagie

C'est la consommation volontaire des insectes par les humains. Cette pratique remonte à l'Antiquité, notamment en Asie, en Afrique et, dans une moindre mesure, en Europe (Imathiu, 2020). Bien que délaissée par de nombreuses cultures occidentales car considérée comme primitive (Bodenheimer, 1951), la consommation d'insectes apparaît aujourd'hui comme une ressource appropriée pour répondre aux défis nutritionnels et environnementaux induits par l'augmentation de la population (environ 9 milliards de personnes d'ici 2050) et les besoins croissants en protéines d'origine animale (FAO, 2013).

En effet, les insectes sont des organismes riches en macronutriments et en micronutriments, dont la culture a peu d'impacts environnementaux négatifs comparativement aux viandes conventionnelles. Ce sont ces caractéristiques qui justifient l'intérêt croissant accordé à ces arthropodes (Ordoñez-Araque et al., 2021).

En analysant le développement post-embryonnaire, les insectes peuvent être regroupés en trois familles : les amétaboliques, qui ne subissent aucune métamorphose ; les hémimétaboliques, dont la seule transformation est l'apparition des ailes ; et enfin les holométaboliques, qui présentent trois phénotypes bien distincts : la larve, la nymphe et la forme adulte (Hawkey et al., 2021). Selon leur groupe, les formes larvaires et/ou adultes peuvent être consommées.

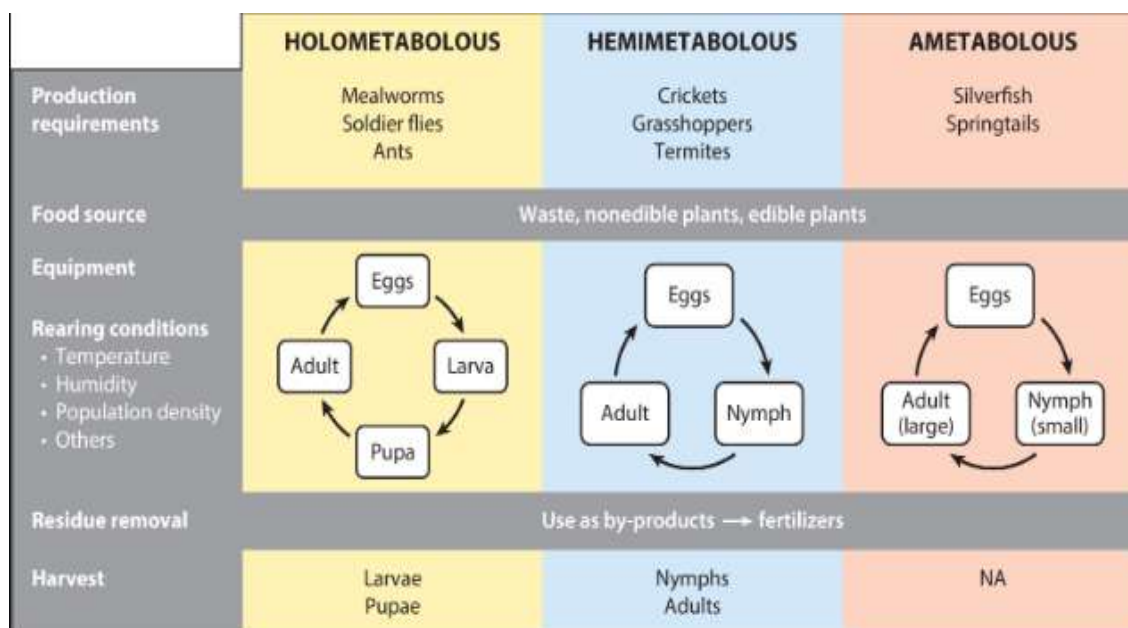


Figure 7: aperçu de la production d'insectes, y compris la classification et le cycle de vie général (Hawkey et al., 2021)

2.2- Répartition des principales espèces d'insectes comestibles

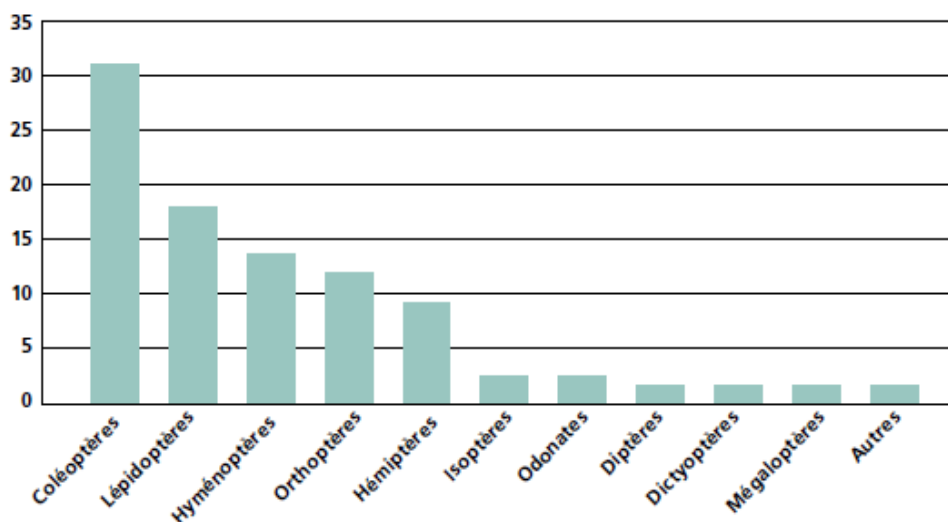
Il demeure difficile de définir avec exactitude le nombre d'insectes comestibles ainsi que leur localisation géographique, car de nombreuses espèces ne sont soit pas identifiées, soit ne possèdent pas de caractéristiques taxonomiques (nom) permettant une classification précise. Néanmoins, un recensement à l'échelle mondiale, basé sur les règles de taxonomie établies par Linné, a permis de répertorier environ 1 900 espèces comestibles (Jongema, 2012).



Figure 8: Nombre d'espèces d'insectes comestibles enregistrées par pays

Source: Centre de Géo-Information, Université de Wageningen, d'après données compilées par Jongema, 2012.

Les proportions des différentes espèces sont réparties comme suit : les coléoptères représentent 31 %, ce sont les insectes les plus consommés et constituent un groupe largement exploré. Les lépidoptères représentent 18 %, ils sont principalement constitués de chenilles, et leur consommation est très importante en Afrique subsaharienne. Les hyménoptères, qui comprennent les abeilles, les guêpes et les fourmis, représentent 18 %. Les orthoptères représentent 13 %, ce groupe est formé de sauterelles, criquets et grillons. Les hémiptères représentent 10 % et regroupent les cigales, les cochenilles, les punaises et les cicadelles. Les isoptères (termites) représentent 3 %, les odonates (libellules) 3 %, les diptères (mouches) 2 %, et enfin, les autres espèces représentent 5 % (Van Huis, 2013).



Note: nombre total = 1909. Source: Jongema, 2012.

Figure 9: Nombre d'espèces d'insectes, par ordre, consommées dans le monde

2.3- Les insectes autorisés en Europe

Contrairement aux pays en développement, la consommation d'insectes ne fait pas partie des habitudes alimentaires occidentales, car cette pratique est considérée comme primitive et est associée à des notions de saleté, de maladie et de nuisance (House, 2015). Cependant, la recrudescence des maladies nutritionnelles liées à l'alimentation, l'explosion démographique et les besoins croissants en protéines animales écologiques replacent les insectes au centre des débats et des politiques en raison de leur composition nutritionnelle et de leur durabilité. La commercialisation d'un insecte comme nouveau aliment dans l'Union européenne passe impérativement par une procédure d'approbation spécifique par l'Autorité européenne de sécurité

des aliments (EFSA). Cette démarche vise à s'assurer de l'innocuité tant sur le plan toxicologique que microbiologique des aliments destinés aux consommateurs.

Législation européenne sur les nouveaux aliments "novel food" (règlement UE 2015/2283)

Entré en vigueur en janvier 2018, le règlement UE 2015/2283 définit un nouvel aliment comme *"toute denrée alimentaire dont la consommation humaine était négligeable au sein de l'Union avant le 15 mai 1997, indépendamment de la date d'adhésion à l'Union des États membres"*.

Il est important de noter que cette définition ne s'applique pas aux aliments génétiquement modifiés (règlement (CE) n° 1829/2003), ni à certaines denrées alimentaires telles que les enzymes, les additifs, les arômes alimentaires et certains solvants d'extraction, qui relèvent respectivement des règlements (CE) n° 1332/2008, n° 1333/2008, n° 1334/2008 et de la directive 2009/32/CE.

Les insectes entrent dans le champ d'application du règlement sur les "novel food". Ils sont spécifiquement mentionnés à **l'article 3, point 2.a.V** comme suit :

"les denrées alimentaires qui se composent d'animaux ou de leurs parties, ou qui sont isolées ou produites à partir d'animaux ou de leurs parties, à l'exception des animaux obtenus par des pratiques de reproduction traditionnelles qui ont été utilisées pour la production de denrées alimentaires dans l'Union avant le 15 mai 1997, et pour autant que les denrées alimentaires provenant de ces animaux aient un historique d'utilisation sûre en tant que denrées alimentaires au sein de l'Union".

La commercialisation d'insectes ou d'aliments à base d'insectes nécessite une validation préalable par l'EFSA. En Belgique, la politique de tolérance qui préexistait a été remplacée par des mesures transitoires, conformément à l'article 35 du règlement (CE) n° 2015/2283. Cet article stipule que certains "novel food" peuvent demeurer sur le marché en attendant la confirmation de l'EFSA, à condition de remplir simultanément les deux exigences suivantes :

- * Les denrées en question étaient légalement mises sur le marché avant le 1^{er} janvier 2018.
- * Une demande d'autorisation « novel food » a été introduite au plus tard le 1^{er} janvier 2019.

Les autorisations pour ces nouveaux aliments peuvent être assorties d'un droit d'exclusivité accordé au demandeur, mais cette restriction ne s'applique que pendant cinq ans, période après laquelle elle deviendra générique.

La liste des « novel food » autorisés dans l'Union européenne, ainsi que les conditions de leur utilisation et les spécificités liées à l'étiquetage, sont reprises dans le règlement (CE) n°

2017/2470. Trois insectes y sont inclus : le *Tenebrio molitor* (ver de farine, ténébrion jaune), la *Locusta migratoria* (criquet migrateur africain) et l'*Acheta domesticus* (grillon domestique).

2.3.1- Cas spécifiques des larves de *Tenebrio molitor*

La liste des « novel food » autorisés dans l'Union européenne, ainsi que les conditions de leur utilisation, et les spécificités de l'étiquetage sont repris dans le règlement (CE) n° 2017/2470. Trois insectes y sont inclus : le *Tenebrio molitor* (ver de farine, ténébrion jaune), la *Locusta migratoria* (criquet migrateur africain) et l'*Acheta domesticus* (grillon domestique).

Autorisée sur le marché européen depuis le 22 juin 2021, la forme en poudre séchée est la propriété exclusive du groupe français SAS EAP Group, situé au 35 Boulevard du Libre-Échange, 31650 Saint-Orens-de-Gameville, France. Ce groupe détient les droits de propriété intellectuelle sur cette forme jusqu'au 22 juin 2026 (règlement UE 2021/882).

Le choix du ver de farine pour la formulation de notre biscuit s'explique par sa capacité à accumuler les substances nutritives nécessaires à la métamorphose, son cycle de développement court (Machona et al., 2024) et la simplicité de sa culture comparée à celle de la forme adulte (Van Huis, 2013).

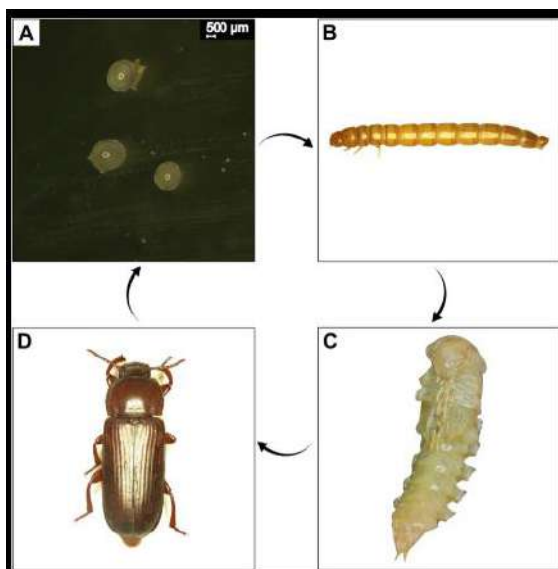


Figure 10: Cycle de vie du ténébrion meunier (*Tenebrio molitor*). A Œufs ; barre d'échelle 500 µm, B Larve, C Nymphe, D Adulte (Linggawastu Syahrulawal et al., 2023)

2.4- Enjeux et intérêt de la consommation des insectes

L'engouement de l'Organisation mondiale de la santé et des scientifiques pour l'entomophagie s'explique par les propriétés nutritionnelles des insectes et leur mode d'élevage durable. En effet, l'augmentation de la population mondiale, ainsi que la recrudescence des maladies nutritionnelles, telles que l'obésité, nous obligent à nous tourner vers des alternatives alimentaires plus saines (c'est-à-dire des aliments riches en protéines, en fibres et en acides gras insaturés) et plus respectueuses de l'environnement (c'est-à-dire une faible utilisation des terres, une réduction des émissions de gaz à effet de serre et une meilleure gestion de l'eau).

2.4.1- Enjeux nutritionnels

2.4.1.1- *Les protéines*

Ce sont des macromolécules principalement constituées d'acides aminés liés entre eux par des liaisons peptidiques. Les sources privilégiées d'acides aminés sont les protéines animales. Un apport adéquat en acides aminés est indispensable au bon fonctionnement de l'organisme et à la réalisation efficace de nombreux processus métaboliques.

Récemment, de nombreuses études ont montré que les protéines d'insectes possèdent des propriétés nutritionnelles tout aussi intéressantes que celles des protéines conventionnelles, tout en présentant l'avantage d'être plus respectueuses de l'environnement (Van Huis et al., 2013).

La teneur en protéines des insectes dépend fortement de leur alimentation, de leur stade de développement et de leur espèce. Elle varie entre 20 % et 76 % de matière sèche (Kouřimská & Adámková, 2016).

La qualité d'une protéine est déterminée par sa composition en acides aminés et sa digestibilité. En effet, certains acides aminés, dits essentiels, ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme et doivent être apportés par l'alimentation.

Deux méthodes de comparaison des protéines sont fréquemment utilisées : le PDCAAS (Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score) et le DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score).

Le PDCAAS détermine, à partir de la composition en acides aminés indispensables et de leur biodisponibilité, si une protéine consommée au niveau du besoin moyen de 0,66 g/kg/j couvre le besoin en chaque acide aminé indispensable (WHO, 2007). Cette méthode, basée sur le bilan oro-

fécal, est sujette à de nombreuses incertitudes, car elle ne distingue pas l'azote des acides aminés alimentaires absorbés dans l'intestin grêle, l'azote absorbé sous forme d'ammoniac issu de la désamination des acides aminés dans le gros intestin sous l'action des probiotiques, et l'azote provenant des sécrétions endogènes dans l'intestin (Churchward-Venne et al., 2017).

De plus, cette méthode d'évaluation de la qualité des protéines ne fournit pas d'indication précise sur la biodisponibilité individuelle des acides aminés, d'où l'intérêt du DIAAS, qui donne des informations spécifiques sur la digestibilité individuelle des acides aminés essentiels au niveau de l'iléon, principale partie du tube digestif où ces acides aminés sont absorbés (Fuller et Tomé, 2005).

Les protéines d'insectes contiennent tous les acides aminés essentiels, lesquels représentent de 46 % à 96 % des acides aminés totaux (Can Karaca et al., 2023). Ce n'est pas le cas des protéines d'origine végétale, telles que celles des céréales, qui sont pauvres en lysine, thréonine et tryptophane, tandis que les légumineuses sont limitées en méthionine.

Sur la base de la composition en acides aminés essentiels, les protéines végétales présentent un score DIAAS inférieur à 80 %, ce qui est plus bas que celui des protéines d'insectes (environ 98 %) et des protéines animales (100 % pour le bœuf, le lait et les œufs) (Churchward-Venne et al., 2017).

2.4.1.2- Lipides

Les principaux lipides alimentaires sont des triglycérides. Ce sont des molécules formées par une réaction de condensation entre les groupes hydroxyle du glycérol et les groupes carboxyle des acides gras. Ces acides gras peuvent être saturés ou insaturés, selon qu'ils possèdent ou non des doubles liaisons dans leur structure. La teneur en lipides des insectes varie de 13 % à 33 % de matière sèche, avec plus de la moitié de leurs acides gras sous forme d'acides gras monoinsaturés ou polyinsaturés (Orkusz, 2021). Ces acides gras insaturés jouent un rôle important dans les processus inflammatoires et peuvent contribuer à la prévention du syndrome métabolique, du diabète de type 2 et des maladies cardiovasculaires.

La composition en acides gras, telle que rapportée dans la revue d'Orkus, est la suivante :

	<i>Acheta domesticus</i> A [29,35,44]	<i>Acheta domesticus</i> L [43–45]	<i>Tenebrio molitor</i> L [30,35,44,45]	<i>Zophobas morio</i> L [35,43,44]	<i>Gonimbrasia belina</i> L [49]	<i>Galleria mellonella</i> L [43,44]
SFA	2.28	2.51	2.32	5.15	4.9	6.48
C 10:0	0.011	0.007	-	0.01	-	0.01
C 12:0	<0.02	0.007	<0.02	0.01	<0.1	<0.01
C 14:0	0.04	0.06	0.29	0.17	<0.1	0.04
C 15:0	<0.02	0.01	<0.02	0.04	-	<0.01
C 16:0	1.56	1.72	2.29	3.59	3.2	5.97
C 17:0	0.02	0.02	<0.02	0.075	-	0.01
C 18:0	0.58	0.65	0.39	1.15	1.7	0.41
C 20:0	0.04	0.03	0.03	0.03	<0.1	0.02
MUFA	1.694	1.77	2.51	4.46	1.7	8.35
C 14:1	0.02	-	-	0.01	-	<0.01
C 15:1	-	0.01	-	0.01	-	<0.01
C 16:1	0.09	0.09	0.35	0.14	0.1	0.40
C 17:1	<0.01	0.007	0.03	0.01	-	<0.01
C 18:1	1.54	1.64	5.39	4.28	1.6	7.90
C 20:1	0.02	0.01	-	0.02	-	0.01
C 22:1	0.014	0.007	-	0.01	-	<0.01
PUFA	2.43	4.28	5.85	5.46	5.4	1.88
C 18:2 n-6	2.29	2.07	-	2.64	1.6	1.76
C 18:3 n-3	0.06	0.35	-	0.38	3.7	0.11
C 20:3 n-6	0.02	0.01	-	0.01	-	<0.01
C 20:5 n-3	0.06	0.04	-	0.03	-	0.03
PUFA/SFA	1.07	1.70	2.52	1.06	1.10	0.28
PUFA n-3	0.12	0.39	-	0.41	3.7	0.14
PUFA n-6	2.31	2.08	-	2.65	1.6	1.77
PUFA n-6/PUFA n-3	19.25	5.33	18.44	6.46	0.43	12.64
AI	0.42	0.46	0.33	0.57	0.53	0.60
TI	0.90	0.74	0.26	0.99	0.39	1.17
h/H	2.45	2.30	3.82	1.95	2.0	1.63

A—adult insect, L—larval form.

Figure 11: Fatty acids content of edible insects (g/100 g edible portion) (Orkus, 2021)

2.4.1.3- Les Fibres alimentaires

Les insectes possèdent un exosquelette rigide composé de chitine, une macromolécule constituée d'unités monomériques de N-acétylglucosamine, liées entre elles par des liaisons β -1,4. Cette fibre alimentaire insoluble contient des atomes d'azote dans sa structure chimique, représentée par la formule $C_8H_{13}O_5N$.

Les fibres alimentaires sont des polymères glucidiques ou non glucidiques, d'origine animale ou végétale, qui ne sont pas dégradés par les enzymes endogènes du tube digestif, mais dont la fermentation par les micro-organismes du côlon produit des acides gras à chaîne courte.

Elles possèdent de nombreux effets bénéfiques, parmi lesquels l'augmentation de la production de selles, la régulation du transit intestinal, la diminution de la cholestérolémie totale et/ou du cholestérol LDL à jeun, la stimulation de la fermentation colique par les probiotiques, ainsi que la diminution de la glycémie et/ou de l'insulinémie postprandiale. Ces différentes propriétés des fibres alimentaires limitent le risque de survenue de certaines maladies nutritionnelles non transmissibles (Schlienger, 2018).

La teneur en fibres des insectes comestibles se situe généralement entre 5 % et 14 % de la matière sèche (Can Karaca et al., 2023).

En plus d'être une excellente source de macronutriments, les insectes comestibles constituent également une source intéressante de divers micronutriments, tels que le potassium, le calcium, le fer, le magnésium et le sélénium, ainsi que de vitamines hydrosolubles (telles que la riboflavine, l'acide pantothénique et la biotine) (Jantzen da Silva Lucas et al., 2020).

Ces composés inorganiques stimulent les processus métaboliques et renforcent le système immunitaire. La farine de *Tenebrio molitor*, un insecte autorisé pour l'alimentation humaine au sein de l'Union européenne, contient des quantités significatives de vitamine B12 (0,47 µg/100 g). Cette vitamine est pratiquement absente dans les végétaux (Bukkens, 2005).

		<i>Rhynchophorus phoenicis</i>	<i>Bombxy mori</i>	<i>Acheta domesticus</i>	<i>Ruspolia differens</i>	<i>Tenebrio molitor</i>	<i>Periplaneta americana</i>
Nutrients (%)	Proteins	10.3–41.7	48.7–58.0	64.4–70.7	44.3	65.6	49.43
	Fatty acids	19.5–69.8	30.1–35.0	18.5–22.8	46.2	28.2	38.07
	Fibers	2.8–25.1	2.0	–	4.9	3.0	6.53
	Ashes	2.5–5.7	4.0–8.6	3.6–5.1	2.6	2.48	2.84
Minerals (mg/100 g)	Calcium	54.1–208.0	158.0	132.2–210.0	24.5	47.18	–
	Potassium	1025.0–2206.0	–	1126.6	259.7	761.54	–
	Magnesium	33.6–131.8	207.0	80.0–1094.4	33.1	221.54	–
	Phosphor	352.0–685.0	474.0	708.0–957.8	–	697.44	–
	Sodium	44.8–52.0	–	435.1	121.0	125.38	–
	Iron	14.7–30.8	26.0	6.3–11.2	229.7	5.51	–
Vitamins (mg/100 g)	Ascorbic acid	4.2	–	9.5	0.1	36.10	23.84
	Folic acid	–	–	0.5	0.9	–	–
	Thiamine	3.4	–	0.1	–	–	–
	Riboflavin	2.2	–	11.1	1.4	–	–
	Niacin	3.4	0.9	12.6	2.4	–	–

Figure 12: : Composition des nutriments, minéraux et vitamines de six espèces d'insectes comestibles (Jantzen da Silva Lucas et al., 2020)

Source : Adapté de Rumpold et Schlüter (2012, 2013).

2.4.2- Enjeux environnementaux de l'entomophagie

L'augmentation de la population mondiale induit inéluctablement une demande croissante en protéines animales pour satisfaire la sécurité alimentaire. Cette augmentation de la production alimentaire devra accentuer les pressions sur les ressources naturelles déjà limitées, telles que les terres agricoles, l'eau et les énergies fossiles.

L'élevage du bétail a un coût environnemental énorme (production de gaz à effet de serre, déforestation, libération d'azote et de métaux lourds dans la nature), d'où la nécessité de se tourner vers des alternatives durables aux protéines conventionnelles. Des études d'analyse du cycle de vie ont montré que l'élevage d'insectes produit moins de gaz à effet de serre que l'élevage de bétail.

En effet, l'élevage du bétail libère du méthane, un gaz à effet de serre, dont le potentiel de réchauffement planétaire est environ vingt fois supérieur à celui du CO₂ (IPCC, 2007). Les insectes comestibles en Europe produisent 100 fois moins de GES que le bétail (Oonincx et al., 2010). De plus, la gestion du lisier bovin ou porcin est à l'origine de la contamination des eaux et/ou de la libération de composés chimiques toxiques dans l'environnement.

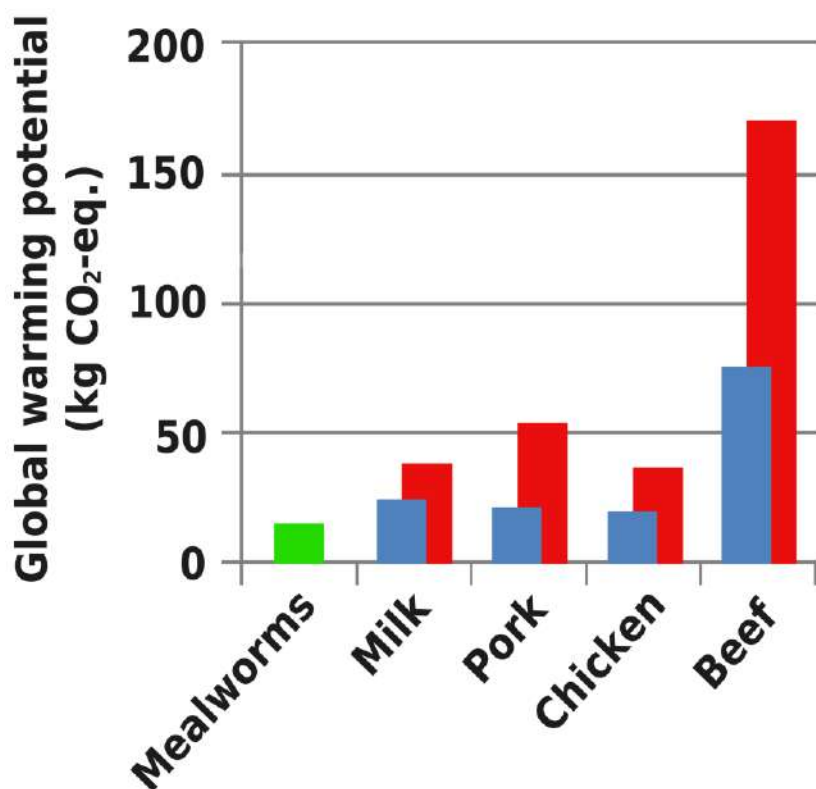


Figure 13: Environmental impact of mealworms compared to other animal products

Global warming potential due to the production of one kg of edible protein. Results from this study depicted in green. Minimum (blue) and maximum (red) literature data is adapted from de Vries & de Boer (2010).

L'élevage d'insectes nécessite beaucoup moins d'eau et d'espace que l'élevage de bétail. En effet, les terres arables figurent parmi les ressources environnementales dont les limites sont déjà dépassées. Cependant, l'augmentation de la demande en protéines animales favorise la déforestation, notamment pour créer des pâturages ou cultiver des céréales et des légumineuses destinées à l'alimentation des animaux.

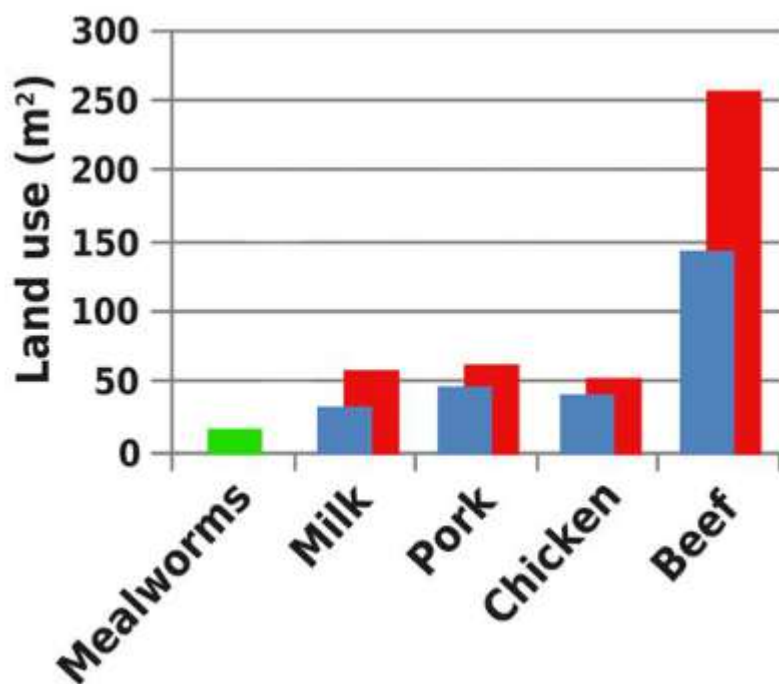


Figure 14: Environmental impact of mealworms compared to other animal products.

Land use due to the production of one kg of edible protein. Results from this study depicted in green. Minimum (blue) and maximum (red) literature data is adapted from de Vries & de Boer (2010).

De plus, les insectes peuvent être élevés sur des sous-produits (Vauterin et al., 2021) et présentent des taux de conversion alimentaire nettement supérieurs à ceux de nombreuses autres espèces animales. Par exemple, pour produire 1 kilogramme de protéines animales, il faut entre 2 et 10,5 kilogrammes de protéines végétales (Delaby et al., 2014). En comparaison, les insectes ne nécessitent qu'environ 1,7 kilogramme de protéines végétales pour produire la même quantité de protéines (FAO, 2014).

2.5- Acceptation culturelle de la consommation d'insectes en Europe.

Bien que les insectes soient une source riche en fibres et en protéines de haute qualité, ils tardent à s'imposer comme aliment dans les régimes alimentaires occidentaux. Les insectes sont souvent considérés par beaucoup comme des "bestioles nuisibles" au goût probablement "dégoûtant", ce qui explique leur absence dans les habitudes alimentaires des populations occidentales. Ils suscitent des réactions de rejet qui se manifestent par des aversions, des perceptions de danger et du dégoût. Ces réactions sont d'autant plus renforcées par le fait que la consommation des insectes représente une innovation radicale, c'est-à-dire qu'elle bouleverse ou perturbe un marché préexistant (Gallen et al., 2019).

Cependant, de nombreuses évaluations sensorielles ont démontré que le mode d'incorporation des insectes (sous forme de farine ou d'insectes débarrassés de certains membres) et leur association avec des saveurs familières, telles que le curry, le barbecue ou la vanille, faciliteraient leur acceptation par les consommateurs des pays développés (Caparros Megido et al., 2013). Des observations similaires ont été faites lors d'une étude menée sur trois ans (2019/2020, 2021/2022 et 2023/2024) auprès de la population norvégienne. Les effets bénéfiques pour la santé et l'environnement, associés à une meilleure information des consommateurs, ont été positivement corrélés à l'acceptation des insectes (Muiruri, 2024).

III- Généralités sur les biscuits

Dérivé du mot latin "panis biscotis", le biscuit était autrefois considéré comme un aliment cuit deux fois, c'est-à-dire cuit dans un four puis séché dans un second (Manley, 2011). Aujourd'hui, il est défini comme un produit de boulangerie fine ayant un taux d'humidité inférieur à 5% (Roze, 2022). Généralement constitué de farine de céréales, de sucre et de matières grasses, ce produit possède des formes et des saveurs variées (O'Brien et al., 2003).

La praticité et la longue durée de conservation des biscuits en font des produits appréciés dans le monde. De plus, ils sont moins coûteux et prêts à être consommés (Irrondi et al., 2021 ; Kumar et al., 2019). L'acceptabilité actuelle des biscuits ne dépend plus exclusivement de la satisfaction organoleptique, mais également des bienfaits nutritionnels et santé de ceux-ci, car les consommateurs sont très sensibles aux répercussions de leur alimentation sur leur santé (Ghnimi et al., 2023).

Les biscuits sont généralement classés en fonction de la fermeté de la pâte utilisée pour les fabriquer. En effet, la cohésion des différents ingrédients du biscuit peut être assurée par l'eau ou la matière grasse. Ainsi, pour des réseaux tridimensionnels assurés par l'eau, on aura des pâtes qualifiées de « dures ». Celles-ci ont des teneurs en sucre et en matière grasse 20 fois inférieures à celles de la farine (van der Sman et al., 2019).

Par contre, si la cohésion des différents constituants est assurée par la matière grasse, on obtient une pâte « semi-dure ».

Les pâtes molles, quant à elles, sont obtenues avec des formulations ayant des teneurs particulièrement élevées en matières grasses et en œufs.

3.1- Composition du biscuit et rôles technologiques des différents ingrédients

Les biscuits sont principalement constitués de trois ingrédients : la farine, le sucre et la matière grasse. Pour des raisons technologiques ou organoleptiques, d'autres ingrédients tels que les additifs et les arômes peuvent être ajoutés (Mamat et Hill, 2018). Chaque ingrédient joue un rôle spécifique dans la texture du produit final.

3.1.1- La farine de blé tendre

Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (70 – 75 %), de protéines (8 - 11 %) et d'eau (14 %). Les autres éléments, tels que les fibres et les lipides, sont présents en faible proportion, environ 2 % chacun (Goesaert et al., 2005).

L'amidon est le constituant majeur du blé. C'est un homopolymère de D-glucose, dont les unités sont liées entre elles par des liaisons glucosidiques. La partie linéaire, l'amylose, est formée de 600 à 6000 unités de D-glucosyl liées par des liaisons alpha-D-glucopyranoses (1-4) et par de très rares liaisons alpha-D-glucopyranoses (1-6) (Schoch et al., 1944 ; Malumba et al., 2011). La partie ramifiée, appelée amylopectine, est formée d'unités de D-glucosyl liées par des liaisons alpha (1-6), qui forment les différentes ramifications.

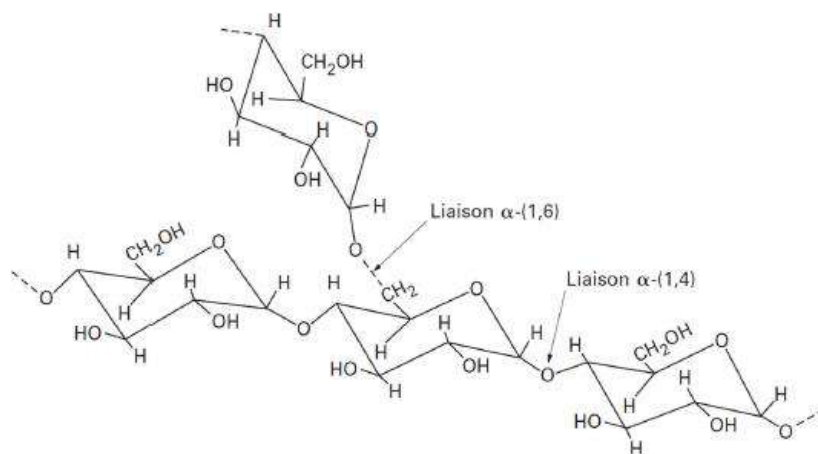


Figure 15: Liaisons α -(1,4) et α -(1,6) reliant les monomères de glucose dans l'amidon (d'après Robin, J.P. et al., 1974)

La fraction linéaire se trouve principalement dans la phase amorphe, tandis que la fraction ramifiée se trouve majoritairement dans la phase semi-cristalline (Jenkins et al., 1996 ; Malumba et al., 2011).

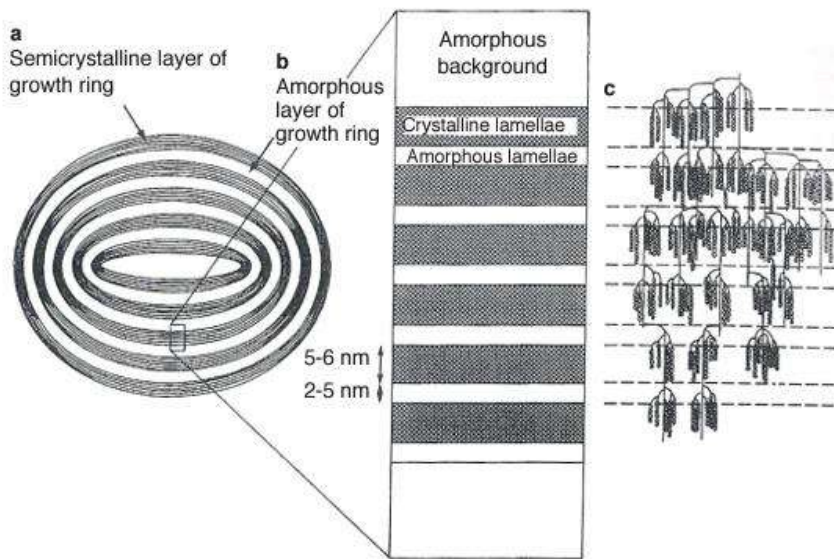


Figure 16: Représentation schématique de la structure du granule de l'amidon (Jenkins et al., 1996)

- a) Granule d'amidon avec alternance des phases amorphes et semi-cristallines
- b) Vue éclatée des phases semi-cristallines
- c) Structure en pelote de l'amylopectine dans les phases semi-cristallines des granules

L'amidon joue principalement un rôle de remplissage dans la structure du biscuit. Outre cette fonction de remplissage, il peut également fixer des molécules d'eau, augmentant ainsi la viscosité de la pâte. C'est pour cette raison que des amidons natifs non endommagés sont favorables en biscuiterie, car ils établissent peu de liaisons hydrogènes avec les fluides (Pareyt et Delcour, 2008).

Les groupes de protéines présents dans le blé sont les albumines, les globulines, les gluténines et les gliadines. Les gliadines et les gluténines sont plus abondantes que les autres protéines. En milieu aqueux, l'association entre les gluténines et les gliadines grâce à des ponts disulfures est à l'origine d'un réseau visco-élastique : le gluten.

A la différence de la panification, le développement du gluten n'est pas bénéfique pour la qualité des biscuits. C'est pour cette raison que la farine de blé tendre, caractérisée par sa faible teneur en protéines à l'origine du gluten est fréquemment privilégiée (Pareyt et Delcour, 2008 ; Van der Sman et Renzetti, 2018).

3.1.2- Sucre

Les sucres désignent les glucides ayant un degré de polymérisation faible, généralement inférieur à neuf. Le saccharose est un disaccharide composé de fructose et de glucose liés entre eux par une liaison osidique alpha (1 – 2). Sa formule brute est $C_{12}H_{22}O_{11}$.

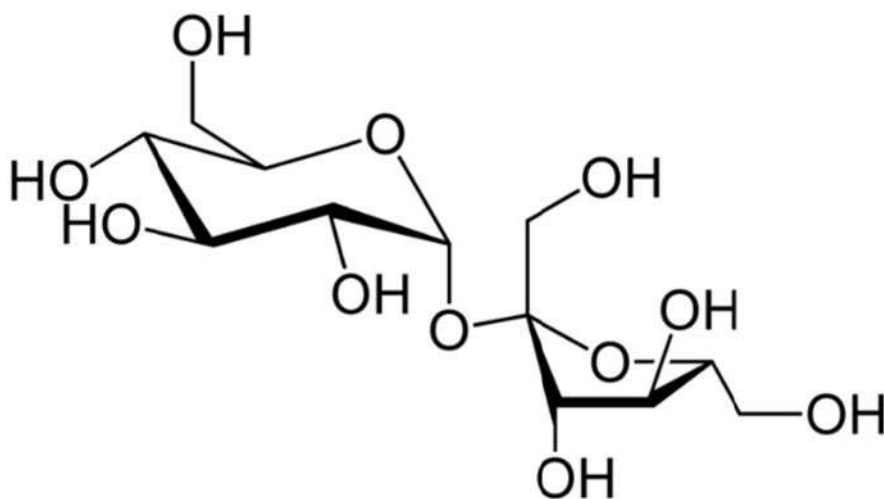


Figure 17: Structure du saccharose

Le saccharose est le sucre le plus couramment utilisé dans la formulation des produits de boulangerie (Van der Sman et Renzetti, 2019). Il est responsable de la saveur sucrée, ainsi que de la couleur.

En effet, lorsque le saccharose est exposé à la chaleur, il subit une hydrolyse qui le décompose en ses deux sous-unités, le glucose et le fructose. En présence d'eau, les fonctions carbonyles de ces monosaccharides réagissent avec les fonctions amines des acides aminés, ce qui déclenche la réaction de Maillard. Cette réaction complexe entraîne la formation de composés colorés et aromatiques (Lund et Ray, 2017).

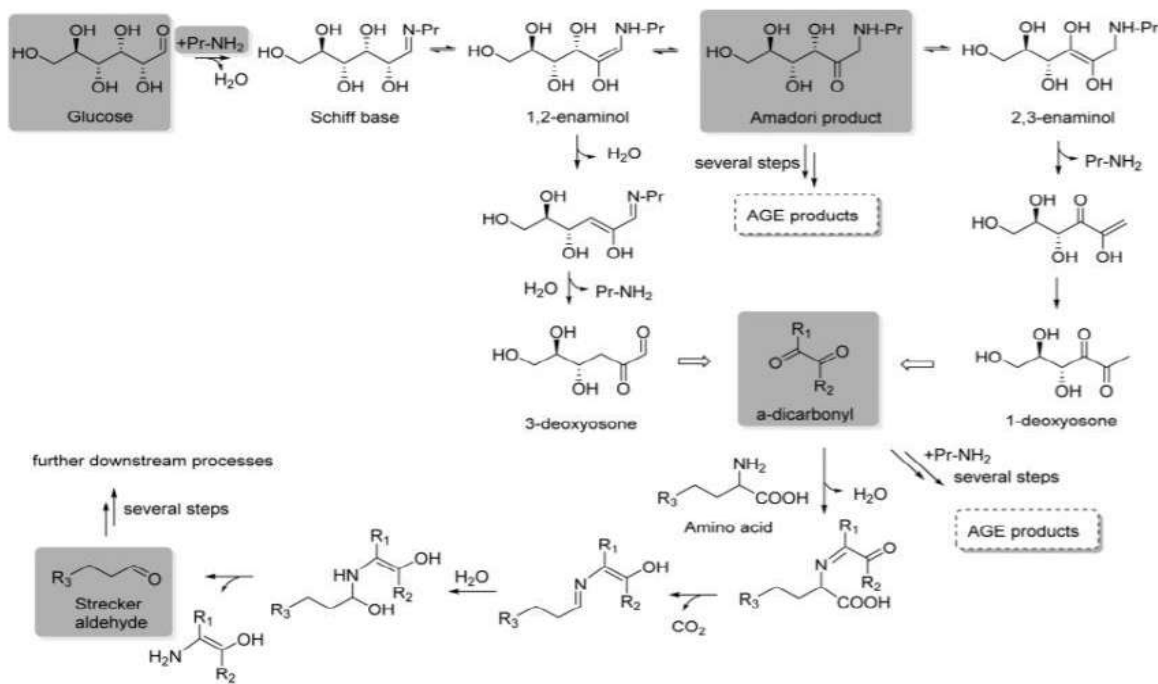


Figure 18: Schéma simplifié de la réaction de Maillard (Lund et Ray, 2017).

En plus des produits de Maillard, les sucres peuvent également subir des réactions de caramélisation, à l'origine de l'apparition d'arômes et de couleurs caractéristiques.

Outre son implication dans les propriétés organoleptiques, le sucre fixe également l'eau, ce qui limite le développement du réseau de gluten et des microorganismes (dépresseur Aw). De plus, il joue un rôle crucial dans l'incorporation d'air dans la pâte, ce qui contribue à l'aération du produit et à la légèreté du produit final (Pareyt et Delcour, 2008).

3.1.3- La matière grasse

Les matières grasses sont des composés hydrophobes non miscibles dans l'eau, mais miscibles dans les solvants apolaires. La majorité des corps gras alimentaires sont des triglycérides, dont les acides gras peuvent être saturés ou insaturés.

En biscuiterie, c'est la matière grasse solide qui est préférée à la matière grasse liquide. Elle joue le rôle de liant, ramollit la pâte et contribue à sa plasticité. En effet, les propriétés hydrophobes des lipides les rendent capables d'isoler les protéines et les grains d'amidon, empêchant ainsi la formation d'un réseau tridimensionnel. De plus, les lipides favorisent l'inclusion d'air dans la pâte (Van der Sman et Renzetti, 2019).

Les biscuits ayant une teneur élevée en matières grasses ont une texture plus friable mais moins croustillante (Roze, 2020).

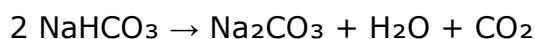
3.1.4- L'eau

L'eau, en tant que fluide polaire, établit des liaisons hydrogènes avec les constituants hydrophiles de la pâte. Ce fluide est indispensable au mélange des ingrédients du biscuit, facilitant ainsi leur solubilisation, leur dispersion et leur hydratation. L'utilisation de faibles quantités d'eau lors de la formulation des biscuits vise à limiter son interaction avec les protéines et l'amidon, ce qui favorise l'obtention d'un produit plus croustillant (Misra et Tiwari, 2014)

3.1.5- Les agents levants

Les agents levants sont des composés utilisés pour produire des gaz qui seront emprisonnés dans la pâte et libérés au cours de la cuisson. L'élimination de ces gaz pendant la cuisson est à l'origine de l'aération du biscuit. Le bicarbonate de sodium est l'agent levant par excellence en biscuiterie du fait de son coût relativement bas, de son goût neutre et de sa facilité d'utilisation (Misra et Tiwari, 2014).

L'équation de la transformation du bicarbonate de sodium est la suivante :



3.2- Etapes de fabrication du biscuit

La préparation des biscuits comprend généralement plusieurs étapes, à savoir le mixage des ingrédients, le façonnage, la cuisson et enfin le refroidissement. Ces étapes peuvent éventuellement être suivies d'une étape supplémentaire d'emballage (Pareyt et Delcour, 2008). Les étapes de fabrication d'un biscuit sec classique sont reprises dans la figure ci-dessous

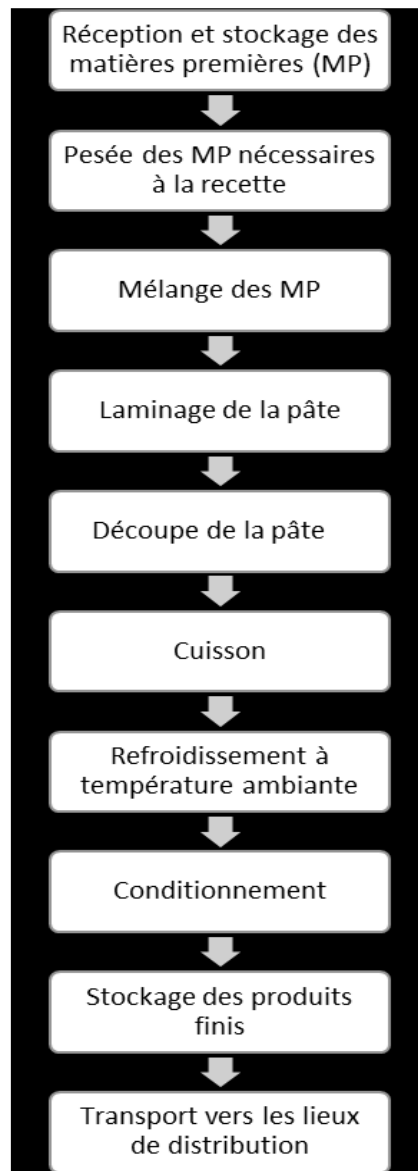


Figure 19: Diagramme de fabrication d'un biscuit sec

3.2.1- Mélange des matières premières

Le mélange des ingrédients est la première opération unitaire dans le processus de fabrication des biscuits. Cette étape cruciale remplit plusieurs fonctions essentielles parmi lesquelles : l'homogénéisation des différents composants, la dispersion de l'air dans la phase grasse, la dissolution totale ou partielle des cristaux de sucre dans la phase aqueuse, et la restriction du développement du réseau viscoélastique du gluten (Manley, 2000).

La pâte obtenue doit être cohésive et facilement malléable, c'est-à-dire moins collante et plus ferme. Pour optimiser le façonnage, la pâte pétrie est laissée au repos pendant environ 30 minutes pour permettre une répartition homogène de l'humidité (Pareyt et Delcour, 2008).

Deux méthodes de mélange existent : le tout-en-un, qui se déroule en une seule étape, et le crémage, qui nécessite deux étapes. La méthode de crémage consiste à mélanger les constituants liquides pour créer une émulsion avec un maximum d'air emprisonné. La farine est ajoutée en fin de mélange ; ceci favorise une faible élaboration du réseau de gluten, et le biscuit obtenu sera plus moelleux.

Contrairement à la méthode de crémage, où les ingrédients sont mélangés en deux étapes distinctes, le tout-en-un implique le mélange simultané de tous les ingrédients. Cela conduit à un développement plus important du gluten, et la qualité des produits qui en découle est généralement moins bonne comparée à celle des produits obtenus avec la méthode du crémage (Monohar et al., 1999).

Compte tenu des caractéristiques des différentes méthodes, nous utiliserons un mélange en deux étapes pour garantir au consommateur une expérience gustative satisfaisante.

3.2.2- Façonnage

C'est l'étape au cours de laquelle la forme et l'épaisseur des biscuits sont définies. Son déroulement est fortement influencé par la taille de production et la nature de la pâte.

En effet, pour des applications industrielles, les systèmes de laminage rotatif sont généralement associés à des bandes transporteuses horizontales. Ces systèmes offrent une grande efficacité et permettent un traitement en continu.

En fonction de la nature de la pâte, la découpe des biscuits se fait soit à la dresseuse coupe-fil pour des pâtes plus riches en matière grasse, soit à l'emporte-pièce pour les pâtes dures, soit de manière rotative pour des pâtes semi-dures (Roze, 2020).

La méthode utilisée pour notre formulation en laboratoire est celle de l'emporte-pièce, car elle est à la fois pratique et peu coûteuse.

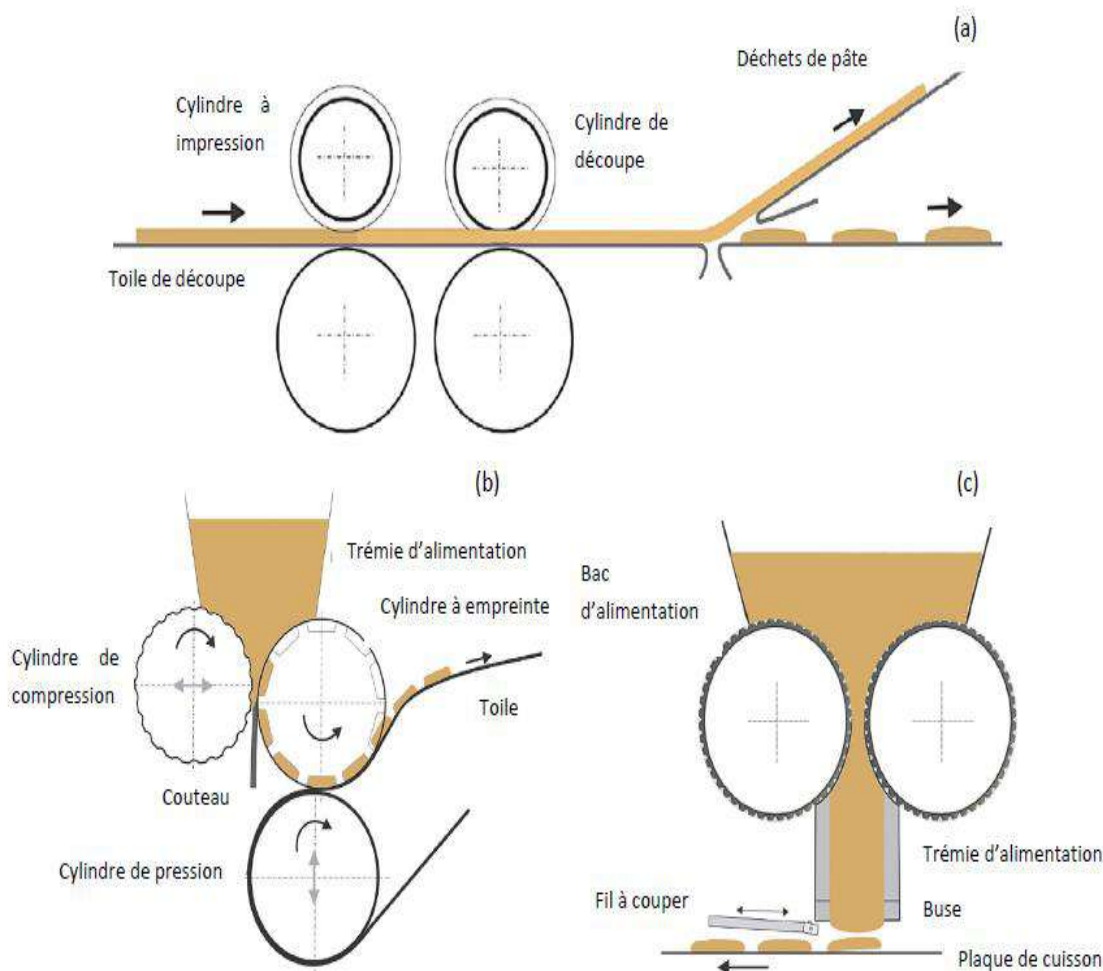


Figure 20: : Principes de formage des biscuits par laminage et découpe à l'emporte-pièce (a), rotative (b) et dresseuse coupe-fil (c). Reproduit d'après Manley, D. 2011a ; Miller, R. 2016. (Roze, 2020).

3.2.3- Cuisson

Pendant la cuisson, la pâte subit diverses modifications physiques et chimiques sous l'effet de la température, qui se situe généralement entre 180 °C et 240 °C (Misra et Tiwari, 2014).

Les principaux phénomènes qui se produisent dans l'ordre chronologique sont la libération des gaz (CO_2). En effet, au début de la cuisson, les bulles d'air incorporées dans la pâte lors du pétrissage augmentent de volume par coalescence. Cette coalescence est accentuée par la décomposition des agents levants sous l'effet de la chaleur, cette décomposition a lieu à des températures comprises entre 80 – 90 °C.

Ensuite, il y'a perte de poids due à l'évaporation de l'eau. Parallèlement à cette perte d'humidité, on observe l'hydrolyse du saccharose en ses deux sucres simples : le glucose et le fructose.

En fin de cuisson, les températures élevées favorisent les réactions de Maillard et la caramélisation, à l'origine du développement de la couleur et des arômes caractéristiques des biscuits. Outre l'apparition des couleurs, on assiste à une recristallisation partielle du saccharose ainsi qu'à l'apparition de fissures superficielles (Van der Sman et Renzetti, 2019).

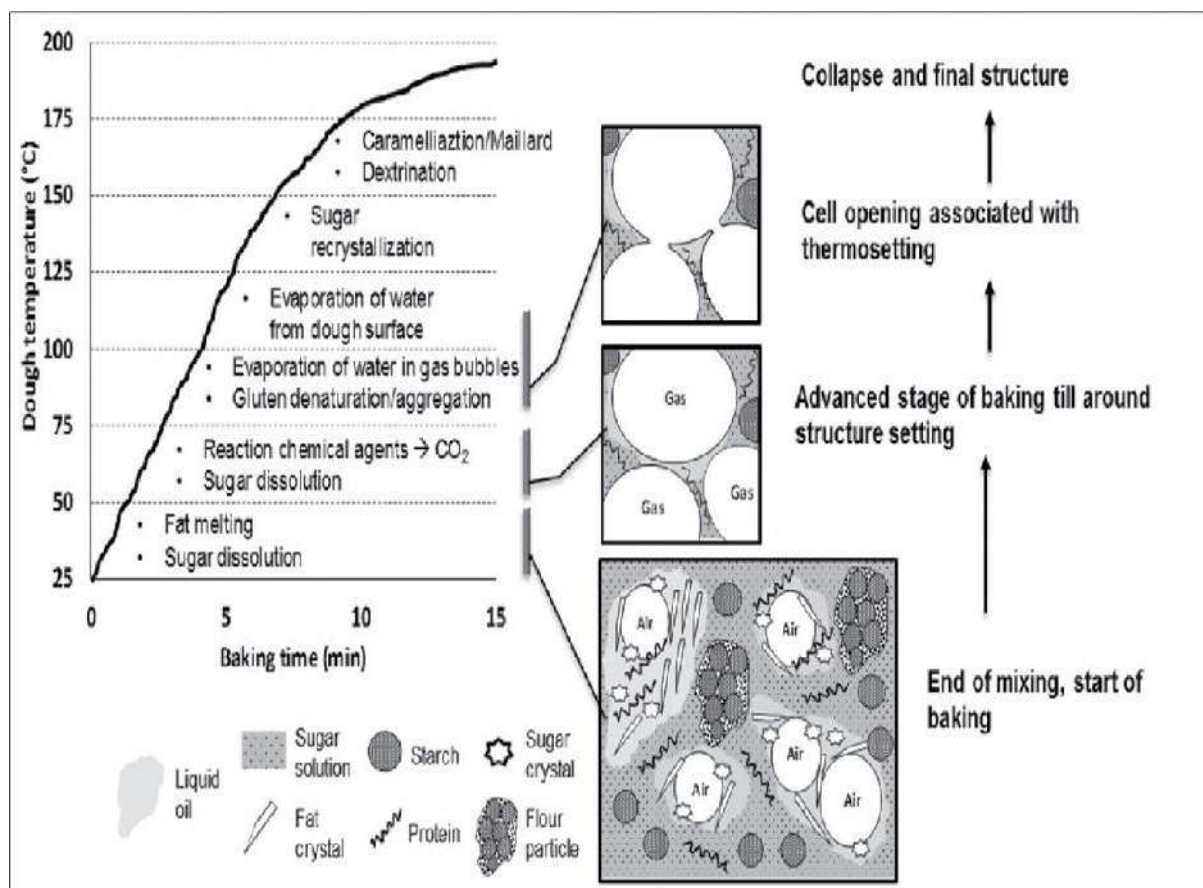


Figure 21: Développement de la structure des biscuits au cours des différentes étapes de cuisson, associée aux transitions physico-chimiques (Van der Sman et Renzetti, 2019)

3.2.4- Refroidissement

Une fois la cuisson terminée, les biscuits acquièrent leur texture et leur stabilité optimales. Cette transformation finale est due à la transition vitreuse de nombreux constituants du biscuit, notamment les sucres (Chevallier et al., 2002).

Chapitre II- Stratégie marketing

Dans cette section, nous analyserons le marché belge à l'aide de recherches documentaires et d'enquêtes, afin de mieux comprendre notre population cible. Notre objectif est d'adapter notre formulation à ses attentes et de nous positionner de manière plus efficace par rapport à la concurrence.

Motivation du choix des biscuits comme innovation alimentaire dans un contexte de consommation responsable

Le secteur des biscuits est en pleine expansion dans le monde entier, particulièrement en Europe. Les tendances des consommateurs en faveur des produits "clean label" et sains exigent une innovation constante de la part des industries. Les biscuits sucrés enregistrent la plus forte croissance en raison de leur large acceptation par les populations de tous âges.



Figure 22: Analyse de la taille et de la part du marché des biscuits – Tendances de croissance et prévisions (2024-2029).

Source: <https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/biscuits-market>

1- Population cible

La cible marketing choisie pour notre étude est constituée de personnes âgées de 18 à 64 ans vivant en Belgique et présentant un déséquilibre pondéral.

En effet, une étude menée par la *Health Interview Survey* révèle une augmentation des taux de surpoids et/ou d'obésité en Belgique, touchant 49 % des personnes âgées de plus de 3 ans. Cela met en évidence la nécessité de formuler des aliments dont la composition nutritionnelle serait adaptée à cette catégorie de la population. La tranche des plus de 18 ans est particulièrement touchée par ce déséquilibre pondéral, ce qui les expose à des risques pour leur santé.

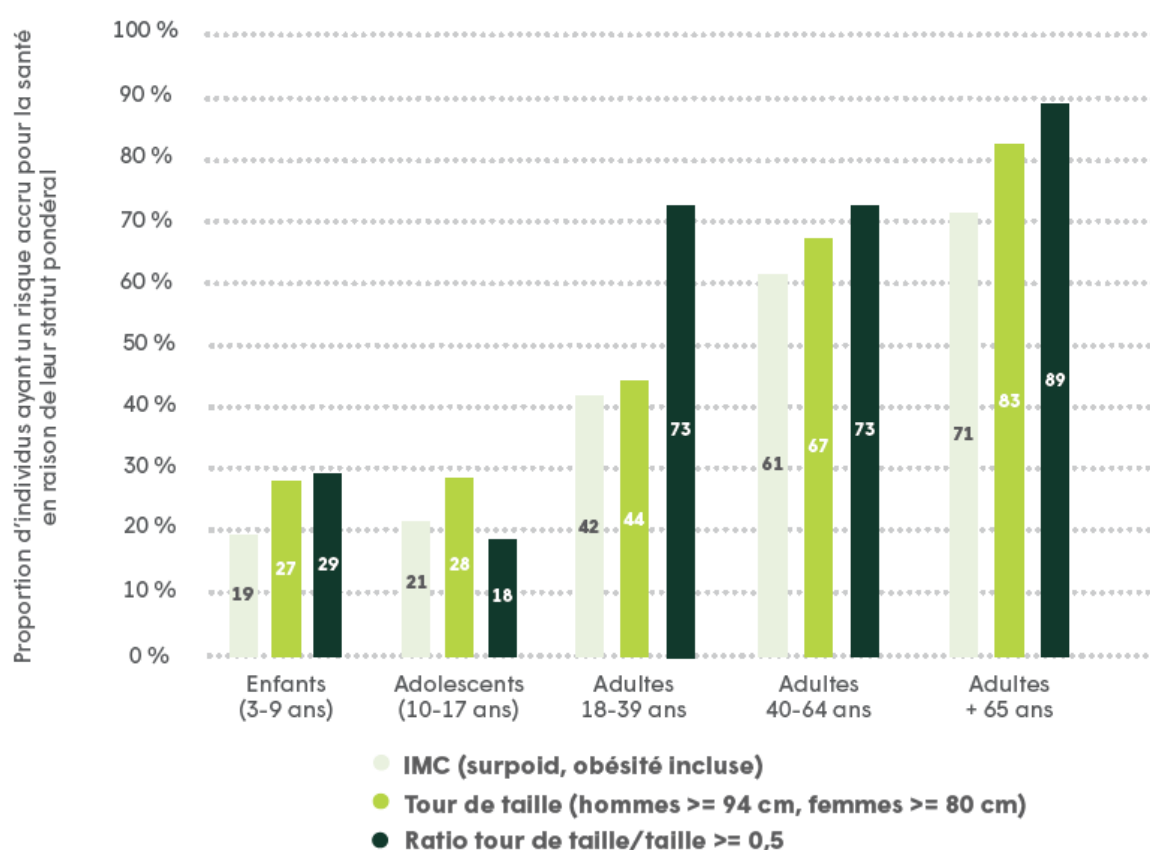


Figure 23: Sciensano : Enquête de consommation alimentaire 2022-2023 : Statut pondéral et comportements liés au poids dans la population belge, Bruxelles, Belgique

Ces personnes en surpoids ou obèses sont généralement conscientes des risques pour la santé (diabète de type II, hypertension, cancer, etc.) associés à ces anomalies pondérales et sont motivées à adopter des habitudes alimentaires plus saines. Parallèlement, le marché des *novel food*, et plus spécifiquement celui des insectes comestibles, connaît une croissance

impressionnante. Ce marché représente une niche très attractive et offre une opportunité de développer un produit leader, qualifié de « dominant design ».



Figure 24: Analyse de la taille et de la part du marché des insectes comestibles – Tendances de croissance et prévisions (2024-2029)

Source: <https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/edible-insects-market>

2- Autres segments de marché cibles

Compte tenu de l’acceptabilité des biscuits par un public varié, notre produit, grâce à sa richesse en fibres alimentaires et en protéines, pourrait répondre aux attentes d’autres segments de la population, notamment les sportifs et les enfants âgés de 3 à 9 ans, qui ont des besoins nutritionnels élevés en ces nutriments (Darmon et al., 2023 ; Reber, 2022).

Pour les enfants âgés de 3 à 9 ans, les parents jouent un rôle crucial en tant que prescripteurs, influençant significativement les choix et habitudes alimentaires de leurs enfants grâce à leur autorité.

Conscients de l’impact d’une alimentation saine sur la croissance et le développement, notre produit grâce à sa composition nutritionnelle et à son éco-conception, s’inscrit pleinement dans les tendances actuelles de consommation saine et durable.

3-Matrice PESTEL

Dans l'optique de mesurer et d'anticiper les facteurs macroéconomiques susceptibles influencer notre entreprise, nous avons réalisé la matrice PESTEL. Cet outil stratégique met en lumière les six composantes clés du macro-environnement de notre futur marché : politique, économique, sociétale, technologique, environnementale et législative. La matrice PESTEL associée à notre innovation alimentaire est présenté comme suit :

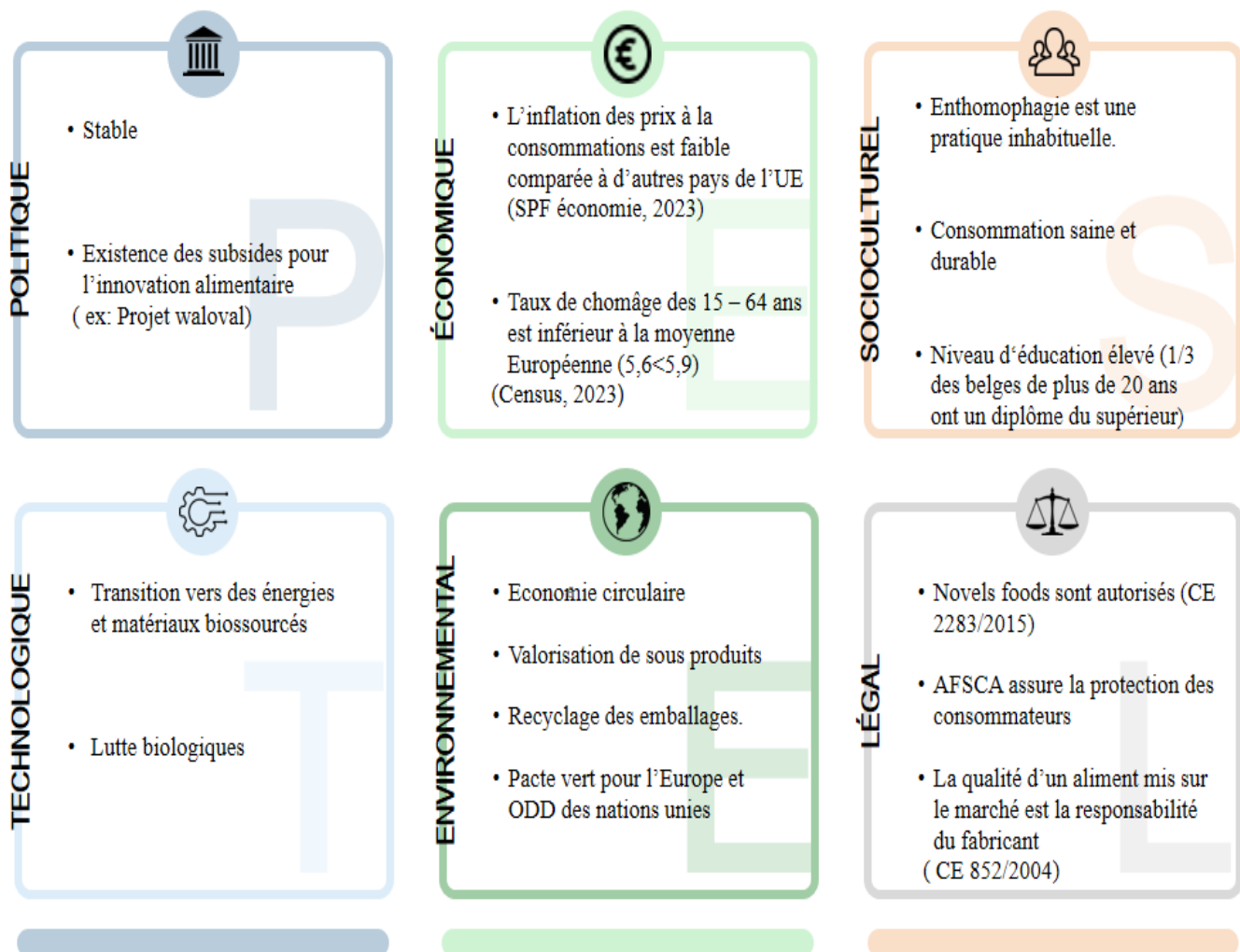


Figure 25: La matrice PESTEL associée à notre innovation alimentaire (biscuit Molitor)

L'analyse de cette matrice PESTEL montre que, sur le plan socioculturel, l'entomophagie est une pratique inhabituelle dans les pays occidentaux, car elle est considérée et vue comme une pratique primitive.

Cependant, les études menées par Caparros Megido et al. en 2013 ont montré que les populations belges étaient prêtes à intégrer les insectes dans leurs habitudes alimentaires, à condition que ceux-ci soient incorporés sous forme de farine ou associés à des saveurs connues, telles que le curry (Caparros et al., 2013).

Une transition importante vers une alimentation saine et durable est observée en Belgique, particulièrement parmi les populations ayant un niveau de scolarisation élevé. Cela est confirmé par le taux de personnes en surpoids et/ou obèses, qui est inversement proportionnel au niveau d'étude (Sciensano : Enquête de consommation alimentaire 2022-2023).

Sur le plan environnemental, les politiques belges promeuvent une économie circulaire, essentielle pour lutter contre le changement climatique et l'exploitation abusive des ressources naturelles. L'économie circulaire consiste à donner une seconde vie à un sous-produit, limitant ainsi les déchets grâce au recyclage et/ou à la réutilisation. À titre d'exemple, les emballages plastiques à usage unique sont interdits en Belgique (cf. arrêté royal du 25/05/2024, transposé de la directive européenne 2019/904), le projet Waloval vise à valoriser les sous-produits de l'industrie agricole, tels que le son de blé et le tourteau.

Ces actions d'économie environnementale sont alignées avec les objectifs du Pacte vert pour l'Europe, visant à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050, ainsi qu'avec les objectifs de développement durable de l'ONU.

Sur le plan législatif, les *novel foods*, parmi lesquels figurent certains insectes, sont autorisés pour la consommation humaine. Ce sont des denrées alimentaires dont la consommation humaine était négligeable au sein de l'Union avant le 15 mai 1997, indépendamment de la date d'adhésion à l'Union des États membres (règlement CE 2283/2015).

4- Analyse de la concurrence

L'analyse de la concurrence est une étape stratégique incontournable dans le processus de développement d'un nouveau produit. Elle permet d'identifier et de mettre en lumière les principaux acteurs du marché tout en cartographiant leurs caractéristiques clés. Cette démarche fournit des pistes concrètes de positionnement et de différenciation afin de bâtir une offre compétitive et adaptée aux attentes et tendances du marché.

4.1- Concurrences directes

Les concurrents directs sont des entreprises qui proposent des produits similaires aux nôtres et ciblent le même marché. Ceux-ci ont des caractéristiques de goût, de texture et de composition très proches.

Dans le cadre de notre biscuit Molitor à base de drêche de brasserie et de farine d'insecte (*Tenebrio molitor*), nous avons analysé les biscuits à base de drêche ainsi que ceux à base d'insectes, car ces produits répondent aux tendances actuelles en matière de nutrition saine et durable.

Tableau 1: Concurrents directs

Nom du produit	Image	Prix	Composition
Crackers small giants (Small giants : Italie)		49.87€/kg	. Farine de grion (15%) . Huile d'olive, sel de mer, oignon en poudre, levure, thym (1%), romarin (1%)
Crackers tenebrio tex-mex (Micronutris : France)		74.44€/kg	. Farine de tenebrio molitor (10%) . farine de bléT65, huile de coco, oignon en poudre (4.5%), graine de sésame, sel de guérande, cury (0.4%)
Crackers yumo (YUMA : Belgique)		43.33€/kg	. Farine d'insecte (3.5%) . Farine de blé, huile de tournesol, oignon, sel, vinaigre d'alcool, huile d'olive, basilique, poivre,
Biscuits au chocolat et insectes (Insectopie : France)		60€/kg	. Farine de tenebrio molitor (10%) . Farine de chocolat (17%), farine de blé, beurre, levure, sucre
Amandes macarons molitor (MINUS Farm : France)		88.88€/kg	. Farine de tenebrio (10%) . Amande, sucre, blanc d'œuf, huile d'olive,
Le pélou du poitou (Nirleem : France)		40€/kg	. Farine de tenebrio , farine de blé, beurre, sucre, rhum

Crackers résurrection (résurrection : France)		39.5€/kg	. Farine de blé, farine de drêche (30%), figues (14%), huile d'olive, noix, graines de millet décortiquées, sel marin,
Bicuits Rescapés (Rescapés : France)		35€/kg	. Liste des ingrédients indisponible, toutefois les drêches entre la composition de ces biscuits
Crackers aux drêches et graines de chia (Belle drêche : France)		/	. Drêche de brasserie du Gard 57,6% (malt d'orge) . Farine T65 de blé d'Occitanie, graines de chia 5,5%, huile d'olive vierge extra, sel fin de Méditerranée.
Crackers BIO olive à la grecque (GipNix and Co 49 : France)		36€/kg	. Farine de blé, drêche, huile Tournesol, sel, poudre à lever ingrédients suivant les recettes
Crackers la truffe (Petrossian : France)		99€/kg	Farine de BLE, drêche 42 %, huile de tournesol, sel, poudre à lever, truffe noire 1% , sel), condiment à la truffe d'été 0,2%, champignons séchés (Agaricus bisporus),
Crackers sunny MAD LAB : Belgique)		35€/kg	. Farine moulue sur pierre*, huile de tournesol*, drêche (orge)*, thym*, sel, antioxydant : extrait de romarin*
DRE'Stuck nature (Au brin de paille : France)		55€/kg	Drêches 50% (orge), Farine blé 30%, Blanc d'œuf, Sel, Epices
Crackers à la drêche (Brasserie de Mai : France)		17.5€/kg	drêche (ORGE, EPEAUTRE), farine, crème fraîche, huile d'olive, ail, herbes de Provence, sel.
Crackers sésame doré (Crac'n' : France)		39€/kg	. Drêches 43,35%(malt d'orge), . huile de tournesol, oignon semoule 1,73%, sel, poudre à lever, farine de blé

Crackers au Piment d'Espelette AOP (OUROU : France)		42€/kg	Drêches de brasserie (malt d'orge et/ou de blé), farine de blé, farine de repasse (blé), huile d'olive d'Aix-en-Provence AOP, Piment d'Espelette AOP, sel de Guérande IGP
Barre protéinée noix de coco & chocolat noir (Kriket Belgique)		56€/kg	Fibre de racine de chicorée, chocolat noir 17%, poudre de grillon (Acheta domesticus) 13%, protéine de soja 11%, protéine de riz 7,4%, noix de coco râpée 6%, beurre de cacao, extrudés de protéine de soja, arômes naturels.
Barre énergétique à protéine d'insecte (Getsharp : France)		/	Sirop de riz*, graines (courge*, tournesol*, S. lin*, sésame*), céréales (16%), fruits déshydratés (14%), Poudre de ténébrions** déshydratés (Tenebrio molitor) (10%), pépites de chocolat (9%), lécithine de soja (émulsifiant*) et huile de tournesol*.

4.2- Concurrences indirectes

Ce sont des entreprises qui proposent des produits différents du nôtre, mais qui s'adressent à la même clientèle. Ces concurrents indirects sont principalement constitués d'entreprises fabricant des snacks riches en protéines et/ou en fibres, dont les nutriments proviennent d'ingrédients autres que les insectes et les drêches de brasserie.

Tableau 2: Concurrents indirects

Nom du produit	Image	Prix	Composition
Protein biscuits butter vanilla (Protiplan : Belgique)		43.45€/kg	Mélange de protéines [soja, lait , d'œuf], édulcorant, préparation d'huile végétale, émulsifiant, farine de blé , arômes, eau, babeurre en poudre , agents levants
Biscuit protéiné (1defy : France)		48.75€/kg	Chocolat noir 25% (sucre, pâte de cacao, beurre de cacao émulsifiant : lécithines , arôme naturel de vanille), protéines de lait , huile de palme, farine de blé , sucre, gluten de blé , amidon de blé , agent de charge, poudres à lever, arôme, germes de blé , protéines de blé .
Hyper protéine aux pépites de chocolat		17.07€/kg	Farine de BLE 43%, sucre, protéines de pois, huile de tournesol oléique, OEUFS, pépites de chocolat 6,7%, protéines de BLE 4,8%, sirop de glucose, protéines de LAIT, fructo-oligosaccharides, poudres à lever, émulsifiant, blancs d'OEUFS

(Carrefour)			en poudre, sel, acides aminés : lysine L-monochlorhydrate et L-thréonine, fibres d'AVOINE, arômes, vitamines {E, B3 (niacine), B5 (acide pantothénique), B3, B1 (thiamine), B2 (riboflavine)}.
Biscuit son d'avoine Gerblé : France		55.55€/kg	Farine de blé 45,6%, son d' avoine 36%, sucre de canne roux, huile de colza, arôme naturel, émulsifiant : lécithines de colza, poudres à lever, sel de mer, cannelle.
Biscuit nutri plus (Bjorg : France)			Flocons d' avoine 40%, farine de blé , sucre de canne non raffiné, huile de colza, billettes de riz soufflé, fibres d'acacia, miel, poudre à lever, jaune d' œuf en poudre, sel marin, antioxydant : extraits de romarin.

5- Enquêtes qualitatives

Les enquêtes qualitatives sont des études non quantifiables d'un point de vue statistique, qui visent à approfondir la compréhension des comportements, des motivations et des freins des consommateurs à travers des questions ouvertes. Deux principales méthodes d'analyse qualitative sont couramment utilisées : les focus groups et les entretiens individuels. Dans notre cas, nous évaluerons notre idée auprès de la population cible en réalisant des entretiens individuels, structurés selon une méthode classique de type "papier-crayon".

Ce choix s'explique par sa facilité de mise en œuvre et par la réduction des biais associés aux interactions de groupe. En effet, il est souvent difficile de mobiliser simultanément un groupe de 6 à 12 personnes, ce qui rend les entretiens individuels plus pratiques et efficaces.

De plus, en raison du caractère atypique de notre produit, qui associe des insectes et des drêches de brasserie, des biais de groupe pourraient survenir lors de discussions sur des sujets sensibles telles que la protection de l'environnement et l'impact sanitaire de l'alimentation, car certaines conséquences sociales à l'échelle de l'individu du déséquilibre pondéral sont la baisse de l'estime de soi et la dépression (Van Hout et al., 2004).

Cette analyse qualitative nous permettra d'affiner notre enquête quantitative, dont les objectifs s'articulent autour des points suivants :

- **Analyser l'importance accordée par les populations belges à la composante sociétale de leur alimentation, notamment en terme d'impact environnemental.**

Il s'agira d'examiner les attitudes, les perceptions et les comportements des consommateurs belges concernant l'impact environnemental des produits alimentaires.

- **Évaluer dans quelle mesure la composition nutritionnelle des aliments influence le choix des consommateurs.**

Nous étudierons les critères de sélection des aliments par la population belge, en portant une attention particulière à l'importance accordée aux aspects nutritionnels et santé lors de la décision d'achat.

- **Déterminer l'acceptabilité par les populations Belges des nouveaux aliments, en particulier les insectes.**

Nous analyserons la réceptivité des populations belges vis-à-vis des insectes en examinant leurs perceptions, leurs attitudes et leur disposition à intégrer ces nouvelles sources de nutriments dans leurs habitudes alimentaires quotidiennes. Nous examinerons également, l'impact de la forme de présentation : farine, insecte entier ou aromatisé avec des saveurs connues (curry, barbecue)

- **Évaluer la disposition des Belges à payer un prix plus élevé pour des aliments considérés comme sains et respectueux de l'environnement.**

Nous évaluerons la disposition des consommateurs belges à investir financièrement dans des produits alimentaires ayant des caractéristiques santé et éco-responsable. Un accent sera mis sur leur sensibilité aux prix et leur disposition à payer une prime pour ces attributs.

6- Personas

Le persona est une modélisation imaginaire du client idéal, qui répond à nos critères de segmentation sociodémographiques, psychologiques et comportementaux.



Sexe: Masculin

Âge : 32

Pays : Belgique

Célibataire

Vie active

Études: diplôme universitaire

Hobbies

➤ Voyage

➤ Lecture

Martin

Cadre dans une entreprise

○ Désirs et motivations

. Cadre stressé, il manque de temps pour pratiquer du sport et préparer lui-même ses repas.

. Il consomme énormément de snacks; la praticité et le goût sont importants dans son choix.

. Cependant, il aimerait perdre du poids, car il est conscient des risques santé liés au surpoids (maladies cardiovasculaires, diabète de type II).

. Pour cela, Il désire réduire sa consommation d'aliments ultra transformé et se tourner vers des alternatives plus saines et tout aussi savoureuses

○ Frustrations

. Les snacks conventionnels sont trop caloriques et peu nutritifs.

. Il manque des aliments non ultra transformés, à la fois riche en protéines et en fibres alimentaires

. Les produits qui répondent le mieux à ses attentes ressemblent davantage à des médicaments qu'à des aliments.

○ Lieux d'achat

. Achète en ligne

. Boutique exotique, habitude héritée de ses voyages



Sexe: féminin

Âge : 46

Pays : Belgique

Marié

03 enfants

Vie active

Études: bachelier

Hobbies

➤ Voyage

➤ Lecture

Marie

Enseignante maternelle

○ Désirs et motivations

. Mère impliquée dans l'alimentation de sa famille, elle est obèse et désire régulée sa masse corporelle. ses occupations quotidiennes l'empêchent de pratiquer une activité sportive.

. Soucieuse de sa santé et sensible aux questions écologiques, elle opte généralement pour des snacks familiaux nutritifs et éco-conçus

. La praticité des snacks et leur éco-score sont pris en compte lors de leur choix. Néophile, elle adore les innovations alimentaires qui cadrent avec ses principes

○ Frustrations

. Les aliments industriels sont peu nutritifs et contribuent significativement à la destruction de la planète

. Il manque des aliments qui concilient à la fois santé et préservation de l'environnement

. Le manque de transparence dans les messages écologique de nombreux produits (greenwashing)

. Les produits réellement écologiques sont parfois très coûteux

○ Lieux d'achat

. Achète en ligne

. Boutique spécialisé et magasin bio

7- Analyse SWOT

Pour étudier de manière holistique l'environnement concurrentiel dans lequel notre entreprise évolue, il est judicieux pour nous de réaliser une analyse stratégique (SWOT). Cette analyse met en évidence à la fois les aspects internes sur lesquels l'entreprise doit soit capitaliser soit s'améliorer (forces et faiblesses), ainsi que les aspects externes (menaces et opportunités). Cet outil permet de minimiser les risques et de mieux orienter les différentes stratégies de l'entreprise dans un marché en constante mutation.

L'analyse SWOT de notre entreprise est reprise ci-dessous

FORCES

- . **Innovation produit** : association coproduits & novel food
- . **Aliment éco conçu**
- . **Valeur nutritionnelle** : Riches en protéines, fibres et micro nutriments
- . **Emballages biosourcé et biodégradable**
- . **Prise de conscience des populations** sur l'impact santé et écologique de leur alimentation

FAIBLESSES

- . **Manque de notoriété et de crédibilité** (l'image de marque devra se construire)
- . **Forte dépendance vis-à-vis des fournisseurs** (GEMBLOUX BEER et Entomobio)
- . **Ressources financières limitées**
- . **Faible pénétration du marché des pays musulmans**

SWOT

OPPORTUNITÉS

- . **Possibilité de devenir dominant design**
- . **Expansion potentielle vers de nouveaux marchés** dans l'union européenne
- . **Evolution des politiques et des réglementations** (pacte vert, CE n° 2283/2018)
- . **Marché de niche en pleine croissance**
- . **Possibilité de partenariat avec les fournisseurs**

MENACES

- . **Rejet culturel quant à la consommation des insectes** (dégoût, aversion, comportement primitif)
- . **Coût du biscuit**
- . **Concurrence grandissante**
- . **Règlementation stricte**

Figure 27: Matrice SWOT

8- Business model Canvas du biscuit à base de drêche supplémenté au *Tenebrio molitor*

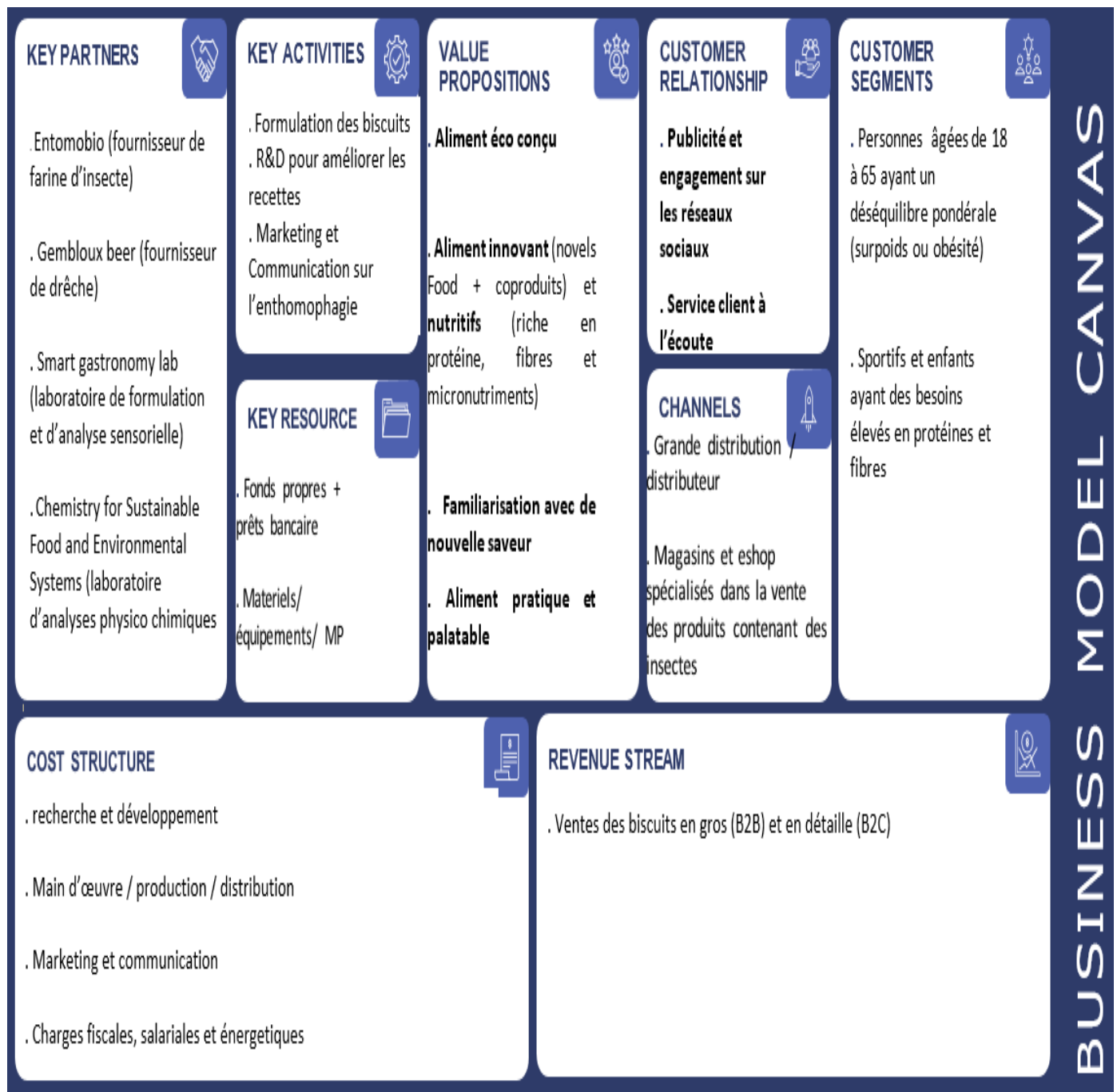


Figure 28: Business model Canvas du biscuit à base de drêche supplémenté au *Tenebrio molitor*

9 – Enquêtes qualitatives

Afin de mieux cerner notre cible et d’optimiser la qualité de notre étude, nous avons choisi de nous focaliser exclusivement sur les personnes âgées de 18 à 64 ans présentant un déséquilibre pondéral.

La répartition de la population belge en fonction de l’âge et du sexe, telle que rapportée par Statbel au 1er janvier 2024, est illustrée dans la figure ci-dessous

Population par lieu de résidence, nationalité (Belge/non-Belge), état civil, âge et sexe

Ces résultats ont fait l'objet d'un traitement visant à éviter que des situations individuelles particulières ne soient révélées.

Filtres:

				Hommes et femmes	Hommes et femmes		Hommes et femmes
				Sexe	Femmes	Hommes	
Belgique	Région	Tous les âges	Groupe d'âges		Population au 01 Janvier 2024	Population au 01 Janvier 2024	Population au 01 Janvier 2024
Belgique	Région flamande	Tous les âges	Moins de 18 ans		642.972	673.533	1.316.505
			De 18 à 64 ans		2.008.250	2.036.590	4.044.840
			65 ans et plus		793.029	667.396	1.460.425
		Tous les âges			3.444.251	3.377.519	6.821.770
	Région de Bruxelles Capitale	Tous les âges	Moins de 18 ans		133.139	138.811	271.950
			De 18 à 64 ans		408.842	405.682	814.524
			65 ans et plus		95.417	67.706	163.123
		Tous les âges			637.398	612.199	1.249.597
	Région wallonne	Tous les âges	Moins de 18 ans		362.815	379.368	742.183
			De 18 à 64 ans		1.107.847	1.109.136	2.216.983
			65 ans et plus		414.114	319.003	733.117
		Tous les âges			1.884.776	1.807.507	3.692.283
Belgique		Tous les âges			5.966.425	5.797.225	11.763.650

Source: Statbel (Direction générale Statistique - Statistics Belgium)

Source : <https://bestat.statbel.fgov.be/bestat/crosstable.xhtml?view=7de30ad3-0871-46ad-af5a-aad2f51969c3>

Effectif total de population belge : **11 763 650 habitants**

Effectifs des personnes âgées de 18 à 64 ans dans les différentes régions est reprise dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3: Effectifs des personnes âgées de 18 à 64 ans dans les différentes régions en Belgique

Région Flandre	4 044 840
Région bruxelles capitale	814 524
Région wallone	2 216 983
Total	7 076 347

Selon les données issues de l’Enquête nationale de consommation alimentaire menée en Belgique entre 2022 et 2023, il n’existe pas de différence statistiquement significative entre les taux d’obésité chez les hommes et les femmes âgés de 18 à 64 ans. Par conséquent, la validité statistique des résultats de notre étude ne sera pas affectée par une surreprésentation de l’un ou l’autre sexe, puisque les taux d’obésité sont presque similaires entre les deux groupes.

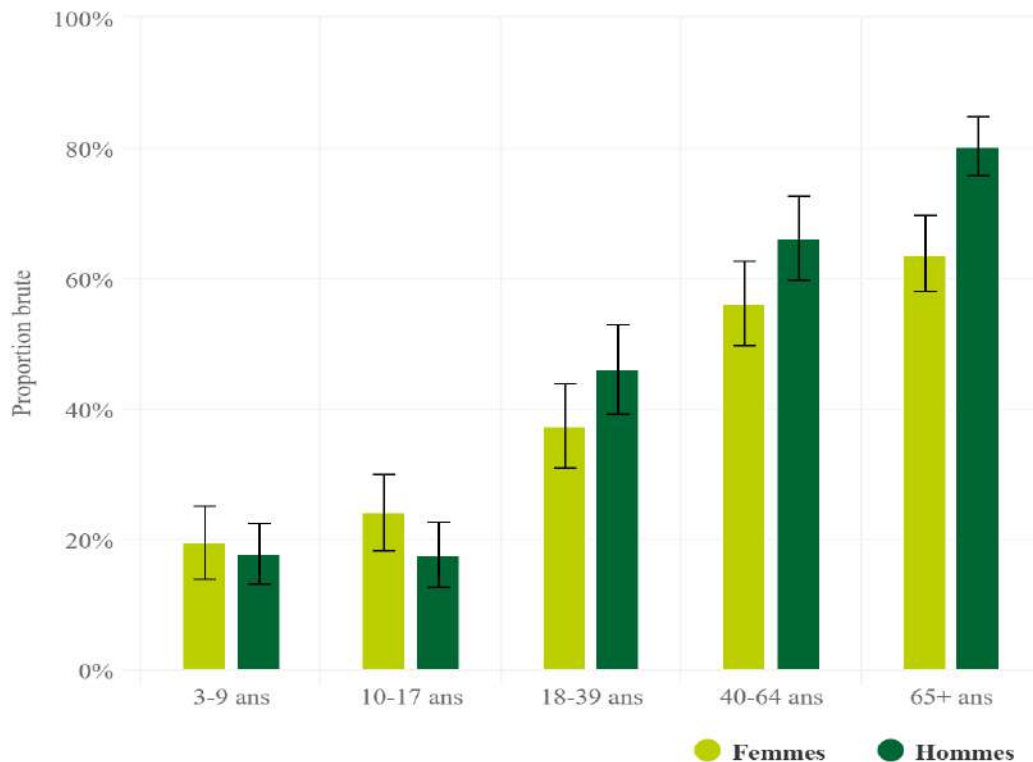


Figure 29: Proportion de la population belge âgée de 3 ans et plus en situation de surpoids (obésité incluse), selon l'âge et le sexe, Belgique : 2022-2023

(Sciensano : Statut pondéral et troubles du comportement alimentaire : Surpoids et obésité (IMC), Enquête de Consommation alimentaire 2022-2023, juin 2024, Bruxelles, Belgique)

La population belge âgée de 18 à 64 ans s'élève à 7 076 347 individus. Parmi ceux-ci, environ 51,43 % présentent un déséquilibre pondéral, c'est-à-dire un surpoids ou une obésité.

Population mère = $7\,076\,347 \times 0.51425$

= 3 639 012 personnes

Donc, Notre population mère est de 3 639 012 personnes.

Au regard de l'importance de l'effectif et des moyens dont nous disposons, nous avons opté pour la réalisation des quotas avec comme critères de segmentation le sexe et l'âge.

Les questionnaires seront distribués en ligne via Google Forms, sur Facebook, sur eCampus et par mail. Malgré les nombreux risques liés à ce mode d'administration des questionnaires (nécessité

de posséder un compte Facebook et de le consulter, absence de liste exhaustive de mails, risque que les mails soient classés comme spams, faible taux de réponse), ces méthodes présentent l'avantage d'être rapides et peu coûteuses, ce qui correspond le mieux aux besoins de notre projet.

Pour assurer une bonne robustesse à notre étude, une marge d'erreur de 5 % a été retenue, avec un niveau de confiance de 95 %. Sur la base de ces critères de performance, 1 925 questionnaires devront être administrés, afin d'atteindre un minimum de 385 répondants.

CheckMarket
By Medallia

Logiciel

Ressources ▾

Calculez le nombre de répondants nécessaires

Taille d'échantillon

Taille de la population:

3639012

Combien de personnes y a-t-il dans le groupe qui représente votre échantillon? (La taille d'échantillon ne change pas beaucoup pour des populations de plus de 20.000.)

La marge d'erreur:

5% ▾

C'est le nombre positif ou négatif qui est généralement affiché dans des résultats des sondages d'opinion de journaux ou de télévision. Par exemple, si vous utilisez une marge d'erreur de 4% et 47% de votre échantillon donne une certaine réponse, vous pouvez en être "sur" que si vous auriez posé cette question à la population entière, entre 43% (47-4) et 51% (47+4) auraient donné la même réponse (un intervalle d'erreur moins grand demande une taille d'échantillon plus grande).

Niveau de confiance:

95% ▾

Le niveau de confiance reflète le degré de certitude de la marge d'erreur. Il est exprimé en pour-cent et interprète combien de fois le vrai pourcentage de la population qui choisirait une réponse, est au-dedans de la marge d'erreur; en d'autres mots dans quelle mesure faites-vous confiance à la correction des réponses qu'ont données les répondants (un niveau de confiance plus haut demande une taille d'échantillon plus grande).

Taille d'échantillon requise :

385

Nombre de répondants nécessaires

Taux de réponse estimé:

20% ▾

Quel pourcentage de 'personnes qui ont été demandé de participer à l'enquête' le feront effectivement. Le taux de réponse dépend de nombreux facteurs, tels que la méthode de distribution (e-mail, papier, téléphone, ...), le type de communication (B2B, B2C,...), la qualité de l'invitation, des rémunérations ou pas, etc.

Nombre d'invitations requises:

1925

C'est le nombre d'individus de la population que vous devez inviter à participer, pour atteindre la taille d'échantillon nécessaire à base du taux de réponse prévu.

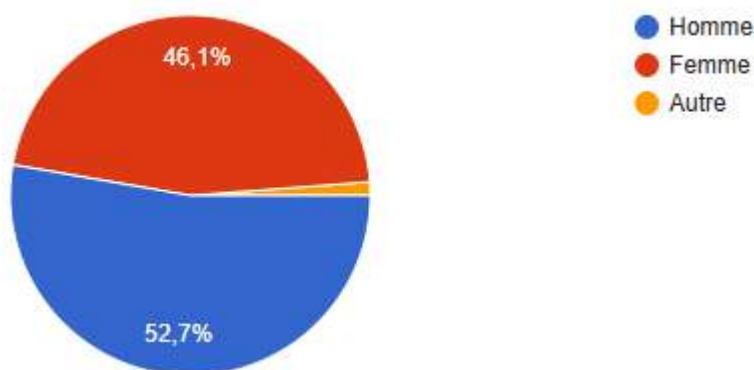
10-INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS DE L'ENQUETE MARKETING

10.1- Informations générales sur la population

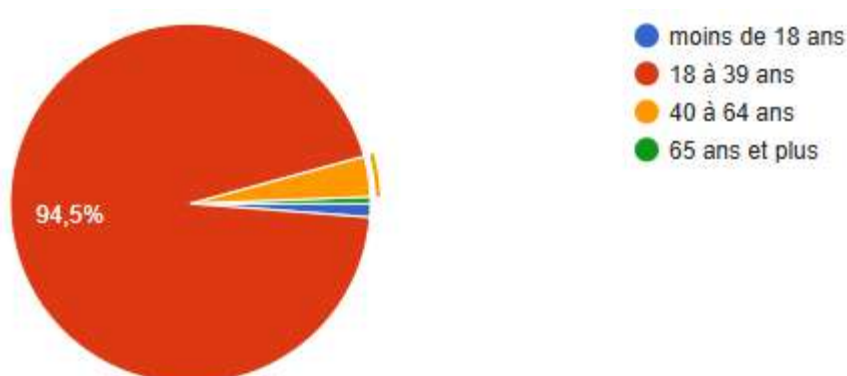
Selon les prédictions du logiciel CheckMarket, un minimum de 385 réponses était attendu. Nous avons récolté environ 450 réponses. Cependant seules 300 présentaient un indice de masse corporel supérieur à 25.9 kg/m².

Cette répartition de la population en fonction de l'IMC est en accord avec le rapport de Sciensano publié en 2024, qui indiquait que 49 % de la population belge était en surpoids, c'est-à-dire avec un indice de masse corporelle (IMC) supérieur à 24,9 kg/m² (Sciensano, 2024).

Les personnes ayant un IMC normale sont également des personnes susceptibles de consommer notre biscuit, même si elles ne représentent pas notre cœur de cible. C'est pour cette raison que nous avons tenu à interpréter les réponses issues de leur formulaire afin de comprendre leurs attentes et leur position par rapport à notre aliment.



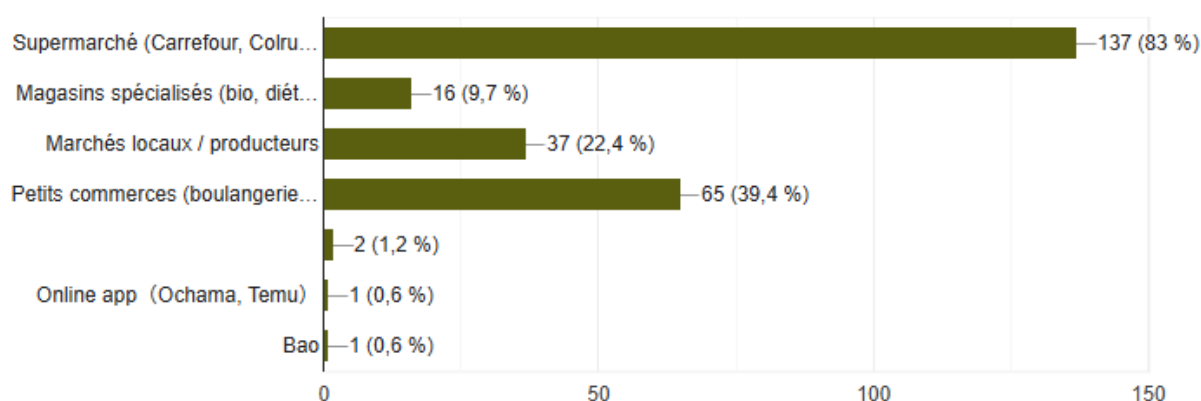
➤ Tranche d'âge de l'échantillon



La quasi-totalité des répondants étaient âgés de 18 à 39 ans. Cette concentration dans cet intervalle d'âge relativement jeune peut s'expliquer par les canaux de diffusion utilisés. En effet, la plateforme universitaire de l'ULiège est majoritairement fréquentée par des étudiants. Par ailleurs, le réseau social Facebook, où l'enquête fut partagée compte de nombreux utilisateurs appartenant à cette même tranche d'âge.

10.2- Habitudes alimentaires

➤ Lieux des courses



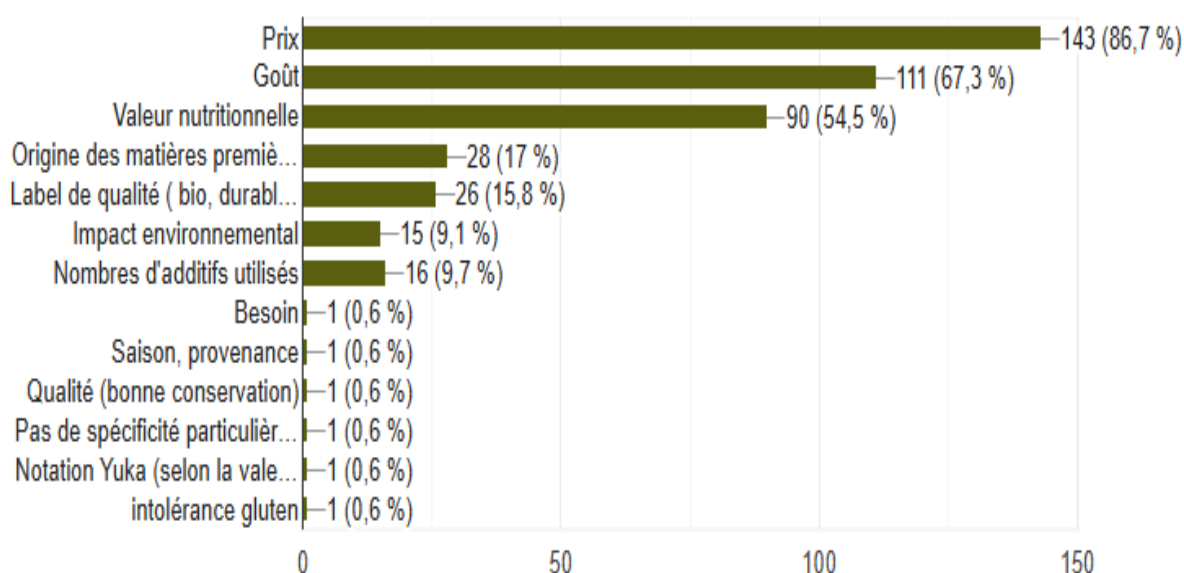
Les courses sont principalement effectuées dans les grandes surfaces et les petits commerces. L'introduction d'un nouveau produit dans les grandes surfaces est difficile, car celles-ci exigent des certifications de qualité et de conformité que les jeunes start-up ont souvent du mal à obtenir. En revanche, les petits commerces représentent une alternative plus accessible, dans la mesure où ils sont généralement plus ouverts à l'introduction de nouveaux produits, en

particulier lorsque ceux-ci présentent des atouts nutritionnels, organoleptiques et écologiques intéressants.

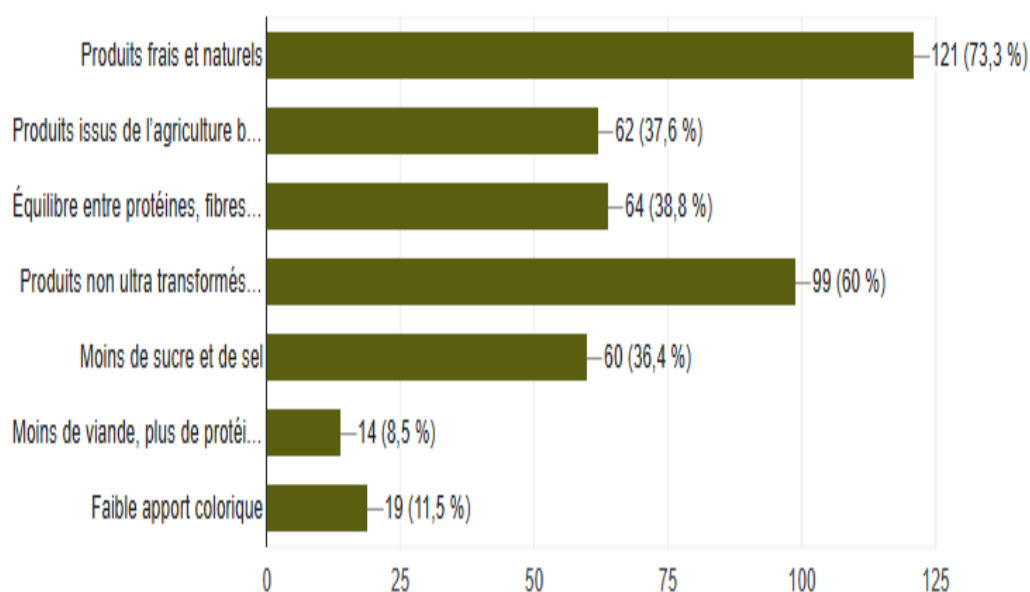
Le e-commerce alimentaire est le canal de distribution qui séduit le moins les répondants, et ceci malgré la forte proportion de Belges effectuant des achats en ligne. En effet, selon Statbel, 63 % des Belges âgés de 16 à 74 ans ont réalisé des achats en ligne en 2022.

Cette réticence à utiliser le e-commerce alimentaire pourrait s'expliquer, en partie, par les frais de livraison souvent associés à ce type d'achat, contrairement aux achats non alimentaires. De plus, il arrive parfois que des quantités minimales de commande soient imposées afin de rentabiliser les livraisons.

➤ Critères de choix des aliments



➤ Caractéristique d'un aliment sain

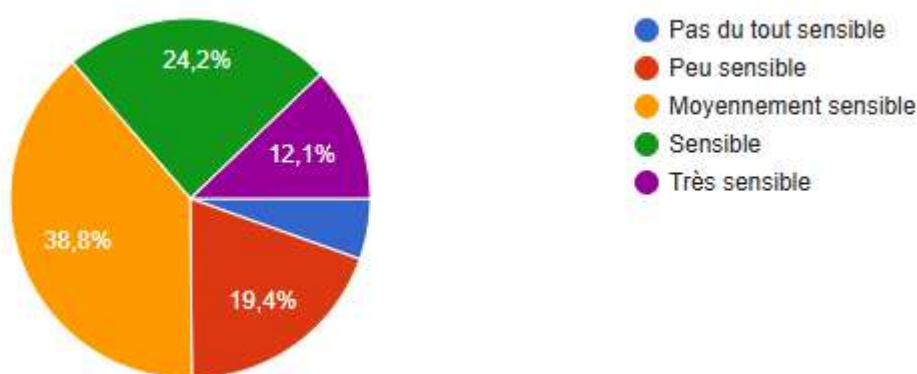


Ces résultats soulignent que les consommateurs accordent une importance primordiale au prix et aux caractéristiques intrinsèques des produits alimentaires. Le goût et la valeur nutritionnelle (présence d'ingrédients naturels et l'absence d'ultra-transformation) sont des éléments clés dans la prise de décision par les consommateurs. Cette tendance reflète un intérêt prononcé des consommateurs pour des aliments à la fois économiquement abordables et présentant un profil nutritionnel favorable. En effet, les aliments ultra-transformés, riches en sucres, graisses saturées et sel, sont souvent liés à des maladies nutritionnelles non transmissibles comme le diabète de type 2, l'hypertension et certains cancers. Tout ceci montre que la formulation de notre biscuit doit satisfaire ces deux dimensions (économique et nutritionnelle) afin de répondre aux attentes des consommateurs et favoriser leur fidélisation.

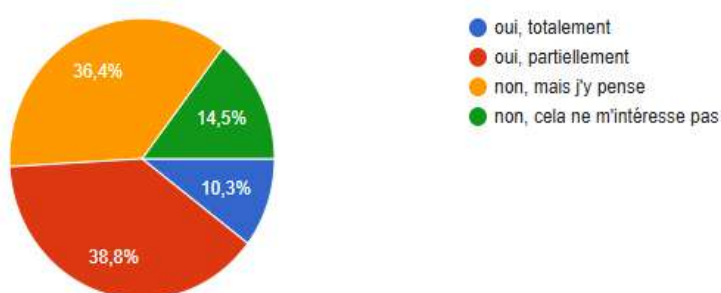
Les personnes ayant un excès pondéral sont souvent sensibles aux produits affichant la mention « sans additifs », principal marqueur de l'absence d'ultra-transformation. Ainsi, comme prévu initialement, notre biscuit sera non ultra-transformé et apportera des quantités importantes de fibres et de protéines.

10.3- Influence de la composante environnementale sur le choix des aliments

- Considération de l'aspect environnemental dans le choix des aliments



- Évolution des habitudes alimentaires en fonction de l'environnement

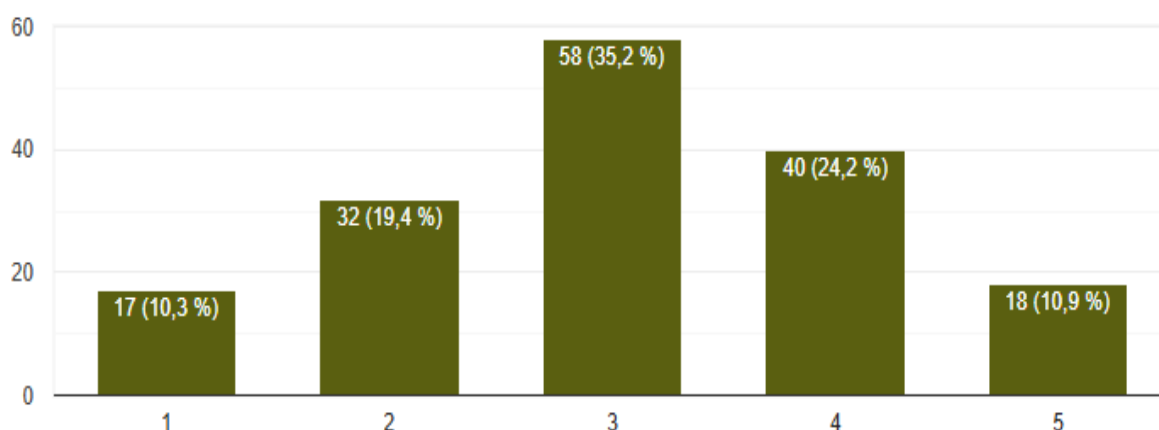


L'observation des deux camemberts révèle des avis très divergents sur la question environnementale. Toutefois, la majorité des personnes se dit prête à adopter des changements en faveur d'une alimentation plus responsable.

Inclure l'environnement dans notre processus de développement produit pourrait constituer un véritable levier, car de nombreux consommateurs sont sensibles à l'impact environnemental de

leur alimentation, ce qui explique leurs changements actuels ou leur désir futur de changer. Ces aspirations ne pourront être accompagnées que si des produits éco-conçus, alliant appétence, bienfaits pour la santé et durabilité, voient le jour.

➤ Importance des informations environnementales figurant sur les étiquettes



Le règlement INCO (CE) n° 1169/2011, qui précise l'ensemble des informations devant obligatoirement figurer sur un emballage alimentaire, n'exige aucune mention environnementale spécifique. Cependant, l'importance accordée à ces informations par les répondants montre que mettre en avant le caractère durable de notre produit constituerait un atout pour conquérir nos différentes cibles.

Notre biscuit Molitor, formulé à base de drêches de brasserie et de farine d'insectes, allie économie circulaire (par la valorisation de sous-produits) et alternative aux protéines conventionnelles. Ses avantages écologiques peuvent être facilement résumés à travers un éco-score et un packaging qui communique ces valeurs.

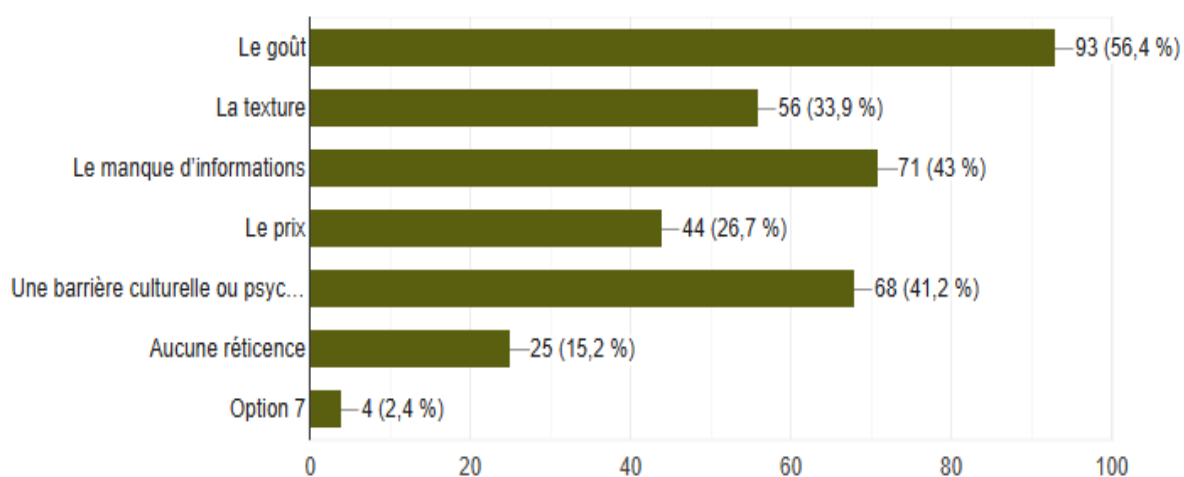
10.4- Perception des nouveaux aliments

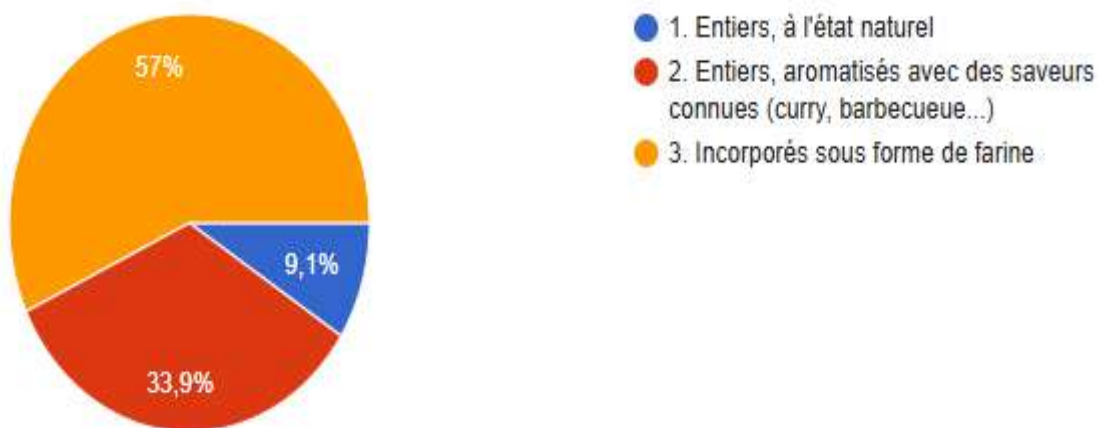
➤ Perception des nouveaux aliments



77,5 % des personnes ont déjà goûté de nouveaux aliments et/ou sont intéressées à l'idée d'en goûter. Nos répondants ne sont donc pas opposés à l'idée de goûter de nouveaux aliments.

➤ Principaux frein aux nouveaux aliments et forme les plus adoptables





Les principaux freins à la consommation de nouveaux aliments sont le goût, le manque d'information et la barrière culturelle.

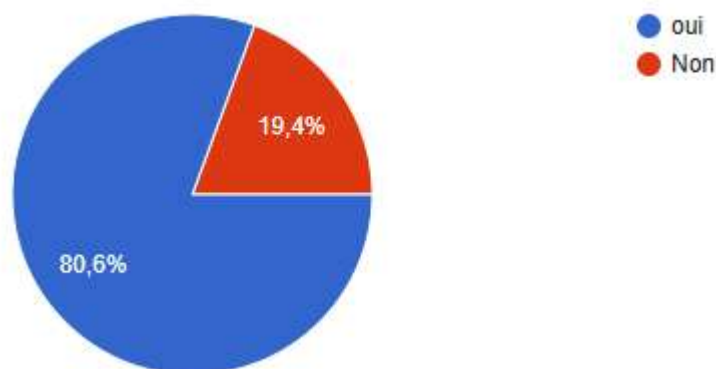
Les formes d'incorporation des insectes les plus susceptibles d'être adoptés par des néophiles sont l'incorporation sous forme de farine (57 %) et l'association à des saveurs familières comme le curry ou le barbecue (33,3 %).

Le choix d'incorporer les insectes sous forme de farine permettra donc de minimiser au maximum les barrières psychologiques.

Ce résultat corrobore celui de l'enquête menée par Rudy Caparros Megido et al. en 2013 sur l'acceptabilité des insectes comestibles par des consommateurs belges. Il avait montré que la néophobie pouvait être réduite grâce à la forme d'incorporation des insectes, et à une communication plus efficace sur les avantages nutritionnels et écologiques liés à la consommation de ces arthropodes.

10.5- Position hédonique de l'échantillon vis-à-vis du biscuit Molitor (drêche + farine d'insecte : *Tenebrio molitor*)

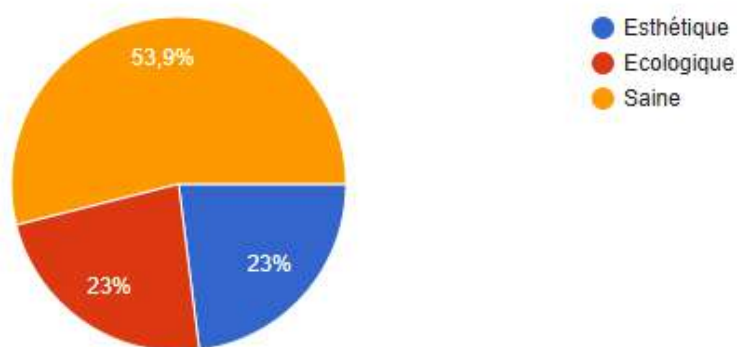
- Possibilité d'achat du biscuit par les individus de notre population



Plus de 80 % de notre échantillon se dit prêt à goûter notre biscuit. Ce résultat confirme l'observation précédente, qui soulignait la possible adhésion des consommateurs belges aux produits à base d'insectes. Cependant, ces résultats doivent être interprétés avec prudence, car ce type de question entraîne souvent une surestimation des intentions par soucis de bienveillance.

- La communication

La communication la plus fiable est celle qui présentera le produit comme sain (53.9 % des répondants), donc la mise en avant de la composition nutritionnelle est indispensable pour séduire notre population.



Conclusion marketing

En somme, il ressort que la prise en compte des aspects environnementaux et nutritionnels est indispensable pour séduire notre population cible. La forme d'incorporation des insectes la plus appropriée reste l'adjonction sous forme de farine, qui permet de limiter les freins psychologiques. Par ailleurs, une communication efficace sur les avantages de l'entomophagie demeure essentielle pour une vulgarisation de cette pratique encore peu répandue dans les pays développés.

Malgré les avantages connus du e-commerce, ce canal de distribution ne semble pas adapté à notre produit Molitor contrairement au petit commerces et boutiques spécialisées.

Chapitre III- Cahier de charges du biscuit Molitor

1- Santé

La montée préoccupante des maladies nutritionnelles liées à l'alimentation incite les consommateurs à prêter attention à la composition nutritionnelle des aliments qu'ils consomment. Ils recherchent des aliments sains et nutritifs (Nagi et al., 2012). Dans l'optique de formuler un aliment santé, certaines valeurs nutritionnelles sont ciblées pour faire de notre biscuit une gourmandise saine.

- Un taux d'incorporation d'environ 15 à 30 % de farine de drêche est envisagé. En effet, cette matrice, riche en fibres et en protéines, favorisera une augmentation de l'indice de satiété et une réduction de l'apport énergétique du biscuit (Salleh et al., 2019). Le taux d'incorporation est maximisé à 30% pour garantir au produit final de bonnes qualités sensorielles, gustatives et antioxydantes (Reis et Abu-Ghannam, 2014).
- En raison de la teneur élevée en protéines et en fibres des drêches et des insectes, nous aspirons à porter des allégations nutritionnelles riches en fibres et en protéines sur l'étiquette de notre produit. Cela vise à confirmer ses bienfaits nutritionnels et à instaurer une relation de confiance avec les consommateurs. Pour ce faire, il est impératif que 20 % de l'apport énergétique du biscuit provienne des protéines. De plus 100 g de biscuit devraient apporter 6 g de fibres conformément au règlement CE n° 1924/2006 sur les allégations nutritionnelles et de santé. Cependant, si ces taux d'apport protéique et de fibre ne sont pas atteints, nous nous contenterons des allégations source de protéines et source de fibres.
- La farine de ver contient 25 à 30 % (m/m) d'acides gras. La proportion d'acides gras insaturés est de 21 %. Ces acides gras, ne sont pas synthétisés par l'organisme et doivent être apportés par l'alimentation. Ils sont impliqués dans la prévention des maladies cardiovasculaires en contribuant à la diminution du taux de LDL, à la réduction du risque de certains cancers et la régulation de l'inflammation (Kaapor et al., 2021). Elle contient également la quasi-totalité des acides aminés essentiels (Can Karaca et al., 2023).
- Le taux d'incorporation de farine de ver sera fixé à 10 g pour 100 g de biscuit. Cette quantité correspond à la valeur maximale autorisée par le règlement CE n° 2021/ 882 en application du règlement CE n° 2283/2015.
- Les acides hydroxycinnamiques (acide férulique, coumarique, sinapique, caféique) contenus en quantité significative dans les drêches, sont d'excellents anti-oxydants capables de

neutraliser les radicaux libres, prévenant ainsi la survenue des mutations d'ADN à l'origine de certains cancers. De plus, ils contribuent à la prévention de l'apparition ou du développement de certaines maladies chroniques telles que l'obésité et le diabète de type II (Barbosa-Pereira et al., 2013).

- L'association des drêches et des insectes fournira également un large éventail de minéraux, indispensables au bon fonctionnement de nombreuses voies métaboliques. Ces micronutriments, nécessaires en faibles quantités, ne peuvent être apportés à l'organisme que par le biais de l'alimentation, car leur synthèse de novo est impossible (Tagliante, 2022). Des vitamines hydrosolubles et liposolubles seront également fournies par le produit final.
- L'étiquetage nutritionnel rapide se fera grâce au Nutri-score qui sera vert, soit A ou B

2- Sécurité

L'industrie alimentaire est confrontée à de nombreux défis, parmi lesquels figurent les crises alimentaires. Qu'elles soient d'origine microbiologique, chimique ou physique, ces crises mettent en péril la santé des consommateurs ainsi que leur confiance envers les fabricants.

Face à ces enjeux, l'analyse des dangers et des points critiques pour leur maîtrise s'avère être un outil indispensable pour garantir la sécurité sanitaire des aliments. C'est ce qui explique son application obligatoire dans le secteur agroalimentaire. Par ailleurs, le paquet hygiène, plus spécifiquement le règlement CE n° 853/2004 souligne que la qualité sanitaire de tout aliment mis sur le marché incombe au producteur.

Dans le cadre de la production de notre biscuit, nous devons avant tout contrôler la qualité microbiologique et chimique de toutes nos matières premières. Les valeurs acceptables sont fixées sur la base du règlement CE n° 1831/2003 (critères chimiques) et du règlement CE n° 1831/2003 (critères microbiologiques).

Tableau 4: Les principales toxines susceptibles d'être rencontrées dans les céréales et leur dose maximale acceptable

Mycotoxines	Limite maximale tolérable
Déoxynivalénol (DON)	1250 µg/kg
Aflatoxine B1	2 µg/kg
Somme des aflatoxines (B1, B2, G1, G2)	4 µg/kg
Zéaralénone (ZON)	100 µg/kg
Toxine T2 et HT-2	Niveau d'orientation 50 µg/kg
Fumonisine B1 + B2 dans le maïs brute	4000 µg/kg
Ochratoxine A	3 µg/kg
sclérote d'ergot	< 0.2 g/kg

Tableau 5: Les principaux micro-organismes susceptibles d'être rencontrés dans la farine de *Tenebrio molitor*

Matrices	Germes	Limites maximales
Farine de <i>Tenebrio molitor</i>	Enterobacteriaceae	Inférieur à 10 UFC/g
	<i>Bacillus cereus</i>	Inférieur à 100 UFC/g
	Nombre total de colonie aérobies	Inférieur ou égal à 10 ⁵ Ufc/g
	<i>Escherichia coli</i>	Inférieur à 50 UFC/g
	<i>Salmonella spp.</i> ,	Absence dans 25 g
	<i>Listeria monocytogenes</i> ,	Absence dans 25 g
	Anaérobie sulfito-réducteurs,	Inférieur à 30 UFC/g
	<i>Staphylocoques</i> à coagulase positive,	Inférieur à 100 UFC/g
	Levure et moisissure	Inférieur à 100 UFC/g

Ces micro-organismes représentent les principales espèces qui seront recherchées dans notre produit afin de garantir son innocuité. L'utilisation d'eau potable et la mise en place des bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication, permettront d'éviter les contaminations croisées.

Les contaminants chimiques susceptibles d’être présents dans la farine de *Tenebrio molitor* et potentiellement dans les crackers sont récapitulés dans le tableau 7

Tableau 6: Contaminants chimiques susceptibles d’être trouvés dans la farine de *Tenebrio molitor*

Types de contaminants	contaminants	Dose maximale
Métaux lourds	Cadmium	≤ 0,075 mg/kg
	plomb	≤ 0,1 mg/kg
Mycotoxines	Aflatoxines (B1+B2+G1+G2)	≤ 4 µg/kg
	Aflatoxine B1	≤ 2 µg/kg
	Déoxynivalénol	≤ 200 µg/kg
	Ochratoxine A	≤ 1 µg/kg

L’activité de l’eau de notre produit se situera entre 0,1 – 0,5. Le choix de cette plage spécifique vise à restreindre le développement des micro-organismes tout en minimisant l’oxydation des lipides.

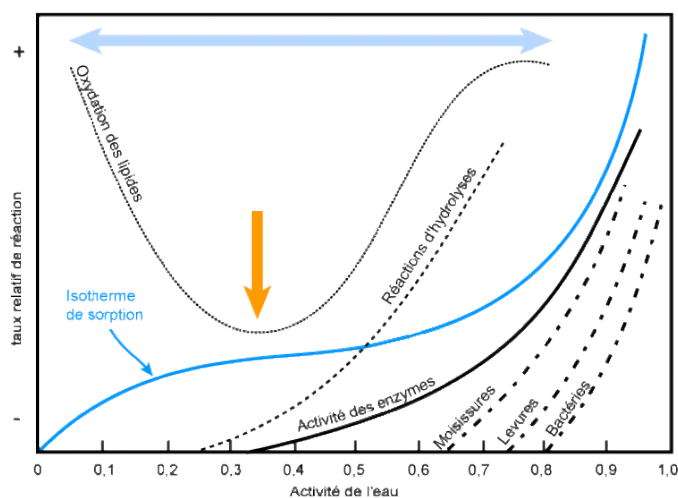


Figure 30: Taux relatif des principaux agents de dégradation des matrices organiques en fonction de l'AW (Baldet et al., 2012).

Cependant, en raison de la forte hygroscopie engendrée, un emballage hermétique à l'air et à l'humidité sera nécessaire pour préserver les propriétés du biscuit et sa stabilité microbiologique.

Nous nous réservons la possibilité d'utiliser des conservateurs pour accroître la stabilité de notre produit dans le temps. En effet, la richesse des drêches en composés phénoliques pourrait potentiellement permettre la neutralisation de tous les radicaux libres qui sont à l'origine de la propagation de l'oxydation des lipides. Toutefois, le choix d'un conservateur optimal reste à déterminer.

Conformément à la législation européenne sur l'information des consommateurs (règlement CE n° 1169/2011), tous les allergènes présents ou susceptibles d'être présents dans le produit doivent être clairement mentionnés sur l'étiquette en écriture distincte et facilement lisible. Les allergènes de notre biscuit comprennent le gluten et les insectes, car ceux-ci (les insectes) peuvent provoquer des réactions allergiques chez des personnes ayant des allergies connues aux crustacés et produits dérivés.

Les dangers physiques

L'utilisation des céréales en brasserie passe impérativement par une étape de tri suivie du concassage. Le tri est d'une importance capitale car tout déchet oublié se retrouvera inévitablement dans la drêche. Les principaux corps étrangers susceptibles de se retrouver dans la drêche sont les pierres, le bois, les plastiques, les débris métalliques tels que les vis ou les bijoux. Il est donc judicieux d'appliquer systématiquement de bonnes pratiques d'hygiène tout au long de la fabrication. Ces objets ne peuvent être considérés comme des dangers pour le consommateur que s'ils ont un diamètre compris entre 7 et 25 mm, selon la Food and Drug Administration (FDA). Il en va de même pour les farines de blé et d'insecte qui devront être exemptes de corps étrangers.

3- Satisfaction

3.1- Texture

L'ensemble des propriétés mécaniques, géométriques, de surface et de corps d'un produit, perceptibles par les récepteurs kinesthésiques ou somesthésiques et (le cas échéant) par les récepteurs visuels et auditifs, depuis la première bouchée jusqu'à l'avalement final (ISO 5492 :

2008). Elle joue un rôle primordial dans l'acceptabilité globale des produits alimentaires (Mamat et al., 2010).

Les propriétés mécaniques englobent la dureté, la cohésion, l'élasticité, la viscosité et l'adhérence. La dureté est la propriété mécanique primordiale des biscuits, car elle conditionne la perception sensorielle au cours de la dégustation.

La force de Newton de notre biscuit sera comprise entre 30 et 50 N car la teneur élevée en fibres favorisera une rétention accrue d'eau et le produit sera plus compact.

3.2- Couleur

La couleur impacte l'acceptabilité initiale d'un produit de boulangerie par le consommateur. Elle est définie par un système de codage permettant de représenter tout le spectre visible d'un produit grâce à trois paramètres : la clarté (L^*), et les composantes du plan chromatique a^* et b^* pour les faces supérieure et inférieure.

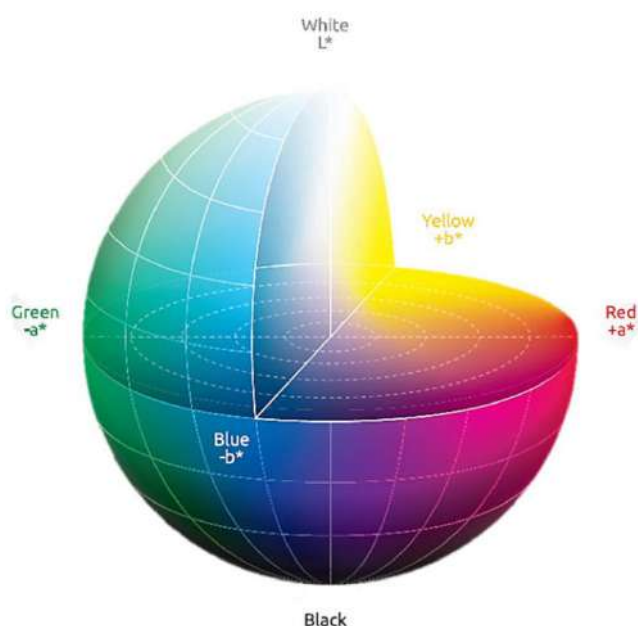


Figure 31: Espace colorimétrique défini par la commission internationale d'éclairage $L^*a^*b^*$.

La couleur typique des biscuits est le brun, mais celle-ci est fortement influencée par les ingrédients de la recette et les réactions qui se produisent entre eux.

Une étude menée par Zielińska et al. sur l'incorporation de la farine de vers dans des biscuits sablés a montré une diminution des paramètres clarté L^* et jaunissement b^* , tandis que la

composante rougeur a^* a augmenté. Nous nous attendons à avoir des variations similaires car la farine d'insectes et les drêches sont naturellement sombre.

3.3- Goût

Le biscuit aura une saveur sucrée avec des arômes de céréales torréfiées. Aucun exhausteur de goût ne sera utilisé lors de la formulation.

3.4- Forme

Les biscuits auront une forme circulaire, avec un diamètre d'environ 5 cm pour une épaisseur de 0,5 à 0,8 cm. Le choix de cette forme s'explique par le désir d'avoir une cuisson homogène et rapide.

4- Sociétal

La composante sociétale, axée sur la durabilité, la responsabilité environnementale et sociale, devient de plus en plus cruciale pour façonner l'image de marque de l'entreprise et préserver ses parts de marché. Près de la moitié des consommateurs exigent des produits écoconçus, tandis que 60 % montre une préférence marquée pour des contenants ou des emballages réutilisables et/ou recyclables (Dionne, 2019). Cette prise de conscience collective favorise une meilleure acceptation des aliments issus de la valorisation des sous-produits, particulièrement chez les consommateurs soucieux des répercussions écologiques de leur alimentation.

Pour formuler notre biscuit, nous utilisons les drêches de brasserie, un sous-produit de l'industrie brassicole dont la composition nutritionnelle est particulièrement intéressante. En plus d'offrir des avantages nutritionnels, cette valorisation contribue à une économie circulaire, réduisant ainsi les pressions anthropiques sur les ressources environnementales.

Le circuit d'approvisionnement en drêche est court. Cette proximité géographique avec notre fournisseur nous permet de réduire significativement les impacts environnementaux et économiques liés à la logistique.

En complément des drêches, nous utiliserons la farine d'insecte comme seconde matière première. De nombreuses études ACV ont démontré que l'utilisation d'insectes engendre des effets environnementaux moindres comparativement aux sources de protéines conventionnelles (Van

Huis, 2013). Cette symbiose entre les drêches de brasserie et les insectes vise à promouvoir une alimentation à la fois saine et respectueuse de l'environnement.

Les biscuits seront emballés dans des matériaux biosourcés fabriqués à partir de dérivés cellulosiques issus de matières premières végétales, telles que le bois ou la mélasse de canne à sucre. Ces matériaux sont biosourcés et biodégradables. Cependant, il est important de noter que le principal défi associé à l'utilisation de ces matériaux d'origine biologique réside dans leur coût relativement élevé (Nature plast, 2024).

Cette stratégie de production responsable et soutenable, basée sur la valorisation des sous-produits, l'écoconception et les circuits d'approvisionnement courts est en adéquation avec les objectifs de développement durable de l'Union européenne.

5- Service

La composante service renvoie principalement aux caractéristiques de l'emballage. Le nomadisme, principale caractéristique des sociétés contemporaines doit être pris en compte dans la conception de notre emballage. Celui-ci sera élaboré à partir de matériaux biosourcés et recyclés, le but étant de réduire son impact environnemental.

Les caractéristiques de cet emballage sont les suivantes :

- . Contenir 18 biscuits circulaires regroupés en 03 lots de 06 biscuits chacun, chaque biscuit ayant un diamètre 5 cm et une épaisseur de 0,5 – 0,8 cm
- . Permettre une date de durabilité minimale car notre biscuit n'est pas microbiologiquement très périssable
- . Protéger contre les micro-organismes et les vecteurs de menaces extérieures
- . Être étanche à l'air et l'humidité
- . Être adapté aux dimensions des rayons de magasin et favoriser une exposition verticale
- . Garantir l'inviolabilité
- . Être refermable pour l'emballage secondaire en carton
- . Être un support marketing efficace

6-Formulation de base pour le biscuit

Dans cette section, nous présenterons la formule complète du biscuit Molitor. Les différents ingrédients ainsi que leurs proportions respectives seront détaillés afin d'avoir une vision plus claire du produit final.

Sur la base des informations fournies par la revue sur les biscuits sucrés de Pareyt (2008), nous utiliserons la formulation des biscuits semi-sucrés proposée par Cauvain et Young (2006).

Tableau 7: Teneurs des différents ingrédients d'un biscuit semi sucré (Cauvain et Young, 2006)

Ingrédients	Quantité (en g / 100g)
Farine de blé tendre	47.5 – 54.0
Sucre	19.2 – 25.0
Matières grasses	13.0 – 20.0
Sirop et / ou extrait de malt	2.0 – 4.0
Poudre de lait écrémé	1.4 – 1.7
Sel	1.0
Sodium bicarbonate	0.4 – 0.6
Lécithine	0.26 – 0.4
Conservateurs (sodium metabisulfite, ammonium bicarbonate)	0.43 – 1.535
Eau	19.0 – 24.0

Des ajustements ont apportés à cette formulation afin d'atteindre les spécifications physico-chimiques et de santé que nous nous sommes fixées.

En effet, certains constituants ont été totalement ou partiellement remplacés. C'est le cas des protéines de lait écrémé, de la matière grasse et de l'extrait de malt.

7-Démarche d'optimisation de la formulation

Dans le cadre de la formulation de notre biscuit sucré Molitor, l'ajout de sel n'a pas été retenu dans la formulation initiale afin de préserver le profil sensoriel recherché.

Par ailleurs, les formulations ont été développées sans protéines de lait écrémé ni malt, ingrédients utilisés dans la formulation de référence pour leurs propriétés technologiques et nutritionnelles. Ces matrices ont été remplacées par des drêches de brasserie et de la farine d'insecte, dans une optique de valorisation de coproduits agroalimentaires et d'introduction de nouvelles sources protéiques durables.

La quantité de farine d'insecte incorporée dans les différentes formulations variait entre 0 et 10 g. La valeur maximale de 10 g correspond à la limite d'incorporation autorisée par la réglementation sur les novels foods pour ce qui concerne les biscuits contenant de la farine de ver.

Au cours de nos essais préliminaires, nous avons observé que l'incorporation de farine d'insecte a principalement entraîné des modifications de la couleur et du goût, avec l'apparition d'une saveur se rapprochant fortement de celle des noisettes. Les formulations intégrant uniquement les drêches de brasserie étaient plus claires que celles intégrant la combinaison drêches et la farine d'insecte.

Par ailleurs, l'ajout d'œuf dans certaines formulations n'a pas permis d'obtenir une texture plus moelleuse du produit final

Au cours de ces tests préliminaires, certains paramètres de formulation ont été maintenus constants afin de limiter le nombre de variables étudiées. La teneur en lipides (13 g) a été retenue afin de limiter l'apport énergétique du produit. La quantité maximale de levure a été utilisée afin de favoriser une meilleure aération de la pâte et du biscuit final, tandis qu'une valeur intermédiaire de sucre (20 g) a été sélectionnée afin d'assurer un équilibre entre la coloration du biscuit et la perception du goût sucré.

❖ Taux d'incorporation des drêches de brasserie

Les différents taux d'incorporation des drêches ont été définis sur la base d'une analyse de la littérature scientifique. En effet, plusieurs études indiquent que des niveaux d'incorporation élevés

de BSG dans des produits de boulangerie, notamment autour de 30 %, peuvent avoir des effets défavorables sur la qualité rhéologique de la pâte ainsi que sur les propriétés organoleptiques du biscuit.

Des essais exploratoires réalisés avec des taux d'incorporation respectifs de 30 %, 35 %, 40 % de BSG, ont conduit à l'obtention d'une pâte très rigide, peu extensible et difficilement malléable rendant ainsi le façonnage particulièrement complexe.

Les biscuits quant à eux présentaient une dureté plus élevée que ceux formulés avec de plus faibles quantités de BSG.

Les variations de 5 % du taux d'incorporation de drêches n'ont pas entraîné de modifications significatives de la couleur ni du profil gustatif des biscuits.

Afin de disposer d'écarts suffisamment marqués pour observer l'influence de ce coproduits brassicole sur les propriétés du produit final, un pas d'incorporation de 10 % a été retenu.

Formulation	Masse MG (g)	f. blé (g)	f. BSG (g)	f. insecte (g)	Sucre (g)	Levure (g)	Eau (g)
Contrôle	13	47.39	0	0	20	0,6	19
5% BSG	13	35.52	1.87	10	20	0.6	19
10% BSG	13	33.65	3,74	10	20	0,6	19
15% BSG	13	31.78	5.61	10	20	0.6	19
20% BSG	13	29.91	7.48	10	20	0.6	19
25% BSG	13	28.04	9.35	10	20	0.6	19
30% BSG	13	26.17	11.22	10	20	0.6	19
35% BSG	13	24.30	13.09	10	20	0.6	19

❖ Choix de la matière grasse

La matière grasse joue un rôle clé dans la texture finale et le goût d'un produit alimentaire.

Plusieurs matières grasses notamment l'huile de tournesol, l'huile d'olive, l'huile de coco et le beurre, ont été testées lors de la formulation des biscuits Molitor afin d'évaluer leur influence sur la qualité de la pâte, le façonnage et les propriétés organoleptiques du produit final.

Les résultats observés lors du façonnage ont montré que les matières grasses liquides, en particulier l'huile de tournesol, permettaient d'obtenir une pâte plus homogène et plus facile à travailler. En effet, les huiles liquides se dispersent plus rapidement et plus uniformément dans la matrice farineuse, ce qui favorise une lubrification plus homogène des constituants et une meilleure plasticité de la pâte. Cette propriété facilite le mélange des ingrédients et permet d'obtenir une pâte souple, peu collante et facilement malléable.

À l'inverse, les matières grasses solides telles que le beurre ou l'huile de coco présentent une structure cristalline qui nécessite une incorporation plus énergique pour être correctement dispersée dans la pâte.

Un pétrissage intense permettait de disperser les agrégats lipidiques, mais cela s'accompagnait d'un développement excessif du gluten donnant une pâte très collante.

Du point de vue de la texture finale, l'huile de tournesol a donné une texture plus uniforme et une friabilité acceptable, tout en évitant une structure trop dense.

Les biscuits avec l'huile d'olive avaient des notes aromatiques plus marquées qui sont entrées en compétition avec les arômes de torréfaction des drêches et celle des noisettes de la farine d'insectes. Cette saveur nouvelle due à l'huile d'olive n'a pas convaincu les dégustateurs. Cette modification du goût n'a pas été observée avec l'huile de tournesol qui est plus neutre.

Ainsi, au regard de la facilité de façonnage de la pâte et la texture finale du biscuit, l'huile de tournesol a été retenue comme matière grasse pour la formulation finale de notre biscuit Molitor.

❖ Pétrissage ou mélange des ingrédients

Deux méthodes de pétrissage ont été testées lors de la formulation : un pétrissage en une étape, consistant à mélanger l'ensemble des ingrédients simultanément, et un pétrissage en deux étapes comportant un crémage huile-sucre avant l'incorporation des autres ingrédients.

La méthode avec crémage a permis d'obtenir des pâtes moins collantes et plus faciles à manipuler. Les biscuits obtenus présentaient également une structure plus aérée, caractérisée par la présence d'un plus grand nombre de cellules d'air dans la matrice du produit.

Ce phénomène peut s'expliquer par un développement plus limité du réseau de gluten lors du pétrissage en deux étapes et l'incorporation d'air. En effet, la dispersion de la matière grasse dans l'eau réduit l'interaction directe entre l'eau et les protéines de la farine, ce qui limite la formation et l'intensité du réseau de gluten. De plus, le crémage favorise un emprisonnement d'air qui sera libéré lors de la cuisson.

❖ Temps de pétrissage

Nous avons testé différentes vitesses du KitchenAid afin d'évaluer leur influence sur l'homogénéité de la pâte. La vitesse maximale (vitesse 5) a conduit à l'obtention d'une pâte trop collante, probablement en raison d'un développement excessif du réseau glutineux lié à l'intensité du pétrissage. À l'inverse, l'utilisation d'une vitesse faible (vitesse 2) a donné une pâte peu homogène, nécessitant un temps de pétrissage plus long pour assurer un mélange optimal des ingrédients.

La vitesse 3 a donné le meilleur compromis entre homogénéité de la pâte et facilité de façonnage.

❖ Temps de cuisson

Différents temps et températures de cuisson ont été testés afin d'assurer une cuisson uniforme et un brunissement homogène des biscuits.

- 160 °C / 15 min : les biscuits obtenus n'étaient pas suffisamment cuits.
- 165 °C / 15 min : la cuisson restait incomplète pour une partie des biscuits.
- 170 °C / 20 min : les biscuits témoins étaient correctement cuits, mais ceux contenant des drêches de brasserie et de la farine de *Tenebrio* ne présentaient pas une cuisson complète.
- 170 °C / 25 min avec une ventilation réduite à 1 : Tous les biscuits étaient cuits de manière uniforme

8- Récapitulatif du plan HACCP

a- Equipe

- NZETOUPI TCHINDA Christian : développeur produit
- Prof. GOFFIN Dorothée : Responsable du Smart gastronomy lab, laboratoire de recherche et développement en innovation alimentaire qui possède une cuisine ayant des autorisations Afsca pour la formulation alimentaire.
- Prof. AYADI Mohamed : Responsable du laboratoire de qualité et sécurité des produits agro-alimentaires de Gembloux agro biotech.

b- Description du biscuit Molitor

Biscuit sec à base de drêche de brasserie et de farine d'insecte, plus précisément il s'agit de la substitution partielle de la farine de blé par la farine de drêche de brasserie et la farine *de Tenebrio molitor*. L'objectif est amélioration des propriétés nutritionnelles du biscuit principalement sa teneur en fibres, en protéines et en cendres tout en conservant sa palatabilité.

c- Utilisation du biscuit

Biscuit prêt à la consommation sans aucun traitement préalable. Celui-ci peut être consommé par toutes les populations, excepté les personnes allergiques aux crustacés qui peuvent développer des allergies croisées avec certaines protéines d'insectes.

d- Diagramme de fabrication confirmé avec les principales CCP

Sur ce diagramme les CCP sont des étapes en rouge.

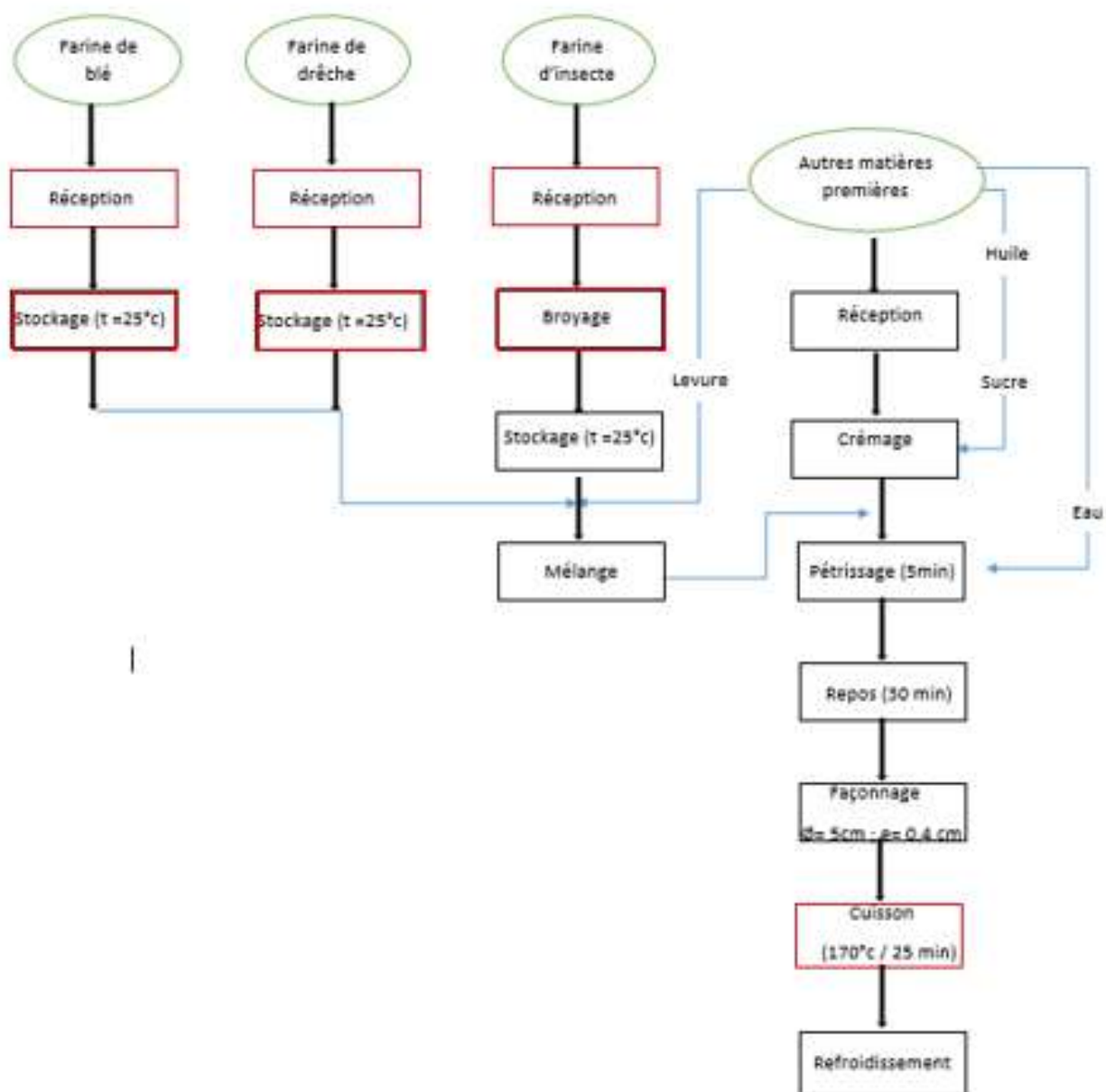


Figure 32: Diagramme de fabrication avec les principales CCP

e- Analyse des dangers, limites critiques et action correctives

Elle est reprise sur les deux images ci-dessous

Etape	Dangers	Limites critiques	Surveillance des LM	Actions correctives	Vérification	enregistrement
Réception des drêches	<u>Chimique :</u> contamination initiale des céréales avant brassage par les mycotoxines et/ou les métaux lourds <u>Microbiologique :</u> Champignons + bactéries aérobies	<u>Mycotoxines</u> .Aflatoxine B1 < 2 µg/kg .Aflatoxine B1+B2+G1+G2 < 4µg/kg .Ochratoxine < 3 µg/kg .Déoxynivalénol < 1250 µg/kg .Zéaralénone < 100 µg/kg .sclérote d'ergot < 0.2 g/kg <u>Métaux lourds</u> .Plomb < 0.2 mg/kg .cadmium : 0.05 mg/kg Flore totale comprise entre 10^2 – 10^3 ufc/g (Robertson et al. 2010)	Contrôle annuel par un laboratoire indépendant et accrédité	.Retour systématique des lots non conformes .Avertissement au fournisseur et preuve de l'amélioration de la qualité (correction des causes de la non-conformité) .Changement de fournisseur en cas de récurrence	Tester un nouveau lot	.certificat de conformité .durée de suivie .communication sur les causes de la non-conformité
Stockage des drêches séchées	<u>Microbiologique et chimique</u> Croissances des micro-organismes	. Température $\geq 25^{\circ}\text{C}$. Aw du produit < 0.5 .Absence de nuisible	Contrôle fréquent par un	. Corriger la température . Optimiser le séchage	. Prise des nouvelles valeurs après corrections par un	

	et production de toxines ; déjection de rongeurs		opérateur qualifié	.Application stricte des BPH	opérateur qualifié	
Réception de la farine d'insecte	<u>Microbiologique</u> Contamination initiale chez le fournisseur Entomobio lors de la culture ou le séchage <u>Chimique</u>	<u>Bactéries</u> .Enterobacteriaceae < 10 ufc/g .Bacillus cereus < 100 ufc/g .Flores aérobie totale ≤ 10 ⁵ ufc/g .Escherichia coli < 50 ufc/g .Salmonella spp: absence 25g .Listeria monocytogenes: absence dans 25g .Anaérobies sulfito- réducteurs <30 ufc/g .staphylococques à coagulase positive < 100 ufc/g .Levures + champignons < 30 ufc/g <u>Métaux lourds</u> .Cadmium < 0.1 mg/kg .Plomb < 0.075 mg/kg	. Contrôle annuel par un laboratoire indépendant et accrédité . Preuve de conformité	. Retour systématique des lots non conforme .Avertissement du fournisseur et preuve de l'amélioration de la qualité (correction des causes de la non- conformité) .Changement de fournisseur en cas de récidive	Tester un nouveau lot	.certificat de conformité .durée de suivie .commun ication sur les causes de non- conformité

f- Validation du plan HACCP et enregistrement

La validation du plan HACCP a été réalisée par l'ensemble de l'équipe HACCP lors de réunions d'évaluation. L'ensemble des documents de suivi et preuves de conformité est conservé exclusivement sur support numérique, conformément aux exigences de traçabilité et de suivi que nous nous sommes fixées.

Chapitre IV- Matériels et méthodes

I- Matériels

Matières premières

Les drêches

Les drêches de brasserie utilisées pour nos différentes formulations ont été collectées auprès de la brasserie Gembloux Bière. Elles proviennent exclusivement d'un malt clair de type Pilsner, constitué uniquement d'orge. Après le brassage, les drêches ont été récoltées dans un délai de 4 heures, puis immédiatement stockées à froid négatif (-18°C), évitant ainsi tout risque de dégradation microbiologique.

Avant d'être séchées, les drêches ont été décongelées progressivement sur une période de 24 heures à une température contrôlée de 4°C , dans un réfrigérateur. Le processus de séchage a ensuite été réalisé à 40°C pendant 48 heures dans une étuve à air chaud de marque memmert, afin de préserver les composés thermosensibles tout en empêchant le développement d'odeurs indésirables (Shih et al., 2023). Toutes ces dispositions visaient à maximiser la qualité des drêches pour des utilisations ultérieures, tout en minimisant la perte de composés nutritifs et/ou bioactifs.



La farine d'insecte

La farine d'insecte utilisée pour notre formulation provient du fournisseur belge Entomobio. Il s'agit du *Tenebrio molitor*, un insecte autorisé dans l'alimentation humaine par la réglementation européenne. Ces insectes sont élevés dans des fermes verticales à l'aide de sous-produits comme le son de blé et la levure de bière...

La farine de *Tenebrio* a une couleur marron et une odeur se rapprochant fortement de celle de la noisette et du sucre brun.

Afin de garantir la qualité et la sécurité du produit final, la farine a été stockée conformément aux recommandations du fabricant, c'est-à-dire à l'abri de la lumière et de l'humidité.



Les autres ingrédients farine de blé T55, huile de tournesol, poudre à lever Dr. Oetker et sucre ont été achetés au magasin colruyt de gembloux sur la base principale de leur eco et nutriscore

II- Méthodes

1- Préparation des biscuits

Diagramme de fabrication

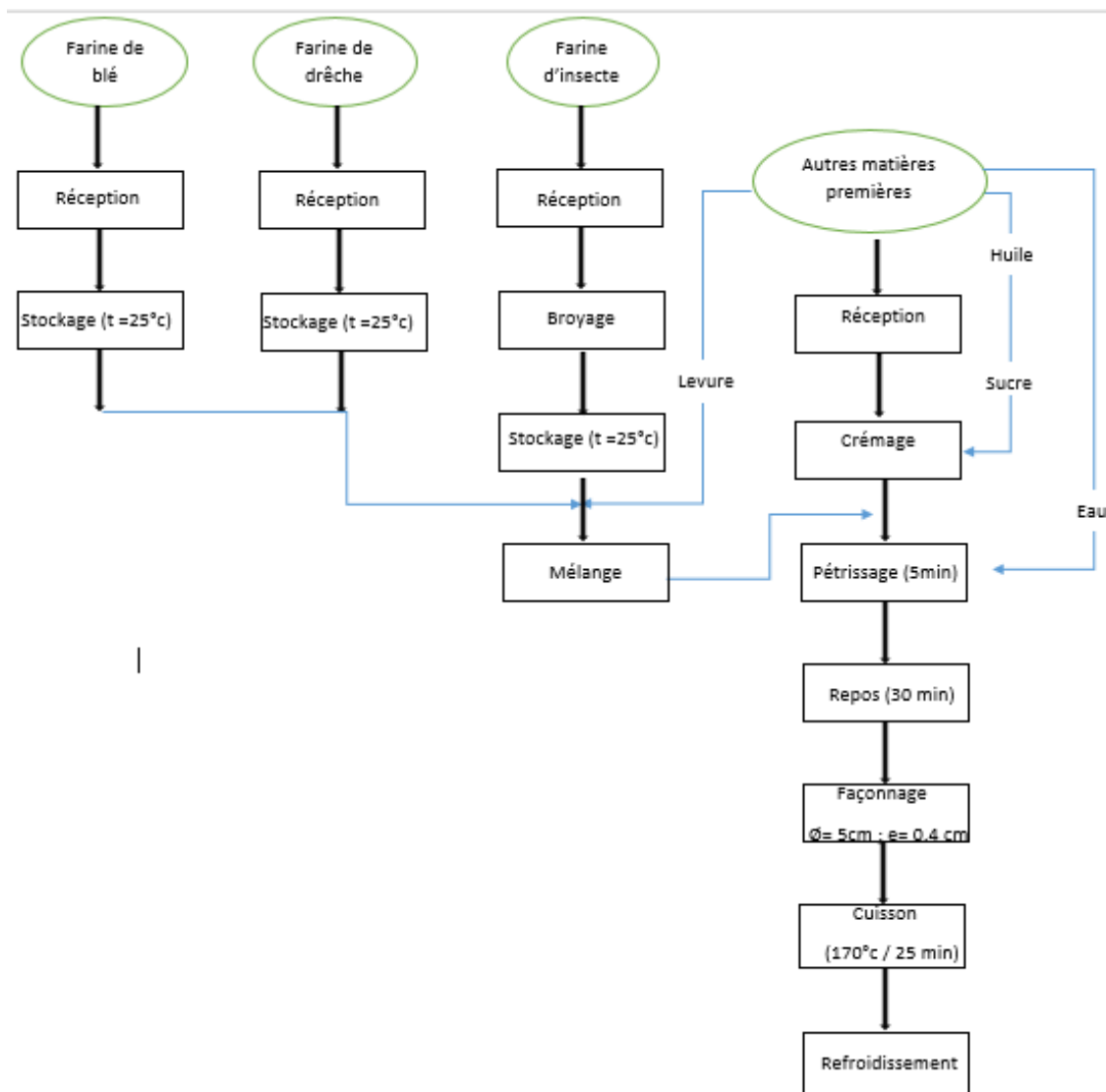


Figure 33: diagramme de fabrication du biscuit Molitor

Le mélange des ingrédients a été réalisé en deux étapes. Dans un premier temps, le sucre et l'huile de tournesol ont été mélangés, puis crémés à l'aide d'un pétrin de la marque KitchenAid (Saint-Joseph, Michigan, USA), modèle 5KSM150.

Les farines ont ensuite été ajoutées progressivement avec l'eau. Le pétrissage a duré 5 minutes, puis la pâte a été laissée au repos pendant 30 minutes afin d'assurer une répartition homogène de l'humidité.

La cuisson a été effectuée à 170 °C pendant 25 minutes. Ensuite les biscuits ont été refroidis à température ambiante avant d'être conditionnés dans des sachets sous vide pour des analyses ultérieures

Les drêches de brasserie ont été incorporées aux préparations à des taux de 10 %, 20 % et 30 % de la masse de farine de blé présente dans le témoin. La quantité de farine de *Tenebrio molitor* ajoutée dans chaque préparation, à l'exception du témoin, était de 10 g pour 100 g de préparation. Cette valeur correspond à la teneur maximale autorisée par le règlement (CE) n° 2283/2015. Le façonnage a été réalisé à l'aide d'un emporte-pièce métallique de forme circulaire, et chaque biscuit présentait un diamètre de 5 cm et une épaisseur de 4 mm.

Les biscuits ont été élaborés selon les recettes suivantes :

NB : Les masses sont exprimées en grammes, et la masse de l'eau a été incluse dans la formulation pour constituer un total de 100 g de pâte.

Tableau 8: Plan d'expérience

	f. blé (g)	f. BSG (g)	f. insecte (g)	Sucre (g)	matière grasse (g)	Bicarbonate (g)	Eau (g)
contrôle	47.39	0	0	20	13	0,6	19
10 % BSG	33,65	3,74	10	20	13	0,6	19
20 % BSG	29.91	7.48	10	20	13	0,6	19
30 % BSG	26.17	11.22	10	20	13	0,6	19

2- Caractérisation nutritionnelle du biscuit

Les teneurs en humidité, en cendres totales, en fibres brutes, en matières grasses, en protéines brutes et en glucides des biscuits formulés ont été déterminées à l'aide de méthodes de laboratoire standard (AOAC). Toutes les analyses ont été réalisées en triplicata afin de garantir la fiabilité scientifique et la reproductivité des résultats.

❖ La teneur en matières grasses

La teneur en matière grasse a été déterminée par extraction après hydrolyse acide selon la méthode AOAC 930.09, à l'aide d'un extracteur Soxtherm (SER 148, Velp Scientifica, Europe)

Une fiole d'extraction contenant des régulateurs d'ébullition préalablement séchée à 103 ± 3 °C pendant 1 h, refroidie dans un dessiccateur, puis pesée afin de déterminer sa masse initiale (m_0).

Ensuite, 3,00 g d'échantillon homogénéisé ($\pm 0,001$ g) ont été soumis à une hydrolyse acide par addition de 50 mL d'acide chlorhydrique 4 N. Le mélange a été porté à légère ébullition sous réfrigérant pendant 60 min, puis refroidi à température ambiante. Les parois du système ont été rincées à l'eau distillée afin d'assurer un transfert quantitatif de l'échantillon.

Le mélange hydrolysé a été filtré sur des filtres qualitatifs, et le résidu a été lavé à l'eau distillée jusqu'à neutralisation totale de l'acide, vérifiée à l'aide de papier tournesol.

Après séchage à 103 ± 3 °C pendant 1 h, Les filtres ont été placés dans une cartouche d'extraction. Les éventuelles traces de matières grasses résiduelles ont été récupérées à l'aide de 140 mL d'éther de pétrole (40–60 °C). L'extraction lipidique a été réalisée au Soxtherm selon le programme standard du fabricant.

Après extraction, la fiole a été séchée à 103 ± 3 °C pendant 1 h afin d'éliminer le solvant résiduel, puis pesée pour déterminer la masse finale (m_1).

Cette masse correspond à celle de la fiole contenant les régulateurs d'ébullition et la matière grasse extraite.

Formule :

$$\text{MGT} = \frac{(m_1 - m_0)}{E} * 100$$

Où :

MGT : teneur en matière grasse totale (%)

m0 : masse de la fiole d'extraction contenant les régulateurs d'ébullition (g)

m1 : masse de la fiole d'extraction contenant les régulateurs d'ébullition et la matière grasse(g)

E : prise d'essai de l'échantillon (g)



Figure 34: Extraction de matières grasses au Soxhlet (a)



Figure 34: Extraction de matières grasses au Soxhlet (b)

❖ La teneur en protéine

La teneur en protéines a été déterminée par la méthode Kjeldahl dans un analyseur Kjeldahl (Velp UDK 159, Velp Scientifica, Europe) (méthode AOAC 978.04). La teneur en azote a été convertie en protéines en appliquant le facteur de conversion 6,25.

Des blancs analytiques (papier filtre seul) et des témoins de minéralisation (papier filtre additionné de 150–200 mg de glycine) ont été préalablement préparés.

Ensuite, environ 1 g de biscuit finement broyé a été introduit dans les tubes de minéralisation avec 20 mL d'acide sulfurique concentré et deux pastilles catalytiques de sulfate de potassium.

Les différents tubes ont été minéralisés à 420 °C pendant 60 min. Après refroidissement, 50 mL d'eau distillée ont été ajoutés avant la distillation de l'ammoniac, recueilli dans 50 mL de solution de réception (acide borique).

Le distillat a été titré avec une solution d'acide sulfurique 0,2 N afin de déterminer la teneur en azote, puis la teneur en protéines a été calculée à l'aide du facteur 6,25.

Expression des résultats

a) Pour l'azote total (solution titrante de 0,2 N utilisée)

$$N (\%) = \frac{(V - V_0) \times 280}{E}$$

Où :

N = Teneur en azote total (%)

V = Volume d'acide utilisé pour le titrage de l'échantillon (ml)

V₀ = Volume d'acide utilisé pour le titrage du blanc (ml)

E = Masse de la prise d'essai de l'échantillon (mg)

b) Pour les matières protéiques totales

$$MPT (\%) = N \times CF$$

Où :

MPT = Teneur en matières protéiques totales (%)

N = Teneur en azote total (%)

CF = Facteur de conversion

Le facteur de conversion utilisé lors de notre expérimentation est 6.25

❖ La teneur en cendres

La teneur en cendres a été déterminée par incinération gravimétrique dans un four à moufle selon la méthode AOAC 930.05.

Les creusets ont été préalablement calcinés à 525 °C pendant 30 min, refroidis dans un dessiccateur puis pesés (m₀).

Environ 4 g d'échantillon homogène ont été introduits dans chaque creuset et l'ensemble a été pesé (m₁).

Les différents creusets ont été incinérés dans le four à moufle à 525°C pendant environ 6h. Après incinération, les creusets ont été refroidis dans un dessiccateur puis pesés afin de déterminer la masse finale (m_2).

$$\% \text{ Cendres} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} * 100$$

avec m_2 = masse échantillon+ creuset après incinération

m_1 = masse échantillon + creuset avant incinération

m_0 = masse du creuset vide

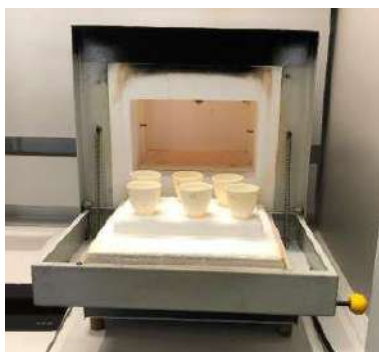


Figure 35: Four à moufle

❖ La teneur en fibre brute

La teneur en fibres alimentaires a été déterminée par digestion enzymatique gravimétrique selon la méthode AOAC 985.29 / 991.43.

Les échantillons (biscuits) ont été broyés afin d'obtenir une granulométrie inférieure à 500 µm.

Environ 1,00 g d'échantillon a été dispersé dans 40 mL de tampon MES-TRIS, puis soumis à une digestion par α -amylase à 100 °C pendant 35 min. Ensuite, 100 µL d'une solution de protéase ont

été ajoutés, et l'ensemble a été incubé pendant 30 minutes dans un bain-marie agité et thermostaté à 60 °C.

Enfin, 300 µL d'une solution d'amyloglucosidase ont été ajoutés, et la solution a été incubée pendant 30 minutes supplémentaires dans le bain-marie agité et thermostaté à 60 °C. IL est à noter que le pH a été ajusté entre 4 – 4,7 avant l'ajout de l'amyloglucosidase pour une action optimale.

Les fibres ont ensuite été précipitées pendant 60 min par addition d'éthanol chaud (60 °C) correspondant à quatre fois le volume du digestat. Le résidu obtenu a été récupéré par filtration sous vide sur des creusets contenant de la célite, lavé à l'éthanol chaud, puis séché à 103 °C pendant une nuit.

Le résidu sec a été pesé, puis corrigé des cendres (incinération à 525 °C) et des protéines déterminées par la méthode de Kjeldahl (facteur de conversion 6,25) afin d'obtenir la teneur finale en fibres alimentaires par gravimétrie

Expression et formules

Les résultats en pourcentage en masse du produit sec sont obtenus comme suit :

$$\% \text{ de fibres} = \frac{\text{Moyenne des fibres} - \text{prot et cendre} - \text{blanc}}{\text{moy masse éch}} \times 100 = \frac{((R_1 + R_2)/2 - (\%P + \%A) \cdot (R_1 + R_2)/2 - B) \cdot 100}{((m_1 + m_2)/2)}$$

$$\text{Blanco} = B = (R_1 + R_2)/2 - (\%P + \%A) \cdot (R_1 + R_2)/2$$

❖ La teneur en glucides

La teneur en glucides a été calculée par différence entre les différents constituants du biscuit.

La formule utilisée est la suivante :

$$\text{Glucide (\%)} = 100 - [\text{protéines (\%)} + \text{lipides (\%)} + \text{cendres (\%)} + \text{fibres (\%)} + \text{humidité (\%)}]$$

❖ La valeur énergétique

Elle a été calculée en multipliant les pourcentages de protéines, de lipides et de glucides par les valeurs d'Atwater, respectivement de 4, 9 et 4.

La teneur énergétique des fibres quant à elle fût multiplier par 2 conformément au règlement Ce n° 1165 / 2011 sur l'information des consommateurs.

$$\text{Valeur énergétique en kcal} = (\% \text{ protéines} * 4) + (\% \text{ lipides} * 9) + (\% \text{ glucides} * 4) + (\% \text{ fibres} * 2)$$

❖ Activité de l'eau

La mesure de l'activité de l'eau des drêches et des biscuits a été effectuée à l'aide d'un analyseur Aqualab Decagon. Chaque échantillon a été placé dans une coupelle cylindrique en plastique, remplie à mi-hauteur.

Avant la mesure, les échantillons ont été placés dans l'enceinte climatisée de l'appareil pendant 30 minutes pour s'équilibrer à la même température. L'Aqualab a été préalablement étalonné avec une solution désionisée, présentant une valeur d'activité de l'eau (A_w) de 0,25 à 25 °C.

Les échantillons ont été placés un à un dans la chambre de mesure de l'Aqualab, et les valeurs d'activité de l'eau ont été enregistrées après stabilisation de la mesure.



Figure 36:Aqualab Decagon

3- Détermination des propriétés physiques

Le poids, le diamètre, l'épaisseur, le taux d'étalement, la texture et la couleur des différents biscuits ont été déterminés selon les méthodes standard décrites par l'Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2010).

- ❖ Le diamètre (valeur moyenne de deux diagonales orthogonales) et l'épaisseur des différents biscuits ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse. Les poids ont été obtenus à l'aide d'une balance numérique à 0,01 g près.
- ❖ Le taux d'étalement a été calculé en divisant le diamètre des biscuits par leur épaisseur respective.
- ❖ La couleur des biscuits a été déterminée à l'aide d'un colorimètre Hunter's Lab (Hunter Lab scan XE, VA, États-Unis) en appliquant les principes de la méthode officielle CIELab. Les paramètres de luminosités (L^*), *rougeur* (a^*) et jaunissement (b^*) ont ainsi été trouvés.

La différence totale de couleur a été calculée grâce à la formule suivante :

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Où ΔL^* , Δa^* et Δb^* représentent respectivement les différences des valeurs L^* , a^* et b^* entre la formulation témoin (sans drêche, sans insectes) et les formulations contenant les drêches et les insectes.



Figure 37:colorimètre Hunter's Lab

❖ Texture : dureté, consistance, fracturabilité

La texture des biscuits Molitor a été déterminée à l'aide d'un test de perforation réalisé avec un texturomètre SMS TAXT2. L'appareil était équipé d'une sonde cylindrique de 120 mm de diamètre. La vitesse de déplacement lors des mesures était fixée à 120 mm/min.

La dureté a été exprimée en newtons (N), la consistance en newton-millimètres (N·mm) et la fracturabilité en millimètres (mm).

Chapitre V- Résultats et discussions

1- Images des différents biscuits formulés



100 % farine de blé



10% BSG & 10g de *Tenebrio*



20% BSG & 10g de *Tenebrio*



30% BSG & 10g de *Tenebrio*

2- Séchage des drêches et compositions nutritionnelles

Les drêches de brasserie humides sont des matières premières fortement périssables d'où la nécessité de mettre en œuvre des procédés de conservation adaptés afin de garantir leur stabilité (Lynch et al., 2016). Nous avons séché nos drêches à 40°C pendant 24h pour obtenir une farine microbiologiquement stable et propice à la conservation et l'incorporation dans des biscuits.

La caractérisation de la farine obtenue a révélé une composition nutritionnelle intéressante, confirmant le potentiel des drêches de brasserie séchées comme ingrédient fonctionnel. Les résultats de l'analyse physicochimique sont présentés ci-dessous

Tableau 9: Composition de la farine de drêche de la brasserie Gembloux beer

Aw	0,295 ± 0.002
Teneur en humidité (g/100g)	5.6729 ± 0.055
Protéines (g/100g)	20,261 ± 0.139
Matière grasse (g/100g)	8,315 ± 0.102
Fibres brutes (g/100g)	26,8 ± 0.257
Cendres (g/100g)	3.835 ± 0.078
Sucres (g/100g)	34,6 ± 0.132

Le séchage a permis de réduire l'activité de l'eau à une valeur de 0,295, considérée comme optimale pour la conservation de la farine de drêches, car elle limite toute altération d'origine microbienne (levures, moisissures, bactéries) ou biochimiques (brunissement, oxydation). En effet, les microorganismes moisissures, levures et bactéries se développent idéalement pour des activités de l'eau respectives de 0,7 ; 0,8 ; 0,9.

De plus, la teneur en humidité est passée d'environ 80 % à 5,6 %, ce qui favorise un stockage et une conservation optimale.

Ces résultats sont en accord avec les observations de Tang et al. (2009), qui rapportent que la conservation par séchage constitue la méthode la plus efficace pour les drêches de brasserie, comparativement aux méthodes utilisant le froid (réfrigération ou congélation) ou l'ajout de substances chimiques comme acide citrique, acide benzoïque etc.

La richesse de la farine de drêches de brasserie en protéines, fibres et cendres justifie l'intérêt croissant porté à ce coproduit, qui présente un fort potentiel pour la conception d'aliments plus nutritifs et plus durables.

La teneur élevée en fibres et en protéines s'expliquerait principalement par le fait que les fractions externes du grain : le péricarpe et la couche d'aleurone, ainsi qu'une partie des protéines de l'endosperme, ne sont pas métabolisées par les levures *Saccharomyces cerevisiae* lors de la fermentation alcoolique au cours du brassage de la bière. Ces fractions se retrouvent donc concentrées dans les drêches après l'extraction des sucres fermentescibles, ce qui confère à la farine de drêches une valeur nutritionnelle intéressante pour une valorisation en alimentation humaine.

Cette observation est en adéquation avec les travaux de Eche et al. (2025), qui soulignent les bienfaits santé (effets anti cancérogènes et antiathérogènes), nutritionnels (richesse en fibres, protéines et composés phénoliques...) et environnementaux (réduction du gaspillage alimentaire et promotion de l'économie circulaire) associés à l'incorporation des drêches de brasserie dans différents produits de boulangerie, tels que les en-cas, le pain, les biscuits et les pâtes.

Cependant, les coûts logistiques et énergétiques demeurent des freins à la valorisation des drêches de brasserie en alimentation humaine ; C'est pour cette raison que nous nous sommes orientés vers l'utilisation d'une farine de drêches déjà séchée : NextGrain, prête à l'emploi, facilitant ainsi la formulation tout en réduisant les contraintes liées au transport, au stockage et à la conservation.

La farine de drêche NextGrain présente des caractéristiques nutritionnelles très proches de celles des drêches issues de la brasserie universitaire.

La fiche produit de celle-ci est présentée dans le tableau ci-dessous

Tableau 10: Fiche produit de la farine de drêche Nextgrain

Protéines (g/100g)	21.3
Fibres (g/100g)	28.8
Matières grasses (g/100g)	7.63
Glucides totaux (g/100g)	33.5
Sodium (mg/100g)	8.7
Sel (g/100g)	0.02
Vitamine B1 (mg/100g)	0.09
Vitamine B3 (mg/100g)	3.81
Polyphénols totaux (mg / 100g)	1.1

La comparaison des deux compositions révèle quelques différences, notamment au niveau de la teneur en protéines, lipides et sucres totaux. Ces variations pourraient s'expliquer par des facteurs abiotiques affectant la composition des céréales utilisées lors de la production de la bière. En effet, la composition des céréales varie en fonction de la saison de culture, des conditions de culture ainsi que des caractéristiques intrinsèques de l'espèce cultivée. De plus, les conditions de brassage elles-mêmes influencent la composition finale des drêches (Mussatto, 2014 ; Ikram et al., 2017).

Pour notre formulation, nous avons choisi d'utiliser la farine de drêches Nextgrain, déjà séchée, car elle présente des avantages économiques, sanitaires et pratiques par rapport aux drêches humides de la brasserie Gembloux Beer.

En effet, le séchage préalable permet une réduction significative des risques microbiologiques liés aux drêches humides, qui sont particulièrement instables et susceptibles de se dégrader

rapidement après le brassage. L'utilisation de drêches sèches facilite le stockage, puisqu'elles ne nécessitent pas de congélation rapide, contrairement aux drêches humides, qui doivent être congelées ou traitées avec des conservateurs chimiques dans les heures suivant leur production.

Les drêches NextGrain sont standardisées et traitées dans des conditions permettant leur valorisation en alimentation humaine.

3- Caractéristiques physiques des différentes formulations

Le biscuit témoin est formulé sans drêche et sans farine d'insecte *Tenebrio molitor*.

Les formulations contenant des drêches de brasserie intègrent chacune 10 g de farine d'insecte. Le taux de substitution de la farine de blé par les drêches de brasserie est exprimé en fonction de la quantité initiale de farine de blé prévue dans la formulation dite témoin.

Tableau 11: Caractéristiques physiques des différents biscuits

Formulation	Témoin	10 % BSG	20 % BSG	30 % BSG
Diamètre (cm)	4,23 ± 0,02	4,86 ± 0,07	4,71 ± 0,02	4,70 ± 0,04
Masse (g)	8,30 ± 0,11	8,04 ± 0,08	7,61 ± 0,04	7,64 ± 0,01
Épaisseur (cm)	0,88 ± 0,22	0,71 ± 0,01	0,698 ± 0,34	0,69 ± 0,01
Étalement (diamètre / épaisseur)	4,80	6,86	6,74	6,81

Le biscuit témoin présente une masse et une épaisseur supérieures à celles des biscuits incorporant des drêches. Cette différence peut s'expliquer par une rétention d'eau plus importante induite par les gluténines et les gliadines, des protéines du blé dont l'hydratation conduit à la formation du réseau viscoélastique appelé gluten. Ce réseau viscoélastique favorise une expansion plus importante des biscuits lors de la cuisson.

En effet, sous l'action de la levure, du CO₂ est libéré ce qui entraîne l'aération de la matrice du biscuit et la formation de vides au sein de sa structure. Ce phénomène est moins marqué dans les biscuits contenant des drêches de brasserie (BSG) et de la farine d'insecte (*Tenebrio molitor*), car les fibres contenues dans ces deux matrices agissent comme des agents de remplissage et interagissent de manière à inhiber la formation du gluten.

Ce résultat est en accord avec l'étude de Nawaz et al. (2021), qui ont montré que les biscuits sans drêches de brasserie possèdent une structure plus dispersée, caractérisée par de nombreux vides et des espaces interstitiels importants. Cette microstructure plus aérée est à l'origine d'une hauteur plus élevée comparativement aux biscuits dans lesquels la farine de blé est partiellement ou totalement substituée par des drêches de brasserie.

Les biscuits contenant des drêches présentent des valeurs d'étalement plus élevées que le biscuit témoin, ce qui témoigne de la qualité de notre pâte pour des applications en biscuiterie, où le produit doit être fin et croustillant. Cela est confirmé par les travaux de Mudgil et al. (2017), qui ont établi une corrélation positive entre le taux d'étalement et la qualité des biscuits.

4- Dureté, consistance et fracturabilité

Selon la norme ISO 5492 :2008, la texture est définie comme un « ensemble de propriétés mécaniques, géométriques, de surface et de corps d'un produit, perceptibles par les récepteurs kinesthésiques ou somesthésiques et (le cas échéant) par des récepteurs visuels et auditifs depuis la première bouchée jusqu'à l'avalé final ».

Tableau 12: Dureté, consistance et fracturabilité des biscuits formulés

Formulation	Témoin	10% BSG	20% BSG	30% BSG
Dureté (N)	218,6103889	222,8453527	307,3661317	312,7487672
Consistance (N*mm)	203,4719904	312,4636942	706,0766359	763,4749462
Fracturabilité (mm)	1,42595357	1,741687854	2,517834297	2,973531665

L'analyse de la variance à un facteur, réalisée avec comme variable qualitative le taux de substitution de la farine de drêche et comme variables quantitatives les différents paramètres de texture (consistance, dureté et fracturabilité), a mis en évidence l'existence de différences significatives entre les différentes formulations. En effet, l'augmentation du taux d'incorporation

de la drêche a entraîné une augmentation simultanée de la force nécessaire pour rompre le biscuit (dureté) ainsi que l'énergie requise pour provoquer sa rupture (consistance).

Cela s'expliquerait par la compaction de la structure interne du biscuit induite par la présence des fibres alimentaires issues de la drêche et de la farine d'insectes. Par ailleurs, l'établissement de liaisons hydrogène entre l'eau, les fibres alimentaires et les protéines du biscuit contribue à renforcer et à stabiliser la structure du produit.

Ce résultat est en accord avec les observations de Heredia-Sandoval et al. (2020) et Okpala et Ofoedu (2018), qui ont montré que l'incorporation de drêches de brasseries dans les biscuits entraînait une augmentation de la teneur en fibres, ainsi qu'une élévation de la dureté et de la résistance à la rupture, traduisant une consistance plus élevée du produit

5- Couleur

La couleur des aliments joue un rôle clé dans la décision d'achat, en influençant l'attitude et la perception du produit par le consommateur (Costell et al., 2010). La couleur de nos différents biscuits, évaluée selon le système colorimétrique de la CIE (L^* , a^* , b^*), est présentée dans le tableau ci-dessous

Tableau 13: Couleur des biscuits selon le système CIE (L^* , a^* , b^*)

	Témoin	10 % BSG	20% BSG	30% BSG
L^*	75,12 ± 0,20	50,13 ± 0,48	48,05 ± 0,26	47,82 ± 0,14
a^*	5,94 ± 0,27	12,41 ± 0,15	12,82 ± 0,50	12,89 ± 0,08
b^*	27,19 ± 0.10	30,36 ± 0,05	29,685 ± 0,36	30,08 ± 0,07
ΔE	-	26,01	28,04	28,32

Les biscuits contenant la farine de *Tenebrio molitor* et les drêches de brasserie présentent une luminosité (L^*) plus faible et une composante de rougeur (a^*) plus intense que le biscuit témoin. Cet assombrissement global du produit est probablement dû à la couleur initiale, brune, de la farine de *Tenebrio molitor* et des drêches incorporées dans la formulation. Ce résultat est similaire à celui de Zielińska et Pankiewicz (2020), qui ont observé des modifications de couleur identiques dans des cookies enrichis en farine de *Tenebrio molitor*.

Par ailleurs, les réactions de Maillard lors de la cuisson à températures élevées contribuent également aux modifications colorimétriques des paramètres L^* et a^* . En effet, la teneur élevée en protéines de la farine d’insecte et des drêches favorise des réactions plus intenses entre les groupements carbonyle des sucres réducteurs et les groupements amine des acides aminés, conduisant à la formation de composés bruns de type mélanoidines, responsables des teintes brun-rougeâtres (Tressl et al., 1998 ; Sozer et al., 2014).

La couleur des biscuits contenant de la farine de *Tenebrio molitor* varie peu entre les différentes formulations ; cela peut s’expliquer par les faibles variations des quantités de drêches incorporées.

La composante de jaunissement (b^*) présente des variations faibles entre les différents biscuits. Cela signifierait que les réactions de Maillard et la caramélisation influencent principalement la luminosité (L^*) et la composante de rougeur (a^*), sans affecter de manière considérable la composante de jaunissement (b^*).

La différence de couleur totale (ΔE) indique qu’il existe une différence fondamentale de couleur entre les biscuits contenant les insectes et le témoin. Cette différence est facilement perceptible par tous les individus, car les valeurs de ΔE sont supérieures à 5. En revanche, la variation de couleur totale entre les biscuits contenant des drêches oscille autour de 2, traduisant une différence de couleur uniquement perceptible par des personnes entraînées.

6- Activité de l’eau

L’activité de l’eau est définie comme le rapport entre la pression partielle de la vapeur d’eau d’un produit et celle de l’eau pure, les deux pressions étant mesurées à la même température. Elle renseigne sur la quantité d’eau libre susceptible d’intervenir dans les réactions d’altération microbienne ou enzymatique. Cette grandeur permet ainsi d’évaluer la durée de conservabilité d’un aliment (Reid, 2007 ; Opara et al., 1992 ; Van der Hoeven-Hangoor et al., 2014).

L’activité de l’eau de nos différents biscuits est reprise ci-dessous

Tableau 14: activité de l'eau des biscuits

Formulation	Témoin	10 % BSG	20% BSG	30% BSG
Activité de l'eau	0,144 ± 0.05	0,147 ± 0,09	0,151 ± 0,01	0,194 ± 0.01

L'activité de l'eau des différentes formulations varie autour de 0,15 à l'exception de la formulation contenant 30 % de drêches de brasserie. En effet, contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'incorporation de drêches de brasserie et de farine d'insecte, matrices riches en protéines et en fibres, a entraîné une augmentation de la fraction d'eau libre.

Ce phénomène peut être attribué à la déstabilisation du réseau de gluten, ainsi qu'aux interactions entre les zones hydrophiles des lipides, des protéines et des glucides (fibre, amidon). Ces interactions entre les différents constituants du biscuit limitent la fixation d'eau par ces derniers augmentant ainsi la quantité d'eau non liée disponible pour des réactions physicochimiques et / ou microbiologiques.

Cette observation est en accord avec les travaux de Xie et al. (2022), qui ont montré que l'incorporation de 15 % de farine de ver entraîne une déstructuration du réseau de gluten ainsi qu'un enrobage des granules d'amidon au sein de la pâte à biscuit.

7- Composition proximale des biscuits en pourcentage de masse brute

Tableau 15: Composition proximale des différents biscuits formulés

	Témoin	10% BSG	20% BSG	30% BSG
Matière sèche (g/100g)	97,002 ± 0,002	98,287 ± 0,803	98,072 ± 0,115	97,627 ± 0,122
Humidité (g/100g)	2,997 ± 0,002	1,712 ± 0,803	1,972 ± 0,115	2,37 ± 0,122
Cendres (g/100g)	0,757 ± 0,01	1,282 ± 0,06	1,322 ± 0,043	1,35 ± 0,009
Matières grasses (g/100g)	18,150 ± 1,186	21,105 ± 0,490	21,244 ± 1,158	20, 263 ± 0,310
Protéines (g/100g)	6,549 ± 0,231	12,864 ± 0,207	13,067 ± 0,243	13,849 ± 0,055
Fibres (g/100g)	3,6788	6,0829	6,3123	8,6707
Glucides (g/100g)	67,8682	56,954	56,0827	53,498

Les drêches de brasserie et la farine de *Tenebrio molitor* sont des matières premières riches en composés d'intérêt tels que les protéines, les fibres et les micronutriments (Parodi et al., 2018 ; Nyhan et al., 2023 ; Orkusz, 2021).

L'incorporation de ce *novel food* et du principal coproduit brassicole dans nos formulations a permis d'augmenter significativement les teneurs en fibres, en protéines, en matières grasses et en cendre traduisant une amélioration globale du profil nutritionnel des biscuits. Cette observation globale corrobore les travaux menés sur des pâtes à biscuits et des biscuits dans lesquels la farine de blé avait été partiellement substituée par la farine de *Tenebrio molitor* (Xie et al., 2022).

La teneur en cendres est passée de 0,757 ± 0,01 à 1,35 ± 0,009 % ; ceci est probablement la contribution des drêches. En effet, la majorité des composés inorganiques présents dans les

céréales utilisées pour la produire la bière ne sont pas utilisées par les microorganismes au cours de la fermentation et se concentre directement dans la drêche.

L'augmentation progressive de la teneur en protéines avec le taux d'incorporation de BSG montre que les farine de *Tenebrio molitor* et de drêches de brasserie sont d'excellente source d'enrichissement protéique. Ces matrices se distinguent par des profils protéiques équilibrés, riches en acides aminés essentiels et possèdent des DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score) élevé.

Cependant, il faut noter que la méthode de quantification utilisée, kjeldahl, converti l'azote total issu de l'hydrolyse acide en teneur en protéine à l'aide d'un facteur de conversion 6,25. Or l'exosquelette des insectes est riche en chitine, un polysaccharide azoté susceptible surestimation de la teneur en azote et simultanément celle des protéines.

Comme pour les protéines, les fibres augmentent au fur et à mesure de l'augmentation du taux d'incorporation des drêches passant de 3,6788 à 8,6707 %. Cette évolution synchrone est attribuable aux composés non digestibles des céréales, notamment les celluloses, les hémicelluloses et la lignine, ainsi qu'à la chitine de l'exosquelette des insectes. Cette interprétation est en accord avec celle de Fanelli et al., (2023), qui présente les drêches comme un réservoir de glucides non digestibles.

La teneur en lipide suit une tendance similaire à celle observée pour les protéines et les fibres. Cette augmentation par rapport au témoin est due à la farine d'insecte, naturellement riche lipides dont les acides gras sont majoritairement insaturés. En effet, selon la fiche produit donnée par notre fournisseur Entomobio, la farine d'insectes contient environ 25,77 % de lipides, dont 12,02 % d'acides gras monoinsaturés et 7,21 % d'acides gras polyinsaturés. Ces lipides insaturés contribuent grandement à l'amélioration globale du profil nutritionnel des biscuits Molitor.

La formulation présentant les teneurs les plus élevées en macro- et micronutriments par rapport au témoin est celle intégrant 30 % de BSG, soit 11,22 g.

Toutefois, aucune variation majeure n'est observée entre les formulations incorporant 10 %, 20 % et 30 % de BSG, ceci suggère que l'incorporation de faibles quantités de drêches ne suffit pas à induire des modifications significatives de la composition globale des matrices alimentaires.

8- Apport énergétique et allégations nutritionnelles

L'apport énergétique de nos différents biscuits est repris ci-dessous

Tableau 16: Apport énergétique des biscuits

Formulation	Témoin	10% BSG	20 %BSG	30% BSG
Apport énergétique (kcal)	468,4	481,4	480,4	469,1

Les allégations nutritionnelles « riche en protéines » et « riche en fibres » ne peuvent être apposées sur l'emballage d'un produit alimentaire, selon le règlement (CE) n° 1924 / 2006, que si celui-ci remplit les conditions suivantes :

- . 100g de produit d'avoir contenir minimum 6g de fibres ;
- . 20 % de l'apport énergétique de l'aliment doit être la contribution des protéines.

Dans l'ensemble de nos biscuits Molitor intégrant la farine de ver et les drêches de brasserie, la teneur en fibres alimentaires est supérieure à 6g dans 100g de biscuit, ce qui permet de revendiquer l'allégation nutritionnelle « riche en fibres ».

En revanche, aucune des formulations ne satisfait aux conditions requises pour les allégations « source de protéines » ou « riche en protéines ». Cette limitation est justifiée par la teneur élevée en matières grasses apportée par la farine d'insectes, laquelle augmente fortement la valeur énergétique totale du produit.

En effet, les lipides fournissent 9 kcal/g, soit une densité énergétique deux fois supérieure à celle des autres macronutriments, ce qui réduit proportionnellement la contribution énergétique des protéines, empêchant ainsi d'atteindre le seuil réglementaire de 20 % de l'apport énergétique total.

9- Perspectives

L'utilisation de méthodes de quantification plus sensibles représente un axe d'amélioration majeur que nous souhaiterions intégrer dans notre expérimentation. En effet, la méthode de Kjeldahl, fondée sur la quantification de l'azote total, peut entraîner une surestimation de la teneur en protéines. Cette surestimation est susceptible de biaiser l'information donnée au consommateur, ce qui n'est pas en accord avec les exigences du règlement INCO (CE n° 1169/2011).

Par ailleurs, le dosage des fibres par la méthodes gravimétrique, suite à des actions enzymatiques présente des limites analytiques, notamment la faible masse du résidu obtenu après filtration. Cette faible masse rend le dosage des protéines difficile sur le résidu, car le protocole de Kjeldahl exige 1g d'échantillon de départ.

. La détermination de l'impact glycémique constitue un élément clé pour la mise en évidence des probables bienfaits santé de notre biscuit.

. Nous avons validé notre meilleur formulation (20% de BSG) sur la base d'analyses non valide statistiquement ; la réalisation d'une analyse sensorielle statistiquement valable demeure cruciale dans une optique d'optimisation de notre biscuit.

Chapitre VI : Cahier de charges fonctionnel de l’emballage

Introduction

Nous aborderons et examinerons, dans cette section, tous les aspects liés à l’emballage, au conditionnement et au transport du produit. L’emballage du biscuit devra répondre à des critères essentiels de protection physique et de préservation chimique. Il sera constitué de plusieurs couches d’emballages, à savoir l’emballage primaire, secondaire et tertiaire. Ces différents emballages devront respecter des principes d’éco-conception afin de garantir un produit respectueux de l’environnement.

Il existe une multitude de textes législatifs européens qui régissent la sécurité sanitaire des denrées alimentaires, le règlement socle est la general food law CE n° 178/2002.

Les emballages représentent une source significative de contamination, et ne sont autorisés à des fins alimentaires que s’ils possèdent certaines propriétés spécifiques.

En effet, les matériaux et objets destinés à entrer en contact avec les denrées alimentaires doivent être conformes aux exigences du règlement (CE) n° 1935/2004, ainsi qu’à diverses directives et arrêtés nationaux (MCAS, 2016).

Notre emballage doit être en conformité avec les exigences du règlement (CE) n° 1935 / 2004. De plus, il doit respecter des critères écologiques afin d’assurer sa recyclabilité et sa durabilité.

Pour concevoir un emballage qui remplit efficacement ses fonctions de protection et de communication, tout en réduisant au maximum ses impacts environnementaux, un seul compromis est envisageable, l’éco-conception.

L’international organization for standardization définit l’écoconception comme “une approche méthodique qui prend en considération les aspects environnementaux du processus de conception et développement dans le but de réduire les impacts environnementaux négatifs tout au long du cycle de vie d’un produit” (ISO, 14006). Les impacts environnementaux sont évalués par l’ACV, qui est une méthode normalisée et itérative permettant de quantifier les impacts environnementaux sur différentes grandeurs environnementales.

Selon ADEME, environ 10 % des effets environnementaux d’un produit alimentaire son attribuable à l’emballage, d’où la nécessité de penser judicieusement celui-ci. Les sept piliers d’une économie durable et soutenable, selon cette agence, sont repris dans la figure ci-dessous

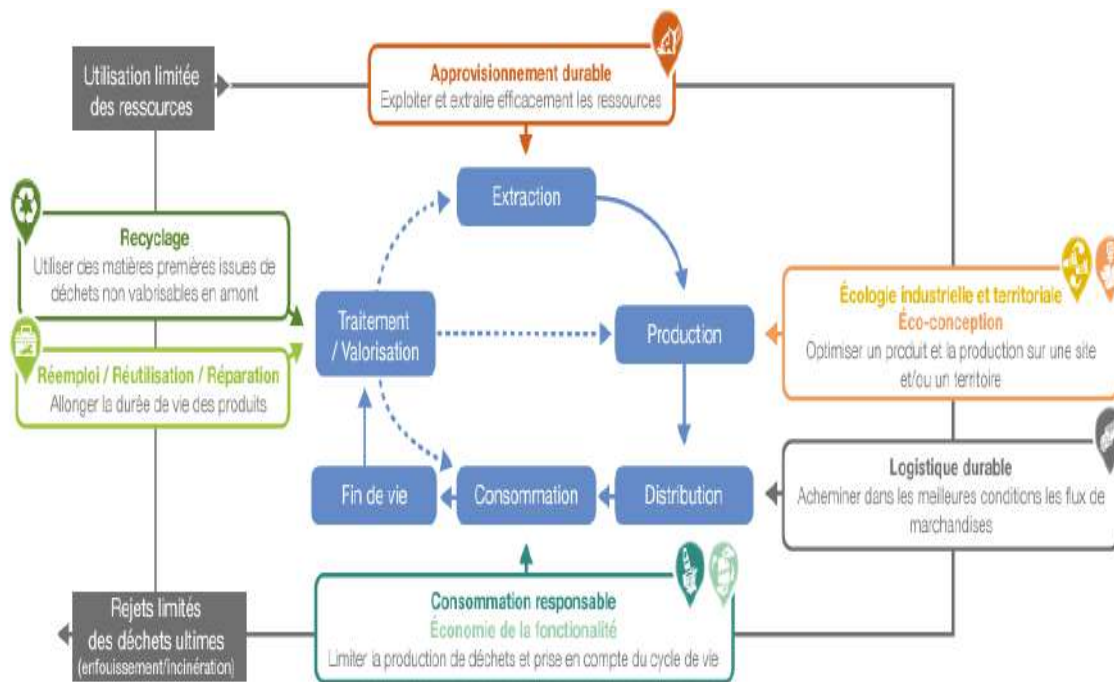


Figure 38: Les sept domaines d'action de l'économie circulaire (ADEME, 2015).

1- Matériaux d'emballage utilisés en biscuiterie

L'emballage est élaboré en tenant compte des propriétés physico-chimiques du produit. Pour de nombreux biscuits secs, on opte généralement pour des emballages multicouches, étanches à l'air et à l'humidité, parfois dotés de propriétés barrières aux composés volatils. Ces propriétés sont essentielles car les biscuits ont tendance à absorber l'humidité, ce qui peut favoriser la croissance des micro-organismes ou l'altération des propriétés organoleptiques. Par ailleurs, l'oxygène et la lumière peuvent induire l'oxydation des lipides, ce qui est à l'origine des odeurs de rance. La durée de conservation des produits alimentaires dépend fortement de l'emballage et des conditions de stockage (Galić et al. 2009).

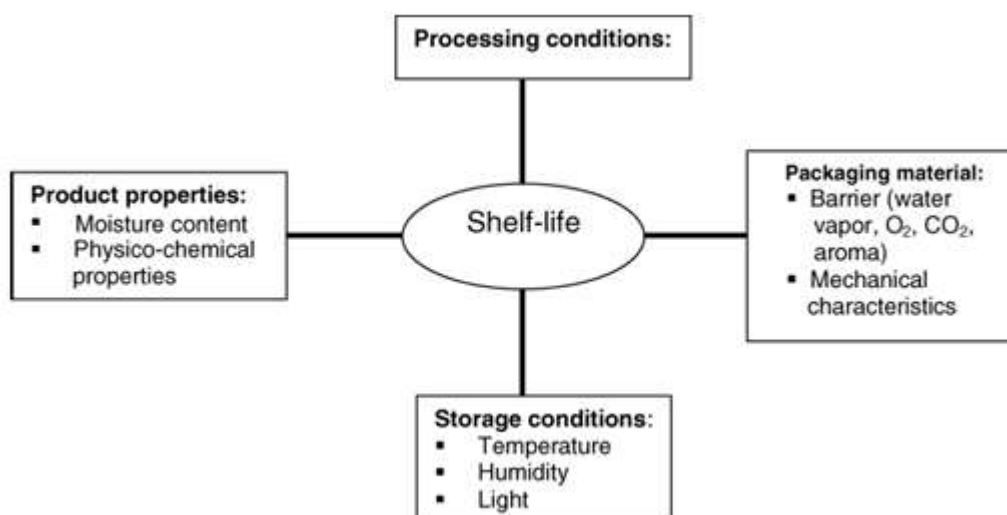


Figure 39: Factors influencing shelf life of food. (Galić et al. 2009).

Divers plastiques, qu'ils soient monocouches ou multicouches, peuvent remplir cette fonction de conservation, mais leur origine (pétrochimique ou biologique) peut influencer considérablement la perception du produit, car la composante sociétale gagne en importance dans l'esprit des consommateurs.

1.1- Polyéthylène

Le PE est un polymère plastique issu de la pétrochimie, obtenu par polymérisation catalytique de l'éthylène. Il fait partie de la famille des polyoléfines, et est thermoscellable. Lorsque le PE a une densité comprise entre 0.91 et 0.93 g/cm³, on le qualifie de polyéthylène basse densité. Comparé au PEHD, le PEBD se distingue par sa souplesse, sa flexibilité accrue et une transparence plus prononcée. Ces caractéristiques sont attribuables à l'abondance des chaînes latérales dans ce polymère. Toutefois, il convient de noter la faible résistance mécanique de ce matériau (Danson et al., 2019).

Ordre d'importance	Code	Symbole de recyclage	Désignation IUPAC	Désignation courante	Famille
1	PE ⁴ : PEBD (en anglais LDPE) PEBDL (en anglais LLDPE) PEHD (en anglais HDPE)	 (PEBD)  (PEBDL)  (PEHD)	PE : poly(méthylène)	polyéthylène basse densité (PEBD) polyéthylène à basse densité linéaire (PEBDL) ⁵ polyéthylène haute densité (PEHD)	polyoléfine

Figure 40: Différente variante du poléthylène

Source : classement du big six, 2011

Ces matériaux se recyclent bien, surtout lorsqu'ils ne sont pas laminés. Les méthodes de recyclage sont soit chimiques (pyrolyse, gazéification, hydrogénation liquide-gaz), soit biologiques (dégradation bactérienne ou par les insectes) (Vollmer et al., 2020).

1.2- Le polypropylène (PP)

Tout comme le PE, le PP est une polyoléfine issue de la pétrochimie largement utilisée en agro-alimentaire. Ce thermoplastique semi-cristallin, caractérisé par une densité de 0,9, présente d'excellentes propriétés barrières et une résistance mécanique considérable.

Ces deux matériaux sont parfois combinés avec de l'aluminium pour améliorer davantage leurs propriétés barrière et prolonger la durée de conservation des produits. Cette association a pour inconvénient de rendre ces emballages moins recyclables. En effet, l'utilisation de métal accroît les impacts environnementaux de l'emballage, notamment la consommation d'énergie et son poids (Dionne, 2019).

Pour faire face aux problèmes environnementaux générés par les déchets plastiques, plusieurs solutions novatrices sont développées, notamment les emballages biosourcés.

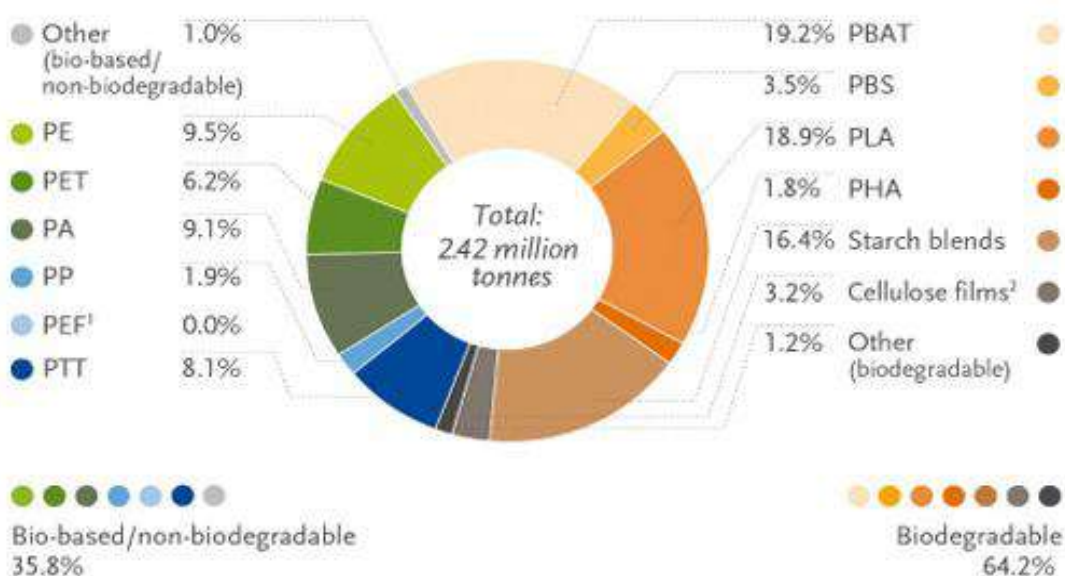
1.3- Les emballages biosourcés

Le secteur de l'emballage, en particulier celui consacré aux produits alimentaires, représente la plus grande part de la consommation de plastique. Cela souligne l'importance de concevoir des emballages adaptés afin de limiter les impacts environnementaux des produits alimentaires (Zhao et al., 2020).

Selon la norme NF EN 16760, une matière biosourcée est définie comme étant : « toute matière d'origine biologique à l'exclusion des matières intégrées dans des formations géologiques ou fossilisées ». Bien qu'il soit difficile de dresser une liste exhaustive de tous les polymères biosourcés utilisés pour synthétiser les emballages, les plus représentés incluent le PLA, le PHA, l'amidon et la cellulose (Anses, 2022).

Secteur en plein essor, la production de matières plastiques biodégradables et/ou biosourcées était estimée à environ 2,4 millions de tonnes en 2021 et devrait atteindre 7,6 millions de tonnes en 2026 (Nova-Institute, 2021).

Global production capacities of bioplastics 2021 (by material type)



¹PEF is currently in development and predicted to be available at commercial scale in 2023. ²Regenerated cellulose films

Source: European Bioplastics, nova-Institute (2021)

More information: www.european-bioplastics.org/market and www.bio-based.eu/markets

Figure 41: Estimation de la production mondiale de bioplastiques par type de matériaux en 2021 (Nova institute, 2021).

PE : polyéthylène ; PET : polytéréphtalate d'éthylène ; PA : polyamide ; PP : polypropylène; PEF : poly(furanoate d'éthylène) ; PTT : polytriméthylène téréphtalate ; PBAT : polybutylene adipate téréphtalate ; PBS : poly(succinate de butyle) ; PLA : poly(acide lactique) ; PHA : polyhydroxyalcanoates ; Starch blends : mélanges d'amidon ; Cellulose film : film de cellulose

Les bioplastiques ne sont pas tous nécessairement biodégradables. Malgré cette divergence quant à leur fin de vie, ces matériaux, qu'ils soient souples ou rigides, peuvent être utilisés comme MCDA (Baghi et al., 2022).

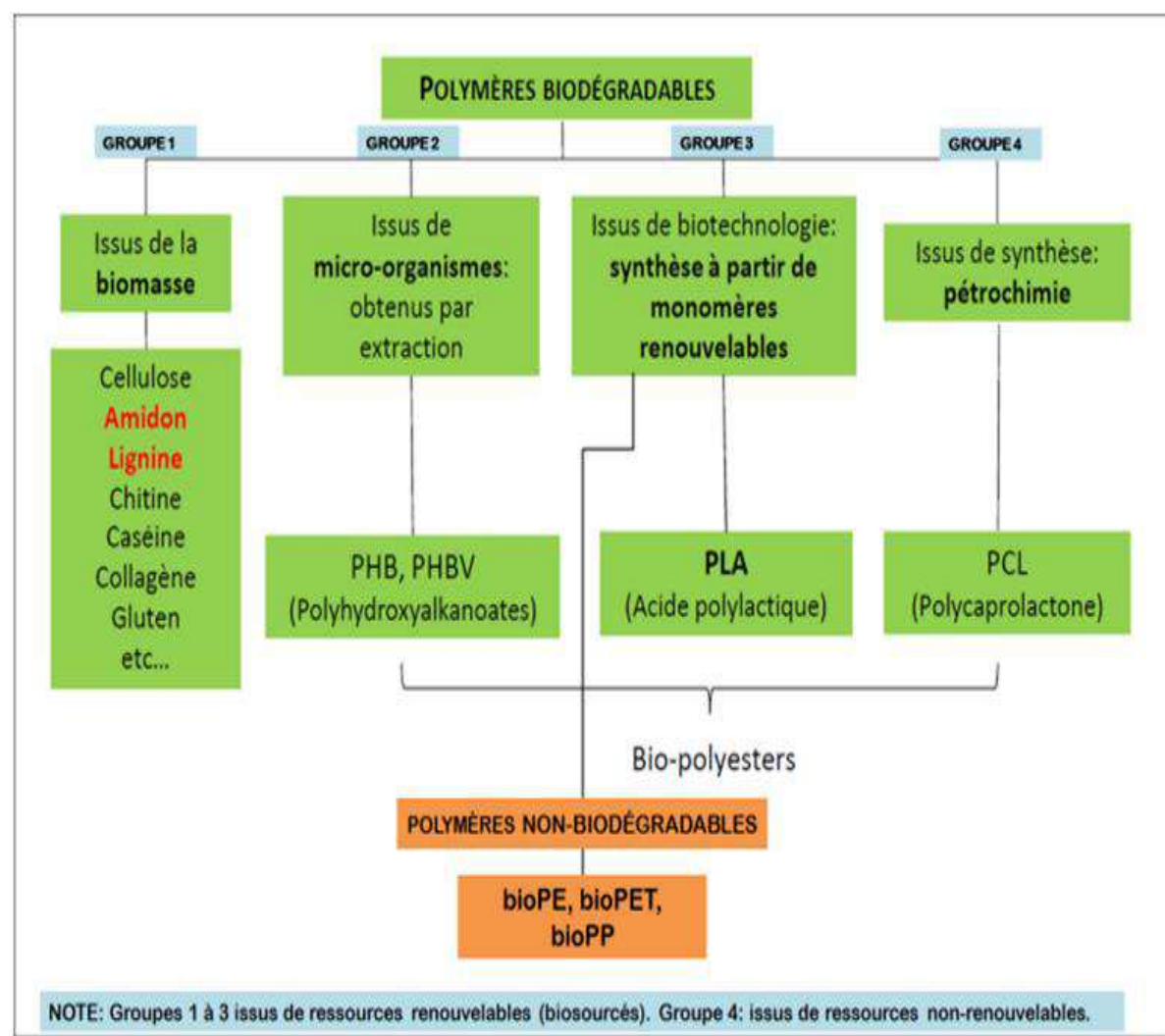


Figure 42: classification des bioplastiques (Lapointe, 2012)

2-Prototype de notre emballage

Notre prototype d'emballage a été conçu en intégrant les 10 R de l'éco-conception mentionnés par le professeur Léonard (Matériau d'emballage et technologie avancée, 2023). Les principales composantes de l'éco packaging retenues sont la réduction du gaspillage alimentaire, l'utilisation de matériaux biosourcés, la promotion de l'économie circulaire et la recyclabilité. Enfin, la clarté des informations fournies aux consommateurs sur notre emballage vise à promouvoir une consommation consciente et responsable.

2.1- Emballage primaire

C'est le matériau en contact direct avec le produit qui constitue l'unité de vente au consommateur. Celui-ci est censé fournir toutes les informations légales du règlement INCO sur le produit et faciliter sa manipulation.

Le matériau choisi pour notre emballage primaire est une association entre un polymère d'acide polylactique et du carton recyclé.

2.1.1- *Sachet en biopolyester : acide polylactique (PLA)*

Le matériau directement en contact avec notre biscuit sera un sachet plastique. Celui-ci sera constitué de biopolyesters, plus précisément d'acide polylactique. Ce bioplastique est dérivé soit de la canne à sucre, soit de l'amidon de maïs, soit de drêche de brasserie. Il se veut hermétique à l'air et à l'humidité, tout en étant souple et transparent. Issu d'une synthèse chimique par polycondensation, il contient des additifs et des agents de charge faisant partie de la liste positive du règlement CE n° 1935/2004. Ce polymère peut subir de nombreuses modifications telles que l'incorporation de xylane pour améliorer la résistance à la traction et les propriétés barrières vis-à-vis de la lumière (Abe et al., 2024).

Les migrations totales des constituants du bioplastique seront conformes aux exigences du règlement CE n° 1935 / 2004 sur les matériaux et objets destinés à entrer en contact avec les denrées alimentaires (MCDA), c'est-à-dire inférieures à 60 mg/kg de simulant alimentaire. De plus, le PLA utilisé devra être thermoscellable et parfaitement adapté aux machines d'emballage déjà présentes sur le marché.

Le choix du PLA s'explique par sa disponibilité (18,9 % des bioplastiques), sa biodégradabilité et la multitude de modifications qu'il peut subir afin d'améliorer ses propriétés physiques ou mécaniques (Anses, 2022).

La société italienne Metalvuoto, en collaboration avec NatureWorks, a mis au point un bioplastique innovant appelé propyl ester d'Ingeo. Il s'agit d'un matériau biosourcé associant le PLA Ingeo de NatureWorks à la technologie de revêtement Oxaqua développée par Metalvuoto. Cette combinaison permet d'obtenir un film plastique aux propriétés barrières supérieures à celles de nombreux plastiques conventionnels laminés, notamment en termes de résistance à l'humidité et à l'oxygène.

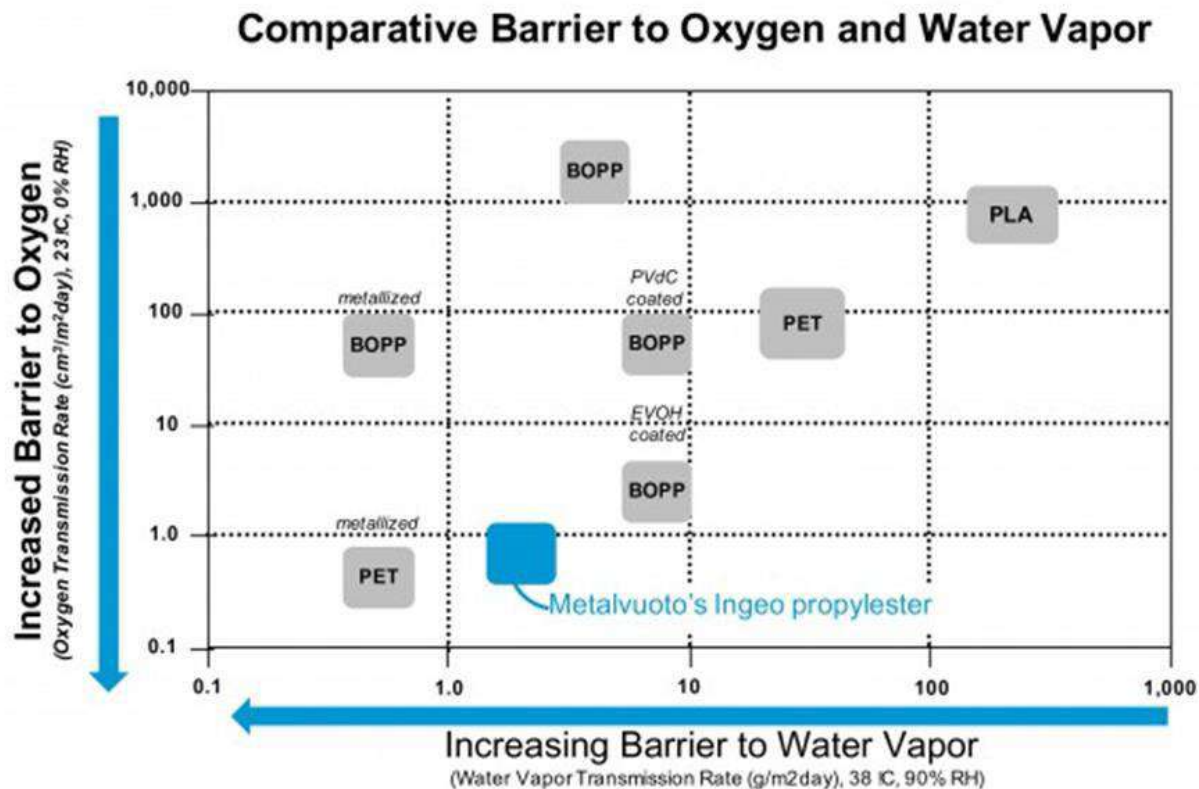


Figure 43: Propyl ester d'Ingeo

Source : Metalvuoto, NatureWorks, communiqué de presse commun, 2016-03-11

Parmi ses principales caractéristiques techniques on note :

- Une épaisseur et un poids inférieurs à ceux des multicouches conventionnelles
- Une thermoscellabilité compatible avec les équipements standards de conditionnement form-fil-and-seal
- Une certification de recyclabilité
- Une perméabilité à l'oxygène très faible, $< 0,75 \text{ cc} / \text{m}^2 / 24\text{h}$
- Une perméabilité à la vapeur d'eau inférieur à $2,5 \text{ g} / \text{m}^2 / 24\text{h}$

Le propylester Ingeo a été préféré au biofilm de cellulose de Futaruma, car ce dernier est issu d'eucalyptus, dont l'exploitation contribue à la destruction de puits de carbone. De plus, ses propriétés barrières se sont révélées moindres que celles du propylester Ingeo.

Chaque sachet sera spécifiquement conçu pour contenir six biscuits, chaque biscuit aura un diamètre de 5cm et une épaisseur de 0,6 – 0,8 cm.

Trois sachets de biscuits seront empilés horizontalement dans une boîte en carton recyclé. Le choix du carton recyclé se justifie par son taux de recyclage d'environ 89 % en Belgique (Statbel, 2023), ce qui favorisera une utilisation plus responsable des ressources naturelles. Ce carton comportera toutes les mentions obligatoires prévues par le règlement INCO 1169/2011 et servira d'unité de vente au consommateur.

2.1.2- Boîte en carton recyclé

2.1.2.1- Nuage de mot et mood bord du packaging

Le nuage de mots et le mood board sont des éléments textuels et visuels utilisés pour créer un écosystème stylistique et inspirant pour un projet. Ceux-ci visent à stimuler la créativité afin de définir le design et les valeurs qui doivent être communiquées à travers le packaging.

2.1.2.2- Mood board



Figure 44: Mood board

Nuage de mot de notre biscuit est principalement axé autour des aspects Santé et écologique



Figure 45: Nuage de mot

Éléments informatifs devant figurés sur les différentes faces de la boîte sont repris ci-dessous

A) Face principale

Tableau 17: Informations devant figurer sur la face principale

Mention obligatoire	Description
Nom du biscuit	Molitor biscuits à base de drêche et de farine de tenebrio
Image du biscuit	Représentation la plus attrayante
Apport énergétique de 100 g de biscuit	450 kcal/ 100g 

Nombre de sachets dans le carton	3*
Masse du produit	g  (environ 8 g/ biscuit valeur obtenue suite aux tests préliminaires)

a) Face 2

Tableau 18: Informations devant figurer sur la face 2

Mention obligatoire	Description																
Liste des Ingrédients classés par ordre décroissant de quantité	Farine de blé , drêche de brasserie, farine de ver , agent levant (bicarbonate de sodium), sucre, matière grasse																
Allergènes	Farine de ver, gluten																
Valeur nutritionnelle pour 100g	<table> <tr> <td>Énergie (kJ/Kcal)</td><td><450</td></tr> <tr> <td>Lipides (g)</td><td></td></tr> <tr> <td>Dont acides gras saturé (g)</td><td></td></tr> <tr> <td>Glucides (g)</td><td></td></tr> <tr> <td>Dont sucre (g)</td><td></td></tr> <tr> <td>Fibres alimentaires (g)</td><td></td></tr> <tr> <td>Protéines (g)</td><td></td></tr> <tr> <td>Sel (g)</td><td></td></tr> </table>	Énergie (kJ/Kcal)	<450	Lipides (g)		Dont acides gras saturé (g)		Glucides (g)		Dont sucre (g)		Fibres alimentaires (g)		Protéines (g)		Sel (g)	
Énergie (kJ/Kcal)	<450																
Lipides (g)																	
Dont acides gras saturé (g)																	
Glucides (g)																	
Dont sucre (g)																	
Fibres alimentaires (g)																	
Protéines (g)																	
Sel (g)																	

C) Face 3

Tableau 19: Informations devant figurer sur la face 3

Mention obligatoire	Description
Nom et adresse de l'entreprise	Start up one health Gembloux 5030, Belgique
Condition particulière de conservation	À conserver au sec à l'abri de l'humidité
Gestion des déchets boîte en carton et bioplastique	 
Date de durabilité minimale	Format jj/mm/aaaa
Code barre (facultatif)	

B) Face 4

Tableau 20: Informations devant figurer sur la face 4

Texte concernant les risques d'allergie liés aux insectes Règlement d'exécution 2021/882	Les larves séchées de <i>Tenebrio molitor</i> (ver de farine) peuvent provoquer des réactions allergiques chez les consommateurs souffrant d'allergies connues aux crustacés et aux produits qui en sont issus, ainsi qu'aux acariens détriticoles.
Image de l'économie circulaire	

2.2- Emballage secondaire

Les unités de vente aux consommateurs décrites précédemment seront empilées dans des cartons en forme de parallélépipède.

L'idée est de faciliter la manipulation tout en constituant des unités économiquement intéressantes.

2.3- Emballage tertiaire

Les emballages secondaires seront stockés sur euro palette 120 cm × 80 cm. Ils seront maintenus ensemble grâce à un film fin étirable. La base de l'euro palette sera remplie par 08 emballages secondaires.



Figure 46: Euro palette

3-Emballage finale du biscuit Molitor et ligne de production industrielle

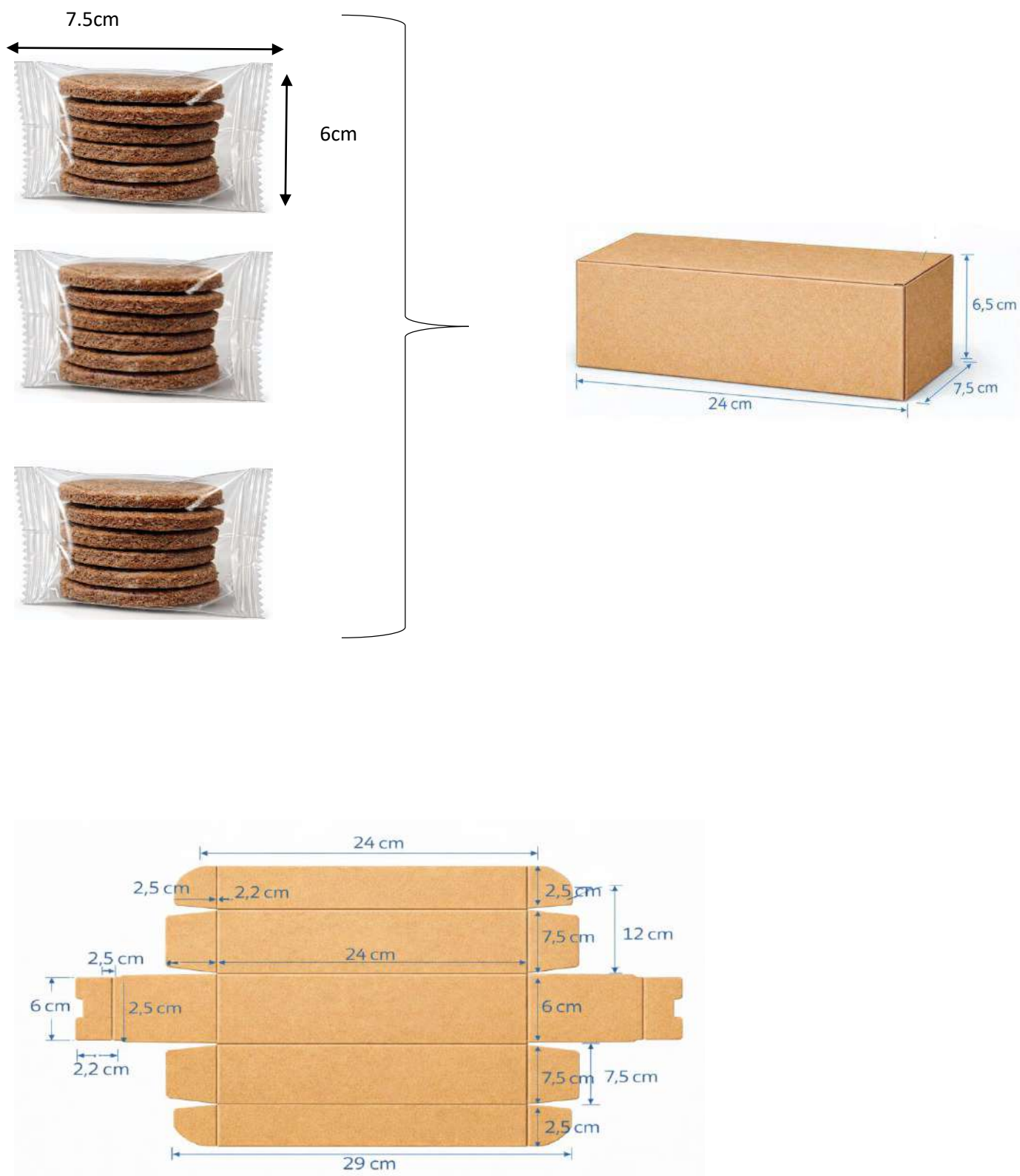


Figure 47: Emballage primaire

Les couleurs choisies pour notre emballage primaire en carton sont le brun et le vert. Ces teintes sont destinées à véhiculer le caractère durable de notre projet. Le carton porte l'ensemble des informations exigées par le règlement INCO (CE 1169/2011).

Les différentes faces de celui sont représentées ci-dessous

One health S.A

Riches en fibres alimentaires

Rijk aan voedingsvezels

Biscuit Molitor

Réinventez la gourmandise



Sain & Bon

3x 

Contient la farine de ver
et des drèches de brasserie

Valeur nutritionnelle /
Gemiddelde voedingswaarden

Énergie / Energie	Pour 100 g de biscuit / koekje 480,4 kcal	Pour 6 biscuits (1 lot) 218,88 kcal
Glucides / Koolhydraten	56,08 g	25,57 g
Matières grasses / Vetten	21,24 g	9,68 g
Protéines / Eiwitten	13,06 g	5,95 g
Fibres alimentaires / Voedingsvezels	6,31 g	2,87 g
Sels minéraux & oligoéléments / Minerale zouten & sporenelementen	1,97 g	0,89 g

À Conserver au sec et à l'abri de la lumière
Droog en beschermd tegen licht bewaren.

À consommer dans les 3 jours après ouverture
Na opening binnen 3 dagen consumeren.

Étui carton / Kartonnen doosje

Bioplastique / Bioplastic

5 4199889 9320123





Figure 48: Différentes face de notre emballage primaire avec les informations requises par le règlement INCO

Chaque biscuit Molitor présente un diamètre de 5 cm et une épaisseur de 0,7 cm. Les dimensions de l'emballage plastique biosourcé sont volontairement supérieures à celles du biscuit.

Ce surdimensionnement est nécessaire afin d'assurer une disposition adéquate des biscuits sans risque d'écrasement, tout en garantissant leur intégrité mécanique lors de la manutention et du transport.

Par ailleurs, cet espace supplémentaire est indispensable pour un thermoscellage hot melt optimal, assurant une fermeture hermétique efficace et empêchant tout contact et/ou échange d'humidité, d'oxygène, de contaminants chimiques, physiques ou microbiologiques avec le milieu environnant.

L'emballage des biscuits Molitor, se fera à l'aide d'un plastique biosourcé à base d'acide polylactique : le propyl ester d'Ingeo de metaluovo et natureworks. Cette opération sera réalisée au moyen d'une machine de type Form Fill and Seal horizontale (HFFS).

Les emballages primaires seront regroupés dans des cartons secondaires. Chaque carton secondaire contiendra 24 unités. L'opération de mise en carton sera assurée par une encaisseuse automatique.

La disposition des biscuits dans l'emballage secondaire est organisée selon la configuration suivante : 2 unités primaires en longueur et 3 unités en largeur, soit un total de 6 unités primaires par couche. Chaque carton secondaire contient 4 couches superposées, ce qui permet d'avoir 24 unités primaires par carton.

En tenant compte de l'épaisseur des parois en carton, des jeux fonctionnels nécessaires à l'insertion et au retrait des unités, ainsi que de la recherche d'une occupation optimale de l'emballage tertiaire, les dimensions extérieures du carton secondaire ont été définies comme suit

Longueur= 50cm , largeur= 24cm , hauteur= 28cm

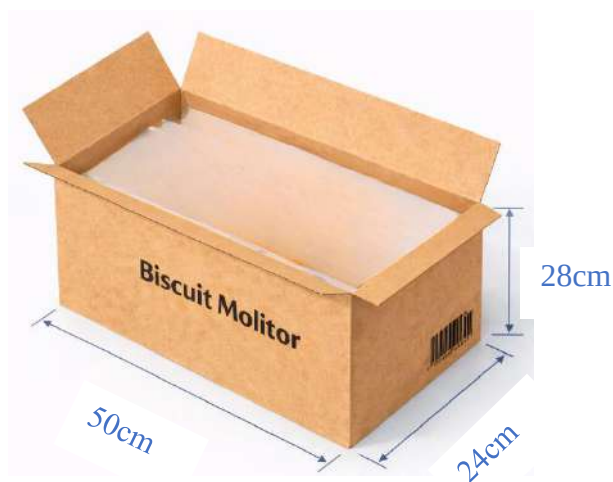


Figure 49: Emballage secondaire

La palettisation finale des emballages secondaire sera entièrement réaliser par un robot palettiseur.

Conformément aux normes de manutention et de sécurité, la hauteur maximale autorisée pour une charge sur europalette est fixée à 1,80 m. En conséquence nous pouvons disposer 6 emballages secondaires par couche, avec un total de 6 couches superposées, soit 36 cartons par palette.

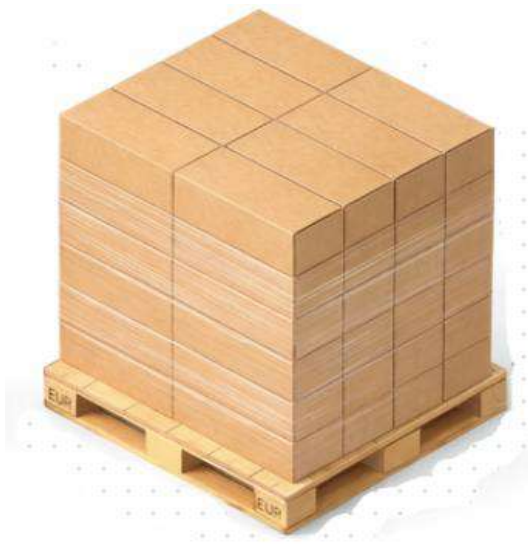


Figure 50: Emballage tertiaire

La stabilisation des palettes sera assurée par une banderoleuse, qui appliquera un film étirable. Cette action garantit l'intégrité des charges lors du transport et de la manutention. La liste des équipements requis pour la formulation et le conditionnement de nos biscuits Molitor, à une cadence de production industrielle, est détaillée dans la section ci-après.

4-Ligne de production industrielle

Cette section décrit une ligne de production industrielle complète, intégrant des équipements sophistiqués conçus pour optimiser le temps et le coût de revient des biscuits Molitor. En raison d'importants investissements initiaux, l'acquisition de cette ligne n'est pas envisageable au lancement de notre activité. Une phase pilote, utilisant des équipements plus modestes et accessibles est donc nécessaire pour valider le processus et asseoir la croissance.

❖ Silos alimentaire

Ce sont des équipements jouant le rôle de réservoirs pour le stockage des matières premières en vrac.

Nous opterons pour des silos composites du fabricant belge M.P.I GROUP afin d'éviter toute contamination de nos matières premières, car les étapes de réception et de stockage constituent des CCP. La composition de ces silos, en plastique renforcé de fibres de verre, garantit une conservation optimale des farines grâce à leur étanchéité, et assure un écoulement fluide de la poudre. Par ailleurs, ils sont constitués de matériaux plastiques autorisés pour un usage agroalimentaire conformément au règlement (CE) n° 1935/2006 et sont fabriqués selon les règles de bonnes pratiques de fabrication.



Figure 51: Silos composite en plastique renforcé par des fibres de verre de M.I.P group

<https://www.mip-nv.com/fr/silos>

❖ Doseurs pondéraux

Cet équipement assure la pesée automatique et précise de l'ensemble des ingrédients secs et liquides de la recette. Le doseur multi-ingrédients Gashor choisi permet de gérer jusqu'à dix composants distincts garantissant la reproductibilité, la traçabilité et respect strict des quantités.



Figure 52: Station de dosage des micro ingrédients Gashor

<https://gashor.com/fr/installations-cle-en-main/dosage-des-microingrédients/>

❖ Pétrin planétaire industriel

Le choix s'est porté sur un pétrin planétaire plutôt que sur un modèle en spirale. En effet, son action de malaxage combine un mouvement planétaire et une rotation du bol, garantissant un mélange homogène et aéré tout en limitant mécaniquement le développement du réseau de gluten. Ce faible développement du gluten est indispensable pour l'obtention d'un biscuit fin, tendre et croustillant.

Le pétrin planétaire VMI est particulièrement adapté, car il peut assurer le pétrissage des batch avoisinant les 1000 kg.



Figure 53: Mélangeurs planétaires ULTIMIX

(<https://www.vmimixing.com/fr/equipements/melangeurs-planetaires/>)

❖ Laminage et façonnage

Pour produire nos biscuits à une cadence industrielle, nous avons retenu le Moulder rotatif avec tapis de façonnage circulaire du groupe GOLDEN BAKE. Les caractéristiques de celui-ci sont reprises ci-dessous

PRODUIT CARACTÉRISTIQUES			
Modèle	GBRM800	Poids net	2500 KG
Matériel	304 en acier inoxydable	Taille	2000 mm * 2100 mm * 1340 mm
Marque	GOLDEN BAKE	Moteur	SEW
Pouvoir	9.2kw	Tapis roulant	Double armes polies
Mélanger le baril	À l'eau	Panneau d'opération	Ceinture de toile sans couture
Rouleau d'alimentation	Fabriquée en coulée en alliage réfrigéré, avec des rainures longitudinales et transversales, et entraînée par un réducteur de moteur à coudre indépendant	Impression de rouleau	Indépendamment entraîné par un réducteur de moteur à coudre indépendant
MOQ	≥1 ensemble	Panneau d'opération	Écran tactile Siemens PLC



Figure 54: Moulder rotatif

<https://www.foodsmachine.net/fr/rotary-moulder-rotary-molding-machine-biscuit-molding-machine.html>

❖ Four à tunnel

Les fours à tunnel permettent une cuisson homogène et continue des biscuits. La forme circulaire de nos biscuits favorise l'efficacité de la cuisson.

La cuisson est réalisée par convection grâce à un ventilateur qui fait circuler l'air chaud ; la température est la même à tous les points du four.

Les paramètres opératoires du four : température allant de 0 à 180 °C et temps de cuisson de 8 à 80 minutes sont propices pour une calibration précise adapté à notre biscuit.



Figure 55: Four tunnel de cuisson de biscuits à gaz électrique 380 v

<http://biscuitsmachine.com/1-1-3-tunnel-oven/191095/>

❖ Convoyeur refroidisseur

Après la cuisson, les biscuits doivent être refroidis pour éviter toute modification de leur structure et/ou transfert de matière avec l'emballage primaire. Cette étape critique est assurée par un tunnel de refroidissement à convoyeur doté d'un système de ventilation forcée et d'un refroidissement actif du tapis. Conforme aux directives européennes, il est conçu en acier inoxydable 304L et intègre un système de nettoyage en place (*Clean-in-Place* ou CIP), garantissant une hygiène optimale et une efficacité opérationnelle.



Figure 56: Convoyeur refroidisseur BFR Systems

<https://www.bfrsystems.com/fr/machine/detail/refroidisseur-de-bande-de-surimi>

❖ Comptage des lots de biscuits

Le comptage et la constitution des lots de biscuits s'effectuent avant l'emballage primaire. Les biscuits sont groupés par lots de 06 unités, emballées dans un film à base d'acide polylactique (PLA), plus spécifiquement le propyl ester d'Ingeo. Cette opération nécessite l'utilisation d'une chargeuse pour l'empilage précis des biscuits.



Figure 57: Chargeur de pile de biscuit BFR systems

<https://www.bfrsystems.com/fr/machine/detail/chargeur-de-piles-de-biscuits>

❖ Emballage des biscuits : flow-pack horizontale

Nos biscuits seront emballés dans un film biosourcé, issu d'une collaboration entre Matalvuoto et NatureWorks. L'emballage sera réalisé sur une machine de type Form-Fill-Seal horizontale également appelée flow pack.

Ce procédé intègre en une seule opération continue la formation du sachet à partir du film, le remplissage automatique et le thermoscellage. Il garantit une excellente régularité dimensionnelle des sachets et, surtout, une fermeture hermétique et étanche. Cette barrière optimale préserve ainsi l'intégralité des propriétés organoleptiques (croustillant, arôme etc) et augmente la durée de vie du biscuit.



Figure 58: Flow-pack horizontale

❖ Cartonnage

Les emballages primaires seront regroupés en unités logistiques au sein d'un emballage secondaire en carton. Cette opération sera réalisée par une encartonneuse automatique, machine qui forme, remplit et ferme les cartons secondaires. L'équipement devra posséder un système « wrap-around » (enveloppement périphérique) et les cartons devront être fournis à plat, c'est-à-dire pré-découpés.

La fermeture des rabats sera assurée par un collage à la colle thermofusible (hot-melt).



Figure 59: Encaisseuse wrap caisse fermée

❖ Palettisation

Les emballages secondaires seront disposés sur des euro-palettes (dimensions 800 x 1200 mm) pour optimiser le stockage et la distribution.

Dès leur arrivée au palettiseur, les cartons secondaires sont pris en charge par le robot. Ses pinces les saisissent, les positionnent de manière adjacente et les empilent directement sur la palette en cours de constitution. Une fois la palette complète, cette dernière est automatiquement convoyée vers l'espace de filmage pour plus de stabilité.



Figure 60: Palettiseur et banderoleuse

5-Circuit de distribution et communication

La distribution de notre biscuit s'effectuera principalement dans des boutiques spécialisées, ciblant un public sensible aux produits innovants et à valeur nutritionnelle ajoutée.

Malgré l'efficacité du e-commerce, ce canal n'est pas adapté pour notre biscuit dont la vente pourra se faire au détail.

La stratégie de communication reposera majoritairement sur les réseaux sociaux, notamment Instagram et Facebook, qui permettront de promouvoir le produit et de créer une communauté autour de la marque et de sensibiliser les consommateurs à ses bénéfices nutritionnels et environnementaux.

6- Estimation du prix du biscuit Molitor

Liste des ingrédients

Ingrédients	Prix unitaire en €
Farine de blé Anco (1kg)	0,99
Farine de Tenebrio molitor (1kg)	40
Farine de drêches de brasserie nextgrain	8
Levure (1kg)	8,63
Sucre (1kg)	0,69
Huile de tournesol (1 kg)	2,22
Eau (société wallonne des eaux) par litre	0,00315

❖ Prix de chaque ingrédient par formulation : 10% de BSG

Ingrédients	Quantité en g	Prix unitaire en €
Farine de blé Anco	33,65	0,033
Farine de Tenebrio molitor	10	0,4
Farine de drêches de brasserie nextgrain	3,74	0,03
Levure	0,6	0,0052
Sucre	20	0,0138
Huile de tournesol	13	0,02886
Eau (société wallonne des eaux) par litre	19	$5,985 * 10^{-5}$

❖ Prix de chaque ingrédient par formulation : 20% de BSG

Ingrédients	Quantité en g	Prix unitaire en €
Farine de blé Anco	29,91	0,030
Farine de Tenebrio molitor	10	0,4
Farine de drêches de brasserie nextgrain	7,48	0,0598
Levure	0,6	0,0052
Sucre	20	0,0138
Huile de tournesol	13	0,02886
Eau (société wallonne des eaux) par litre	19	$5,985 * 10^{-5}$

❖ Prix de chaque ingrédient par formulation : 30% de BSG

Ingrédients	Quantité en g	Prix unitaire en €
Farine de blé Anco	26,17	0,026
Farine de Tenebrio molitor	10	0,4
Farine de drêches de brasserie nextgrain	11,22	0,08976
Levure	0,6	0,0052
Sucre	20	0,0138
Huile de tournesol	13	0,02886
Eau (société wallonne des eaux) par litre	19	$5,985 * 10^{-5}$

Coût énergétique de la cuisson et du pétrissage

❖ Pétrissage

Le mélange des ingrédients a été réalisé à l'aide d'un pétrin de la marque KitchenAid (Saint-Joseph, Michigan, USA), modèle 5KSM150. La puissance de ce pétrin artisanal est de 300W et le temps de pétrissage était 5 min.

Energie consommée = Puissance * temps

$$0,3 \text{ kW} * 0.083\text{h} = 0.025 \text{ kW} * \text{h}$$

❖ Cuisson

La cuisson s'est effectuée dans le four SCC101E 5Senses de la marque Rational. Celle-ci a duré 25 min à 170°C.

La puissance électrique requise pour le fonctionnement de ce four est de 0,4 kW

Energie consommée = Puissance * temps

$$0,4 \text{ kW} * 0,42 = 0,167 \text{ kW} * \text{h}$$

❖ Coût du kilowatt*h

L'offre ENGIE Basic de la société ENGIE coûte toutes taxes incluses 1226,08 € par an pour 3500kWh. Sur la base de cette offre, le kWh coûte 0,35 €.

$$\text{Coût final de la cuisson} = 0,167 * 0.35$$

$$= 0,05845$$

$$\text{Coût final du pétrissage} = 0,025 * 0,35$$

$$= 0,00875$$

$$\text{Coût cuisson} + \text{pétrissage} = 0,0672 \text{ €}$$

Récapitulatif

Formulation	10% BSG	20% BSG	30% BSG
Coût total (€)	0,57812	0,60492	0,63088

Ce coût correspond à 9 biscuit donc la masse totale varie entre 64,04g et 70,20g en fonction du niveau d'incorporation des drêches de brasserie.

Conclusion

Au terme de notre travail de fin d'études qui avait pour objectif de développer un biscuit à haute valeur nutritionnelle, en combinant un novel food, la farine de *Tenebrio molitor* et un coproduit de l'industrie brassicole, les drêches de brasserie dans une optique d'alimentation saine et durable, il ressort que l'incorporation simultanée de ces deux matrices permet d'améliorer significativement le profil nutritionnel des biscuits Molitor formulés. Les teneurs en protéines, en fibres alimentaires et en cendres ont quasiment doublé.

La faible activité de l'eau de nos biscuits traduit une bonne stabilité microbiologique et biochimique, confirmant ainsi leur longue durée de vie.

L'utilisation d'un emballage primaire biosourcé à base d'acide polylactique plus spécifiquement propyl ester d'Ingeo, permet d'accroître la conservation du biscuit en empêchant tous les échanges entre le biscuit et son environnement. L'origine biosourcée de ce matériau contribue à renforcer la logique globale de durabilité du projet.

Conformément au règlement (CE) n° 1924/2006, les biscuits Molitor peuvent bénéficier de l'allégation nutritionnelle « riche en fibres ». En revanche, aucune allégation concernant les protéines ne peut être formulée, car la contribution énergétique des lipides est très élevée.

Ce projet d'écoconception alimentaire s'inscrit pleinement dans une démarche d'économie circulaire visant la valorisation des coproduits alimentaires et l'utilisation de protéines alternatives.

Les perspectives ouvertes à l'issue de ce travail sont d'une part la réalisation d'une analyse sensorielle afin d'obtenir une évaluation statistiquement valide de l'acceptabilité du biscuit, et d'autre part la détermination de l'impact glycémique du biscuit.

Références bibliographiques

- 848, 2020. Statut pondéral. *Vers une Belgique en bonne santé*.
<https://www.belgiqueenbonnesante.be/fr/etat-de-sante/determinants-de-sante/statut-ponderal>,
(13/12/2023).
- Abe M.M., Portinho J.L., Gonçalves M. de M.C., Sanvezzo P.B., Freitas C. de, de Souza J.F., Carneiro R., Ferragut C., Costa M.L., Aouada M.R. de M., Branciforti M.C., Freire C.C. da C., Maintinguer S.I. & Brienzo M., 2024. Development of polysaccharide bioplastic: Analysis of thermo-mechanical properties and different environmental implications. *Journal of Cleaner Production* **469**, 143163, DOI:[10.1016/j.jclepro.2024.143163](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143163).
- Anderson J.W., Baird P., Davis R.H. Jr, Ferreri S., Knudtson M., Koraym A., Waters V. & Williams C.L., 2009. Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews* **67**(4), 188–205, DOI:[10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x](https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x).
- Baghi F., Gharsallaoui A., Dumas E. & Ghnimi S., 2022. Advancements in Biodegradable Active Films for Food Packaging: Effects of Nano/Microcapsule Incorporation. *Foods* **11**(5), 760, DOI:[10.3390/foods11050760](https://doi.org/10.3390/foods11050760).
- 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, DOI:[10.14758/SET-REVUE.2012.CS2.04](https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2012.CS2.04).
- 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, DOI:[10.1016/j.foodres.2013.01.042](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.042).
- Béatrice D.R., 2009. *Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires (4e ed.)*, Lavoisier, 739.
- Beslay M., Srour B., Méjean C., Allès B., Fiolet T., Debras C., Chazelas E., Deschasaux M., Wendeu-Foyet M.G., Hercberg S., Galan P., Monteiro C.A., Deschamps V., Calixto Andrade G., Kesse-Guyot E., Julia C. & Touvier M., 2020. Ultra-processed food intake in association with BMI change and risk of overweight and obesity: A prospective analysis of the French NutriNet-Santé cohort. *PLoS Med* **17**(8), e1003256, DOI:[10.1371/journal.pmed.1003256](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003256).

- Bianco A., Budroni M., Zara S., Mannazzu I., Fancello F. & Zara G., 2020. The role of microorganisms on biotransformation of brewers' spent grain. *Appl Microbiol Biotechnol* **104**(20), 8661–8678, DOI:[10.1007/s00253-020-10843-1](https://doi.org/10.1007/s00253-020-10843-1).
- Bianco A., Fancello F., Balmas V., Zara G., Dettori M. & Budroni M., 2018. The microbiome of Sardinian barley and malt. *Journal of the Institute of Brewing* **124**(4), 344–351, DOI:[10.1002/jib.522](https://doi.org/10.1002/jib.522).
- Bodenheimer F.S., 1951. Insects as Human Food. In: Bodenheimer, F.S. ed. *Insects as Human Food: A Chapter of the Ecology of Man*. Dordrecht: Springer Netherlands, 7–38.
- Bravi E., Francesco G.D., Sileoni V., Perretti G., Galgano F. & Marconi O., 2021. Brewing By-Product Upcycling Potential: Nutritionally Valuable Compounds and Antioxidant Activity Evaluation. *Antioxidants* **10**(2), 165, DOI:[10.3390/antiox10020165](https://doi.org/10.3390/antiox10020165).
- Caldas B. v., Guimarães V. h. d., Ribeiro G. h. m., dos Santos T. a. x., Nobre D. a., de Castro R. j. s., da Costa D. v., de Paula A. m. b., Guimarães A. l. s., Mafra V., Cota J. & Santos S. h. s., 2023. Effect of dietary supplementation with *Tenebrio molitor* wholemeal and fermented flour modulating adipose lipogenesis gene expression in obese mice. *Journal of Insects as Food and Feed* **9**(5), 625–635, DOI:[10.3920/JIFF2022.0070](https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0070).
- Can Karaca A., Nickerson M., Caggia C., Randazzo C.L., Balange A.K., Carrillo C., Gallego M., Sharifi-Rad J., Kamiloglu S. & Capanoglu E., 2023. Nutritional and Functional Properties of Novel Protein Sources. *Food Reviews International* **39**(9), 6045–6077, DOI:[10.1080/87559129.2022.2067174](https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2067174).
- Canfora E.E., van der Beek C.M., Jocken J.W.E., Goossens G.H., Holst J.J., Olde Damink S.W.M., Lenaerts K., Dejong C.H.C. & Blaak E.E., 2017. Colonic infusions of short-chain fatty acid mixtures promote energy metabolism in overweight/obese men: a randomized crossover trial. *Sci Rep* **7**(1), 2360, DOI:[10.1038/s41598-017-02546-x](https://doi.org/10.1038/s41598-017-02546-x).
- Caparros Megido R., Sablon L., Geuens M., Brostaux Y., Alabi T., Blecker C., Drugmand D., Haubruge E. & Francis F., 2013. Edible Insects Acceptance by Belgian Consumers: Promising Attitude for Entomophagy Development. *Journal of Sensory Studies* **29**, DOI:[10.1111/joss.12077](https://doi.org/10.1111/joss.12077).
- CHERIFI, Zakia. *Utilisation des drêches de brasserie en alimentation du lapin*. 2018. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri.

- Chetrariu A. & Dabija A., 2020. Brewer's Spent Grains: Possibilities of Valorization, a Review. *Applied Sciences* **10**(16), 5619, DOI:[10.3390/app10165619](https://doi.org/10.3390/app10165619).
- Chevallier S., Della Valle G., Colonna P., Broyart B. & Trystram G., 2002. Structural and Chemical Modifications of Short Dough During Baking. *Journal of Cereal Science* **35**(1), 1–10, DOI:[10.1006/jcrs.2001.0388](https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0388).
- Churchward-Venne T.A., Pinckaers P.J.M., van Loon J.J.A. & van Loon L.J.C., 2017. Consideration of insects as a source of dietary protein for human consumption. *Nutrition Reviews* **75**(12), 1035–1045, DOI:[10.1093/nutrit/nux057](https://doi.org/10.1093/nutrit/nux057).
- Colomb H. van der W. Vincent, 2021. Améliorer l'impact environnemental de son assiette. *Pourlascience.fr*.
<https://www.pourlascience.fr/sd/environnement/https://www.pourlascience.fr/sd/environnement/ameliorer-l-impact-environnemental-de-son-assiette-21677.php>, (01/07/2024).
- Costell E., Tárrega A. & Bayarri S., 2010. Food Acceptance: The Role of Consumer Perception and Attitudes. *Chem. Percept.* **3**(1), 42–50, DOI:[10.1007/s12078-009-9057-1](https://doi.org/10.1007/s12078-009-9057-1).
- da Rosa Machado C. & Thys R.C.S., 2019. Poudre de grillon (*Gryllus assimilis*) comme nouvelle source alternative de protéines pour les pains sans gluten. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **56**, 102180, DOI:[10.1016/j.ifset.2019.102180](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102180).
- Danso D., Chow J. & Streit W.R., 2019. Plastics: Environmental and Biotechnological Perspectives on Microbial Degradation. *Applied and Environmental Microbiology* **85**(19), e01095-19, DOI:[10.1128/AEM.01095-19](https://doi.org/10.1128/AEM.01095-19).
- Del Río J.C., Prinsen P. & Gutiérrez A., 2013. Chemical composition of lipids in brewer's spent grain: A promising source of valuable phytochemicals. *Journal of Cereal Science* **58**(2), 248–254, DOI:[10.1016/j.jcs.2013.07.001](https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.07.001).
- Delaby L., Dourmad J.-Y., Béline F., Lescoat P., Faverdin P., Fiorelli J.-L., Vertès F., Veysset P., Morvan T., Parnaudeau V., Durand P., Rochette P. & Peyraud J.-L., 2014. Origin, quantities and fate of nitrogen flows associated with animal production. *Advances in Animal Biosciences* **5**, 28–48, DOI:[10.1017/S2040470014000272](https://doi.org/10.1017/S2040470014000272).
- Dionne G., 2019. Emballages alimentaires: Les multiples facettes de l'écoconception **52**(4), 22–23.
- Eche V., Emenike C.U. & Rupasinghe H.P.V., 2025. Nutritional Value of Brewer's Spent Grain and Consumer Acceptance of Its Value-Added Food Products. *Foods* **14**(16), 2900, DOI:[10.3390/foods14162900](https://doi.org/10.3390/foods14162900).

- Edwards W.P., 2007. *The Science of Bakery Products*, Royal Society of Chemistry, 274.
- EUBIO_Admin, n.d. Materials. *European Bioplastics e.V.*
- Faghfoori Z., Navai L., Shakerhosseini R., Somi M.H., Nikniaz Z. & Norouzi M.F., 2011. Effects of an oral supplementation of germinated barley foodstuff on serum tumour necrosis factor- α , interleukin-6 and -8 in patients with ulcerative colitis. *Ann Clin Biochem* **48**(3), 233–237, DOI:[10.1258/acb.2010.010093](https://doi.org/10.1258/acb.2010.010093).
- Fanelli N.S., Torres-Mendoza L.J., Abelilla J.J. & Stein H.H., 2023. Chemical composition of barley and co-products from barley, corn, and wheat produced in South-East Asia or Australia. *Anim Biosci* **37**(1), 105–115, DOI:[10.5713/ab.23.0201](https://doi.org/10.5713/ab.23.0201).
- Fărcaș A, Tofană M, Socaci S, Mudura E, Scrob S, Salantă L, Mureșan V (2014) Les drêches de brasserie – un nouvel ingrédient potentiel pour les aliments fonctionnels. *J Technologie des procédés agroalimentaires* 20(2):137–141
- Fuller M.F. & Tomé D., 2005. In vivo determination of amino acid bioavailability in humans and model animals. *J AOAC Int* **88**(3), 923–934.
- Gallen, C., Pantin-Sohier, G., & Peyrat-Guillard, D. (2019). Les mécanismes cognitifs d'acceptation d'une innovation alimentaire de discontinuité : le cas des insectes en France. *Recherche et Applications En Marketing (French Edition)*, 34(1), 50-77.doi.org/10.1177/0767370118782449
- Ghnimi H., Ennouri M., Chèné C. & Karoui R., 2023. A review combining emerging techniques with classical ones for the determination of biscuit quality: advantages and drawbacks. *Crit Rev Food Sci Nutr* **63**(21), 5009–5032, DOI:[10.1080/10408398.2021.2012124](https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2012124).
- Gkinali A.-A., Matsakidou A., Vasileiou E. & Paraskevopoulou A., 2022. Potentialité des ingrédients à base de larves de *Tenebrio molitor* pour l'industrie alimentaire : une revue. *Trends in Food Science & Technology* **119**, 495–507, DOI:[10.1016/j.tifs.2021.11.024](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.024).
- Goesaert H., Brijs K., Veraverbeke W.S., Courtin C.M., Gebruers K. & Delcour J.A., 2005. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, Second International Symposium on Sourdough - From Fundamentals to Applications **16**(1), 12–30, DOI:[10.1016/j.tifs.2004.02.011](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.011).
- Gonzalez Pereyra M.L., Rosa C. a. R., Dalcero A.M. & Cavaglieri L.R., 2011. Mycobiota and mycotoxins in malted barley and brewer's spent grain from Argentinean breweries. *Lett Appl Microbiol* **53**(6), 649–655, DOI:[10.1111/j.1472-765X.2011.03157.x](https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2011.03157.x).

- Gwin J.A., Church D.D., Wolfe R.R., Ferrando A.A. & Pasiakos S.M., 2020. Muscle Protein Synthesis and Whole-Body Protein Turnover Responses to Ingesting Essential Amino Acids, Intact Protein, and Protein-Containing Mixed Meals with Considerations for Energy Deficit. *Nutrients* **12**(8), 2457, DOI:[10.3390/nu12082457](https://doi.org/10.3390/nu12082457).
- Hawkey K.J., Lopez-Viso C., Brameld J.M., Parr T. & Salter A.M., 2021. Insects: A Potential Source of Protein and Other Nutrients for Feed and Food. *Annual Review of Animal Biosciences* **9**(1), 333–354, DOI:[10.1146/annurev-animal-021419-083930](https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083930).
- Heredia-Sandoval N.G., Granados-Nevárez M. del 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 Hum Nutr* **75**(1), 41–47, DOI:[10.1007/s11130-019-00783-1](https://doi.org/10.1007/s11130-019-00783-1).
- Heuzé V., Tran G., Sauvant D., Lebas F. 2017. Brewers grains, Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO, <http://www.feedipedia.org/node/74>
- House J., 2016. Consumer acceptance of insect-based foods in the Netherlands: Academic and commercial implications. *Appetite* **107**, 47–58, DOI:[10.1016/j.appet.2016.07.023](https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.07.023).
- Hu L., Huang X., You C., Li J., Hong K., Li P., Wu Y., Wu Q., Wang Z., Gao R., Bao H. & Cheng X., 2017. Prevalence of overweight, obesity, abdominal obesity and obesity-related risk factors in southern China. *PLOS ONE* **12**(9), e0183934, DOI:[10.1371/journal.pone.0183934](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183934).
- Ibrahim S., Akram Z., Noreen A., Baig M.T., Sheikh S., Huma A., Jabeen A., Lodhi M., Khan S.A., Hudda A., Shahid U. & Syed N., 2021. Overweight and Obesity Prevalence and Predictors in People Living in Karachi. *Journal of Pharmaceutical Research International* 194–202, DOI:[10.9734/jpri/2021/v33i31B31708](https://doi.org/10.9734/jpri/2021/v33i31B31708).
- Ikram S., Huang L., Zhang H., Wang J. & Yin M., 2017. Composition and Nutrient Value Proposition of Brewers Spent Grain. *Journal of Food Science* **82**(10), 2232–2242, DOI:[10.1111/1750-3841.13794](https://doi.org/10.1111/1750-3841.13794).
- Imathiu S., 2020. Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS Journal* **18**, 1–11, DOI:[10.1016/j.nfs.2019.11.002](https://doi.org/10.1016/j.nfs.2019.11.002).
- Ironi E.A., Ajani E.O., Aliyu O.M., Olatoye K.K., Abdulameed H.T. & Ogbebor O.F., 2021. Bioactive components, enzymes inhibitory and antioxidant activities of biofortified yellow maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) composite biscuits. *Annals of the University Dunarea*

de Jos of Galati, Fascicle VI: Food Technology **45**(1), 86–101,
DOI:[10.35219/FOODTECHNOLOGY.2021.1.06](https://doi.org/10.35219/FOODTECHNOLOGY.2021.1.06).

ISO 11036:1994(fr), Analyse sensorielle — Méthodologie — Profil de la texture, March-20-2024. .
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:11036:ed-1:v1:fr>, (20/03/2024).

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](https://doi.org/10.3390/biom10121669).

Jantzen da Silva Lucas A., Menegon de Oliveira L., da Rocha M. & Prentice C., 2020. Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food Chemistry* **311**, 126022, DOI:[10.1016/j.foodchem.2019.126022](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126022).

Jenkins P.J. & Donald A.M., 1996. Application of small-angle neutron scattering to the study of the structure of starch granules. *Polymer* **37**(25), 5559–5568, DOI:[10.1016/S0032-3861\(96\)00409-0](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(96)00409-0).

Jin Z., Cai G.-L., Li X.-M., Gao F., Yang J.-J., Lu J. & Dong J., 2014. Comparative proteomic analysis of green malts between barley (*Hordeum vulgare*) cultivars. *Food Chemistry* **151**, 266–270, DOI:[10.1016/j.foodchem.2013.11.065](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.065).

Kamali Rousta L., Ghandehari Yazdi A.P. & Amini M., 2020. Optimization of athletic pasta formulation by D-optimal mixture design. *Food Science & Nutrition* **8**(8), 4546–4554, DOI:[10.1002/fsn3.1764](https://doi.org/10.1002/fsn3.1764).

Kanauchi O., Serizawa I., Araki Y., Suzuki A., Andoh A., Fujiyama Y., Mitsuyama K., Takaki K., Toyonaga A., Sata M. & Bamba T., 2003. Germinated barley foodstuff, a prebiotic product, ameliorates inflammation of colitis through modulation of the enteric environment. *J Gastroenterol* **38**(2), 134–141, DOI:[10.1007/s005350300022](https://doi.org/10.1007/s005350300022).

Kapoor B., Kapoor D., Gautam S., Singh R. & Bhardwaj S., 2021. Dietary Polyunsaturated Fatty Acids (PUFAs): Uses and Potential Health Benefits. *Curr Nutr Rep* **10**(3), 232–242, DOI:[10.1007/s13668-021-00363-3](https://doi.org/10.1007/s13668-021-00363-3).

Kok Y.J., Ye L., Muller J., Ow D.S.-W. & Bi X., 2019. Brewing with malted barley or raw barley: what makes the difference in the processes? *Appl Microbiol Biotechnol* **103**(3), 1059–1067, DOI:[10.1007/s00253-018-9537-9](https://doi.org/10.1007/s00253-018-9537-9).

Kouřimská L. & Adámková A., 2016. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal* **4**, 22–26, DOI:[10.1016/j.nfs.2016.07.001](https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.07.001).

- Kumar A., Elavarasan K., Hanjabam M.D., Binsi P.K., Mohan C.O., Zynudheen A.A. & Kumar K A., 2019. Marine collagen peptide as a fortificant for biscuit: Effects on biscuit attributes. *LWT* **109**, 450–456, DOI:[10.1016/j.lwt.2019.04.052](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.052).
- Le marché des bioplastiques, n.d. . *NATUREPLAST*.
- Leitao, C. (2011). *Etude de composés à intérêts technologique et fonctionnel dans la bière* (Doctoral dissertation, Strasbourg).
- Les insectes pour l'alimentation humaine et animale, November-20-2024. .
<https://www.fao.org/edible-insects/84744/fr/>, (20/11/2024).
- Lund M.N. & Ray C.A., 2017. Control of Maillard Reactions in Foods: Strategies and Chemical Mechanisms. *J. Agric. Food Chem.* **65**(23), 4537–4552, DOI:[10.1021/acs.jafc.7b00882](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00882).
- 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, DOI:[10.1002/jib.363](https://doi.org/10.1002/jib.363).
- Machona O., Mutanga M., Chidzwondo F. & Mangoyi R., 2024. Détermination de la toxicité subchronique des larves de *Tenebrio molitor* en poudre en tant que nouvelle source alimentaire. *Toxicology Reports* **12**, 111–116, DOI:[10.1016/j.toxrep.2024.01.002](https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.01.002).
- Malumba Kamba P., Janas S., Deroanne C., Masimango T. & Bera F., 2011. Structure de l'amidon de maïs et principaux phénomènes impliqués dans sa modification thermique. *Structures and phenomena occurring during the heat treatment of cornstarch* **15**(2).
- Mamat H., Abu Hardan M.O. & Hill S.E., 2010. Physicochemical properties of commercial semi-sweet biscuit. *Food Chemistry* **121**(4), 1029–1038, DOI:[10.1016/j.foodchem.2010.01.043](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.043).
- Manley D., 2011. *Manley's Technology of Biscuits, Crackers and Cookies*, Elsevier, 630.
- Manohar R.S., Rao P.H., Manohar R.S. & Rao P.H., 1999. Effect of mixing method on the rheological characteristics of biscuit dough and the quality of biscuits. *Eur Food Res Technol* **210**(1), 43–48, DOI:[10.1007/s002170050530](https://doi.org/10.1007/s002170050530).
- Marché aux biscuits - Partage, tendances et analyse de l'industrie, April-3-2024. .
<https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/biscuits-market>, (03/04/2024).
- Marcos A., Nova E. & Montero A., 2003. Changes in the immune system are conditioned by nutrition. *Eur J Clin Nutr* **57**(1), S66–S69, DOI:[10.1038/sj.ejcn.1601819](https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601819).
- Mastro N.L. del, 2021. Evolution of the Interest on Edible Insects. *Am. J. Biol. Environ. Stat.* **7**(2), 52–56, DOI:[10.11648/j.ajbes.20210702.13](https://doi.org/10.11648/j.ajbes.20210702.13).

- 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, DOI:[10.1016/j.foodchem.2012.02.133](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.133).
- 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. *Proceedings of the Nutrition Society* **72**(1), 117–125, DOI:[10.1017/S0029665112002820](https://doi.org/10.1017/S0029665112002820).
- Mf F. & D T., 2005. In vivo determination of amino acid bioavailability in humans and model animals. *Journal of AOAC International* **88**(3).
- Misra N.N. & Tiwari B.K., 2014. Biscuits. In: *Bakery Products Science and Technology*. John Wiley & Sons, Ltd, 585–601.
- Moran L.J., Luscombe-Marsh N.D., Noakes M., Wittert G.A., Keogh J.B. & Clifton P.M., 2005. The Satiating Effect of Dietary Protein Is Unrelated to Postprandial Ghrelin Secretion. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* **90**(9), 5205–5211, DOI:[10.1210/jc.2005-0701](https://doi.org/10.1210/jc.2005-0701).
- Moreira M.M., Morais S., Carvalho D.O., Barros A.A. & Delerue-Matos C., 2013. Brewer's spent grain from different types of malt: Evaluation of the antioxidant activity and identification of the major phenolic compounds. *Food Research International* **54**(1), 382–388, DOI:[10.1016/j.foodres.2013.07.023](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.023).
- Mudgil D., Barak S. & Khatkar B.S., 2017. Cookie texture, spread ratio and sensory acceptability of cookies as a function of soluble dietary fiber, baking time and different water levels. *LWT* **80**, 537–542, DOI:[10.1016/j.lwt.2017.03.009](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.009).
- 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, DOI:[10.1002/jsfa.2276](https://doi.org/10.1002/jsfa.2276).
- Mussatto S.I., 2014. Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications. *J Sci Food Agric* **94**(7), 1264–1275, DOI:[10.1002/jsfa.6486](https://doi.org/10.1002/jsfa.6486).
- Nagi : Effet de la période de stockage et de l'emballage sur... - Google Scholar, May-24-2024. .
https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Effect%20of%20storage%20period%20and%20packaging%20on%20the%20shelf%20life%20of%20cereal%20bran%20incorporated%20biscu

[its&publication_year=2012&author=H.P.S.%20Nagi&author=J.%20Kaur&author=B.N.%20Dar&author=S.%20Sharma](#), (24/05/2024).

Nawaz A., Li E., Khalifa I., Walayat N., Liu J., Nilofar, Ahsan H.M., Irshad S., Barakat H., Lorenzo J.M., Pateiro M., Siddiqui S.A., Inam-Ur-Raheem M., Nawaz A., Li E., Khalifa I., Walayat N., Liu J., Nilofar, Ahsan H.M., Irshad S., Barakat H., Lorenzo J.M., Pateiro M., Siddiqui S.A. & Inam-Ur-Raheem M., 2021. Effect of Structurally Different Pectin on Dough Rheology, Structure, Pasting and Water Distribution Properties of Partially Meat-Based Sugar Snap Cookies. *Foods* **10**(11), DOI:[10.3390/foods10112692](#).

Neylon E., Arendt E.K., Zannini E. & Sahin A.W., 2021. Fermentation as a Tool to Revitalise Brewers' Spent Grain and Elevate Techno-Functional Properties and Nutritional Value in High Fibre Bread. *Foods* **10**(7), 1639, DOI:[10.3390/foods10071639](#).

Noya L.I., Vasilaki V., Stojceska V., González-García S., Kleynhans C., Tassou S., Moreira M.T. & Katsou E., 2018. An environmental evaluation of food supply chain using life cycle assessment: A case study on gluten free biscuit products. *Journal of Cleaner Production* **170**, 451–461, DOI:[10.1016/j.jclepro.2017.08.226](#).

Nyhan L., Sahin A.W., Schmitz H.H., Siegel J.B. & Arendt E.K., 2023a. Brewers' Spent Grain: An Unprecedented Opportunity to Develop Sustainable Plant-Based Nutrition Ingredients Addressing Global Malnutrition Challenges. *J. Agric. Food Chem.* **71**(28), 10543–10564, DOI:[10.1021/acs.jafc.3c02489](#).

O'Brien C.M., Chapman D., Neville D.P., Keogh M.K. & Arendt E.K., 2003. Effect of varying the microencapsulation process on the functionality of hydrogenated vegetable fat in shortdough biscuits. *Food Research International* **36**(3), 215–221, DOI:[10.1016/S0963-9969\(02\)00139-4](#).

Okpala L.C. & Ofoedu P.I., 2018. Quality Characteristics of Cookies Produced from Sweet Potato and Wheat Flour Blend Fortified with Brewer's Spent Grain Flour. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal* **6**(1), 113–119.

OMS: des pistes pour enrayer la progression de l'obésité - Éducation Santé, December-9-2023. . <https://educationsante.be/>. <https://educationsante.be/oms-des-pistes-pour-enrayer-la-progression-de-lobesite/>, (09/12/2023).

Oonincx D.G.A.B. & Boer I.J.M. de, 2012. Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment. *PLOS ONE* **7**(12), e51145, DOI:[10.1371/journal.pone.0051145](#).

- Ordoñez-Araque R. & Egas-Montenegro E., 2021. Edible insects: A food alternative for the sustainable development of the planet. *International Journal of Gastronomy and Food Science* **23**, 100304, DOI:[10.1016/j.ijgfs.2021.100304](https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100304).
- Orkusz A., 2021. Edible Insects versus Meat—Nutritional Comparison: Knowledge of Their Composition Is the Key to Good Health. *Nutrients* **13**(4), 1207, DOI:[10.3390/nu13041207](https://doi.org/10.3390/nu13041207).
- Pareyt B. & Delcour J.A., 2008. The Role of Wheat Flour Constituents, Sugar, and Fat in Low Moisture Cereal Based Products: A Review on Sugar-Snap Cookies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **48**(9), 824–839, DOI:[10.1080/10408390701719223](https://doi.org/10.1080/10408390701719223).
- Parodi A., Leip A., De Boer I.J.M., Slegers P.M., Ziegler F., Temme E.H.M., Herrero M., Tuomisto H., Valin H., Van Middelaar C.E., Van Loon J.J.A. & Van Zanten H.H.E., 2018. The potential of future foods for sustainable and healthy diets. *Nat Sustain* **1**(12), 782–789, DOI:[10.1038/s41893-018-0189-7](https://doi.org/10.1038/s41893-018-0189-7).
- 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](https://doi.org/10.1007/s10068-021-00900-4).
- Rana S., Chandra Das P., Yeasmin F. & Islam M., 2020. Effect of polydextrose and stevia on quality characteristics of low-calorie biscuits. *Food Research* **4**, 2011–2019, DOI:[10.26656/fr.2017.4\(6\).223](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(6).223).
- Raworth K., 2017. *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*, Chelsea Green Publishing, 322.
- Règlement d'exécution (UE) 2017/2470 de la Commission du 20 décembre 2017 établissant la liste de l'Union des nouveaux aliments conformément au règlement (UE) 2015/2283 du Parlement européen et du Conseil relatif aux nouveaux aliments (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE) Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE, 2017.
- Règlement d'exécution (UE) 2022/169 de la Commission du 8 février 2022 autorisant la mise sur le marché des formes congelée, séchée et en poudre de vers de farine (larves de *Tenebrio molitor*) en tant que nouvel aliment en application du règlement (UE) 2015/2283 du Parlement européen et du Conseil et modifiant le règlement d'exécution (UE) 2017/2470 de la Commission (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE), 2022. , OJ L.
- Reis S.F. & Abu-Ghannam N., 2014. Antioxidant capacity, arabinoxylans content and *in vitro* glycaemic index of cereal-based snacks incorporated with brewer's spent grain. *LWT - Food Science and Technology* **55**(1), 269–277, DOI:[10.1016/j.lwt.2013.09.004](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.004).

- Robertson J.A., I'Anson K.J.A., Brocklehurst T.F., Faulds C.B. & Waldron K.W., 2010. Effect of Storage Conditions on the Microbial Ecology and Biochemical Stability of Cell Wall Components in Brewers' Spent Grain. *J. Agric. Food Chem.* **58**(12), 7266–7272, DOI:[10.1021/jf1001099](https://doi.org/10.1021/jf1001099).
- ROZE, Mathilde. *Reformulation de biscuits fourrés à la fraise sans sucres ajoutés: performances des polyols et effets des arômes*. 2022. Thèse de doctorat. Nantes, Ecole nationale vétérinaire.
- Saberian H., Ghandehari Yazdi A.P., Nejatian M., Bazsefidpar N., Mohammadian A.H., Rahmati M., Assadpour E. & Jafari S.M., 2024. Brewers' spent grain as a functional ingredient in bakery, pasta, and cereal-based products. *Future Foods* **10**, 100479, DOI:[10.1016/j.fufo.2024.100479](https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100479).
- Salleh S.N., Fairus A.A.H., Zahary M.N., Bhaskar Raj N. & Mhd Jalil A.M., 2019. Unravelling the Effects of Soluble Dietary Fibre Supplementation on Energy Intake and Perceived Satiety in Healthy Adults: Evidence from Systematic Review and Meta-Analysis of Randomised-Controlled Trials. *Foods* **8**(1), 15, DOI:[10.3390/foods8010015](https://doi.org/10.3390/foods8010015).
- Schlienger J.-L., 2018. Chapitre9 - Fibres alimentaires. In: Monnier, L., Schlienger, J.-L. eds. *Manuel de Nutrition Pour Le Patient Diabetique*. Paris: Elsevier Masson, 101–107.
- Schoch T.J. & Williams C.B., 2002. ADSORPTION OF FATTY ACID BY THE LINEAR COMPONENT OF CORN STARCH. *ACS Publications*. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ja01235a508>, (04/03/2024).
- Sciensano : Enquête de consommation alimentaire 2022-2023 : Statut pondéral et comportements liés au poids dans la population belge, Bruxelles, Belgique*
- Sciensano : Statut pondéral et troubles du comportement alimentaire : Surpoids et obésité (IMC), Enquête de Consommation alimentaire 2022-2023, juin 2024, Bruxelles, Belgique)*
- Selon un nouveau rapport de l'OMS, l'Europe peut inverser l'évolution de son « épidémie » d'obésité, January-23-2025. . <https://www.who.int/europe/fr/news/item/03-05-2022-new-who-report--europe-can-reverse-its-obesity--epidemic>, (23/01/2025).
- Shelf Life of Packaged Bakery Goods—A Review - ULiège Library, August-22-2024. . <https://explore.lib.uliege.be>, (22/08/2024).
- Shi P., Ng Yuen Kai R., Vijayan P., Lim S.L. & Bhaskaran K., 2023. Valorization of spent barley grains: isolation of protein and fibers for starch-free noodles and its effect on glycemic response in healthy individuals. *Front. Sustain. Food Syst.* **7**, DOI:[10.3389/fsufs.2023.1146614](https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1146614).

- 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. *Journal of Food Science* **85**(11), 3943–3953, DOI:[10.1111/1750-3841.15483](https://doi.org/10.1111/1750-3841.15483).
- Sozer N., Cicerelli L., Heiniö R.-L. & Poutanen K., 2014. Effect of wheat bran addition on *in vitro* starch digestibility, physico-mechanical and sensory properties of biscuits. *Journal of Cereal Science* **60**(1), 105–113, DOI:[10.1016/j.jcs.2014.01.022](https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.01.022).
- Srour B., Fezeu L.K., Kesse-Guyot E., Allès B., Méjean C., Andrianasolo R.M., Chazelas E., Deschasaux M., Hercberg S., Galan P., Monteiro C.A., Julia C. & Touvier M., 2019. Ultra-processed food intake and risk of cardiovascular disease: prospective cohort study (NutriNet-Santé). *BMJ* **365**, l1451, DOI:[10.1136/bmj.l1451](https://doi.org/10.1136/bmj.l1451).
- Stork N.E., 2018. How Many Species of Insects and Other Terrestrial Arthropods Are There on Earth? *Annual Review of Entomology* **63**(1), 31–45, DOI:[10.1146/annurev-ento-020117-043348](https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043348).
- Syahrulawal L., Torske M.O., Sapkota R., Næss G. & Khanal P., 2023. Improving the nutritional values of yellow mealworm *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae as an animal feed ingredient: a review. *J Anim Sci Biotechnol* **14**(1), 146, DOI:[10.1186/s40104-023-00945-x](https://doi.org/10.1186/s40104-023-00945-x).
- Tagliante É., 2022. Micronutriments et immunité 122.
- Tressl R., Wondrak G.T., Krüger R.P. & Rewicki D., 1998. New Melanoidin-like Maillard Polymers from 2-Deoxypentoses. *J Agric Food Chem* **46**(1), 104–110, DOI:[10.1021/jf970657c](https://doi.org/10.1021/jf970657c).
- van der Hoeven-Hangoor E., Rademaker C.J., Paton N.D., Verstegen M.W.A. & Hendriks W.H., 2014. Evaluation of free water and water activity measurements as functional alternatives to total moisture content in broiler excreta and litter samples. *Poultry Science* **93**(7), 1782–1792, DOI:[10.3382/ps.2013-03776](https://doi.org/10.3382/ps.2013-03776).
- van der Sman R.G.M. & Renzetti S., 2019. Understanding functionality of sucrose in biscuits for reformulation purposes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **59**(14), 2225–2239, DOI:[10.1080/10408398.2018.1442315](https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1442315).
- van Hout G.C.M., van Oudheusden I. & van Heck G.L., 2004. Psychological profile of the morbidly obese. *Obes Surg* **14**(5), 579–588, DOI:[10.1381/096089204323093336](https://doi.org/10.1381/096089204323093336).

- van Huis, A.; van Itterbeeck, J.; Klunder, H.; Mertens, E.; Halloran, A.; Muir, G.; Vantomme, P. Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, 2013.
- Vauterin A., Steiner B., Sillman J. & Kahiluoto H., 2021. The potential of insect protein to reduce food-based carbon footprints in Europe: The case of broiler meat production. *Journal of Cleaner Production* **320**, 128799, DOI:[10.1016/j.jclepro.2021.128799](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128799).
- VIDÉO: Qu'est-ce que la faim cachée? | FAO, February-16-2024. .
<https://www.fao.org/about/meetings/icn2/news/news-detail/fr/c/265246/>, (16/02/2024).
- Vollmer I., Jenks M.J.F., Roelands M.C.P., White R.J., van Harmelen T., de Wild P., van der Laan G.P., Meirer F., Keurentjes J.T.F. & Weckhuysen B.M., 2020. Beyond Mechanical Recycling: Giving New Life to Plastic Waste. *Angewandte Chemie International Edition* **59**(36), 15402–15423, DOI:[10.1002/anie.201915651](https://doi.org/10.1002/anie.201915651).
- Vozzo R., Wittert G., Cocchiario C., Tan W.C., Mudge J., Fraser R. & Chapman I., 2003. Similar effects of foods high in protein, carbohydrate and fat on subsequent spontaneous food intake in healthy individuals. *Appetite* **40**(2), 101–107, DOI:[10.1016/S0195-6663\(03\)00003-5](https://doi.org/10.1016/S0195-6663(03)00003-5).
- 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. *Eur Food Res Technol* **235**(5), 767–778, DOI:[10.1007/s00217-012-1805-9](https://doi.org/10.1007/s00217-012-1805-9).
- Weyh C., Krüger K., Peeling P. & Castell L., 2022. The Role of Minerals in the Optimal Functioning of the Immune System. *Nutrients* **14**(3), 644, DOI:[10.3390/nu14030644](https://doi.org/10.3390/nu14030644).
- World Health Organization (WHO). Protein and amino acid requirements in human nutrition: Report of a joint WHO/ FAO/UNU Expert Consultation. WHO Technical Report Series, No. 935. 2007. Geneva.
- Worldwide beer production 2022, January-18-2024. . *Statista*.
<https://www.statista.com/statistics/270275/worldwide-beer-production/>, (18/01/2024).
- Xie X., Yuan Z., Fu K., An J., Deng L., Xie X., Yuan Z., Fu K., An J. & Deng L., 2022. Effect of Partial Substitution of Flour with Mealworm (*Tenebrio molitor* L.) Powder on Dough and Biscuit Properties. *Foods* **11**(14), DOI:[10.3390/foods11142156](https://doi.org/10.3390/foods11142156).
- Youn K., Yun E.-Y., Lee J., Kim J.-Y., Hwang J.-S., Jeong W.-S. & Jun M., 2014. Oleic Acid and Linoleic Acid from *Tenebrio molitor* Larvae Inhibit BACE1 Activity in vitro: Molecular Docking Studies. *Journal of Medicinal Food* **17**(2), 284–289, DOI:[10.1089/jmf.2013.2968](https://doi.org/10.1089/jmf.2013.2968).

- Zhang X., Tang H., Chen G., Qiao L., Li J., Liu B., Liu Z., Li M. & Liu X., 2019. Growth performance and nutritional profile of mealworms reared on corn stover, soybean meal, and distillers' grains. *Eur Food Res Technol* **245**(12), 2631–2640, DOI:[10.1007/s00217-019-03336-7](https://doi.org/10.1007/s00217-019-03336-7).
- Zhao X., Cornish K. & Vodovotz Y., 2020. Narrowing the Gap for Bioplastic Use in Food Packaging: An Update. *Environ. Sci. Technol.* **54**(8), 4712–4732, DOI:[10.1021/acs.est.9b03755](https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03755).
- Zielińska E. & Pankiewicz U., 2020. Nutritional, Physiochemical, and Antioxidative Characteristics of Shortcake Biscuits Enriched with *Tenebrio molitor* Flour. *Molecules* **25**(23), 5629, DOI:[10.3390/molecules25235629](https://doi.org/10.3390/molecules25235629).

Annexes

1- ÉTUDE QUANTITATIVE - QUESTIONNAIRE GOOGLE FORMS

Perception et acceptabilité d'un biscuit à base de drêche de brasserie et de farine d'insecte (*Tenebrio Molitor*)



Avez-vous déjà imaginé déguster un biscuit à la fois délicieux, nutritif et respectueux de l'environnement ? C'est exactement ce que nous cherchons à créer !

Bonjour, dans le cadre de mon mémoire de Master en innovation alimentaire à Gembloux Agro-Biotech, je développe un biscuit innovant à base de drêche de brasserie et de farine d'insecte.

Nous souhaitons votre collaboration afin de mieux comprendre votre intérêt pour ce type de produit, ainsi que les éventuels freins à son adoption.

✔ Ce questionnaire est **100% ANONYME**

🕒 **Moins de 5 minutes** suffisent pour y répondre

Merci d'avance pour votre participation ! 😊



Quel est votre sexe ? *

- ☐ Homme
- ☐ Femme
- ☐ Autre

Quel est votre âge ? *

- ☐ moins de 18 ans
- ☐ 18 à 39 ans
- ☐ 40 à 64 ans
- ☐ 65 ans et plus

Quelle est votre taille en mètre (m) ? *

Réponse courte

Quel est votre poids en kilogramme (Kg) ? *

Réponse courte

Habitudes alimentaires et lieux d'achats



Description (facultative)

Où faites-vous principalement vos courses alimentaires ? (Cochez **deux** réponses maximum) *

☐ Supermarché (Carrefour, Colruyt, Aldi, Delhaize, Lidl)

☐ Magasins spécialisés (bio, diététique)

☐ Marchés locaux / producteurs

☐ Petits commerces (boulangeries, épiceries)

☐ Autre...

Quels critères sont les plus importants pour vous dans le choix de vos aliments ? (Cochez **trois** réponses maximum) *

- ☐ Prix
- ☐ Goût
- ☐ Valeur nutritionnelle
- ☐ Origine des matières premières
- ☐ Label de qualité (bio, durable, label rouge, IGP, AOC)
- ☐ Impact environnemental
- ☐ Nombres d'additifs utilisés
- ☐ Autre...

Selon vous, quels sont les éléments qui caractérisent un **aliment sain** ?
(Cochez **trois** réponses maximum) *

- ☐ Produits frais et naturels
- ☐ Produits issus de l'agriculture biologique
- ☐ Équilibre entre protéines, fibres et lipides essentiels
- ☐ Produits non ultra transformés (peu ou pas d'additifs, pas d'arômes synthétiques)
- ☐ Moins de sucre et de sel
- ☐ Moins de viande, plus de protéines écologiques (végétales, algues, insectes)
- ☐ Faible apport calorique
- ☐ Autre...

Section 3 sur 5

Impact environnemental



Description (facultative)

Dans quelle mesure êtes-vous sensible à l'impact environnemental de votre alimentation ? *

- ☐ Pas du tout sensible
- ☐ Peu sensible
- ☐ Moyennement sensible
- ☐ Sensible
- ☐ Très sensible

Avez-vous déjà changé vos habitudes alimentaires pour des raisons environnementales ? *

- ☐ oui, totalement
- ☐ oui, partiellement
- ☐ non, mais j'y pense
- ☐ non, cela ne m'intéresse pas

Dans quelle mesure les informations environnementales sur les emballages peuvent-elles influencer vos choix alimentaires ? *

- | | | | | | | |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| très fortement | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | pas du tout |

Section 4 sur 5

Nouveaux aliments



Description (facultative)

Avez-vous déjà consommé des **nouveaux aliments** (ex. protéines d'insectes, viandes cultivées, algues, etc.) ? *

- ☐ Oui, et j'ai aimé
- ☐ Oui, mais je n'ai pas aimé
- ☐ Non, mais je suis curieux (se) d'essayer
- ☐ Non, et je ne suis pas intéressé (e)

Quelle peuvent être vos principaux freins à la consommation des produits contenant de la farine d'insecte? (Cochez **trois** réponses maximum) *

- ☐ Le goût
- ☐ La texture
- ☐ Le manque d'informations
- ☐ Le prix
- ☐ Une barrière culturelle ou psychologique
- ☐ Aucune réticence
- ☐ Option 7

Section 5 sur 5

Consentement à payer



Description (facultative)

Lorsque vous achetez un biscuit, à quel point le prix influence-t-il votre décision ? *

	1	2	3	4	5	
pas du tout important	☐	☐	☐	☐	☐	très important

Seriez-vous prêt(e) à payer un supplément pour des aliments respectueux de l'environnement et de votre santé ? Si oui, combien ? *

- ☐ Non, je ne suis pas prêt(e) à payer plus
- ☐ Oui, jusqu'à 5 % de plus
- ☐ Oui, jusqu'à 10 % de plus
- ☐ Oui, jusqu'à 20 % de plus
- ☐ oui, même au delà de 30 %

Si vous deviez consommer des insectes quelles formes de présentation préféreriez vous ? *

- ☐ 1. Entiers, à l'état naturel
- ☐ 2. Entiers, aromatisés avec des saveurs connues (curry, barbecue...)
- ☐ 3. Incorporés sous forme de farine

Seriez-vous prêt à payer un biscuit riche en protéines et en fibres, produit à base de farine d'insecte et de drêche de brasserie, dans des conditions respectueuses de l'environnement ? *

☐ oui

☐ Non

Quel prix serez vous prêt à payer pour 100g de ce biscuit sain et écoresponsable

	1	2	3	4	5	6	7	8	
1 €	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	8 €

Achetez-vous souvent des aliments via des sites de commerce en ligne (supermarchés en ligne, plateformes spécialisées, etc.) *

☐ Oui

☐ Non

La publicité vous semble plus fiable lorsque le produit est présenté de manière *

☐ Esthétique

☐ Ecologique

☐ Saine

